



DIOGO TUBERTINI MACIEL

**DESENVOLVIMENTO DE UMA DERRIÇADORA
SEMIMECANIZADA PARA A COLHEITA SELETIVA DO
CAFÉ**

**LAVRAS - MG
2020**

DIOGO TUBERTINI MACIEL

**DESENVOLVIMENTO DE UMA DERRIÇADORA SEMIMECANIZADA PARA A
COLHEITA SELETIVA DO CAFÉ**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Máquinas e Mecanização Agrícola, para a obtenção do título de Doutor.

Dr. Fábio Moreira da Silva
Orientador

Dr. Fábio Lúcio Santos
Coorientador

**LAVRAS - MG
2020**

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

Maciel, Diogo Tubertini.

Desenvolvimento de uma derriçadora semimecanizada para a colheita seletiva do café / Diogo Tubertini Maciel. – 2020.

76 p. : il.

Orientador: Fábio Moreira da Silva.

Coorientador: Fábio Lúcio Santos.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2020.

Bibliografia.

1. Café. 2. Colheita. 3. Colheita seletiva. 4. Colheita seletiva semimecanizada. 5. Derriçadora. I. Silva, Fábio Moreira da. II. Santos, Lucio Fabio. III. Título.

DIOGO TUBERTINI MACIEL

**DESENVOLVIMENTO DE UMA DERRIÇADORA SEMIMECANIZADA PARA A
COLHEITA SELETIVA DO CAFÉ**

**DEVELOPMENT OF A HARVESTER SEMI-MECHANIZED FOR HARVESTING
OF SELECTIVE COFFEE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Máquinas e Mecanização Agrícola, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 23 de janeiro de 2020.

Dr. Fábio Lúcio Santos	UFLA
Dr. Evandro Pereira da Silva	Unilavras
Dr. Maykmiller Carvalho Rodrigues	UFLA
Dr. Felipe Oliveira e Silva	UFLA

Dr. Fábio Moreira da Silva
Orientador

**LAVRAS - MG
2020**

Aos amigos e ao meu grande irmão Rodrigo Tubertini Maciel, em especial e a todos os familiares, pelo apoio e incentivo.

Ao meu eterno mestre, vô Jorge, pessoa maravilhosa, exemplar, pelos ensinamentos, carinho, estímulo e confiança.

À Eliza, minha esposa, meu grande amor, pessoa especial, com quem caminho junto, pelo carinho, dedicação e amor.

Aos amigos orientadores, Fábio Moreira e Fábio Lúcio pelo apoio e ensinamentos.

DEDICO.

Aos meus avós e pais, Jorge Maciel e Ivone Boueri Maciel, Edno Tubertini e Lia Tubertini, Jorge Alberto Maciel e Celeida Mara Tubertini Maciel, professores da vida, guerreiros, pelo exemplo, simplicidade, confiança,

Incentivo e amor,

DEDICO E OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu muito obrigado, pois a Ele todo o poder e toda a glória, por estar sempre presente em minha vida e permitir-me a busca pelo conhecimento.

À minha amada esposa, Eliza, por toda compreensão em momentos de ausência e pelo grande apoio à nossa filha, Helena, que está para chegar. Meu muito obrigado.

Aos meus mestres, Jorge Alberto Maciel e Jorge Maciel, por toda a disposição e conhecimento compartilhado.

À minha Grande pequena Mãe, Celeida, obrigado por incentivar-me incansavelmente.

Ao Grande meu grande irmão, Rodrigo, por todo o incentivo e apoio, meu muito obrigado.

Fábio Moreira e Fábio Lúcio, este trabalho também é de vocês. Muito obrigado por todo o ensinamento e condução.

Acredito sempre que aqueles que passam por nós sempre deixam um pouco de si e levam um pouco de nós, portanto meu muito obrigado a todos que contribuíram direta ou indiretamente com este trabalho.

“Procure sempre a simplicidade,
Não procure ser o melhor,
Cave diariamente masmorras aos vícios,
Levante templos às virtudes,
O justo e perfeito são seus guias,
Lembre-se,
Mesmo a maior árvore da floresta começa do chão”.

Diogo Tubertini Maciel

RESUMO

No Brasil, os fatores geográficos são de suma importância para a produção de café de qualidade. O manejo dessas lavouras e, principalmente a colheita, necessitam do uso de máquinas portáteis, em virtude da impossibilidade de mecanização para ganho de eficiência. Este trabalho busca o desenvolvimento de um equipamento, para a validação de uma metodologia, que propõe a colheita seletiva semimecanizada. Para esse desenvolvimento, foram utilizados equipamentos comerciais com alguma adaptação e um conjunto eletrônico para controle de frequência. Para os testes, utilizou-se lavouras de café no Sul de Minas e, na Colômbia. Para validação dessas lavouras quanto a possibilidade de colheita seletiva, medimos a força de desprendimento dos frutos, em seus diferentes estádios de maturação e o mínimo aceitável para um intervalo de confiança de 90% e uma diferença de 1,5 N conforme adotado. Os testes finais foram executados, em uma lavoura com a proporção de 54% de frutos verdes, para 46% de cereja. Os resultados demonstram que, para a amplitude de 9,4mm, mesmo na frequência mais alta, 33Hz, não colhe de forma efetiva. Para as amplitudes de 16,5mm e 23,7mm, a eficiência de seletividade ocorreu nas frequências 22,5Hz, 25,57Hz e 27,93Hz, na frequência 33,4Hz a colheita se tornou plena. O melhor resultado obtido foi de 10,31% de frutos verdes na frequência de 27,45Hz e amplitude 16,5mm, seguida de 10,81% da frequência 22,5Hz e amplitude 16,5mm. O conjunto de repetições com menor desvio-padrão, ou seja, mais preciso, foi com uma média de 11,76% na amplitude de 16,5mm e frequência de 22,5Hz. Os dados comprovam a possibilidade da colheita seletiva semimecanizada e com percentual de verdes inferior a 20% conforme proposto. A relação amplitude e frequência são os fatores relevantes, para uma colheita seletiva e sua eficiência de colheita. Os dados demonstram que não existe uma frequência ideal, o importante é ajustar a relação amplitude e frequência. Comprovou-se que quanto maior a amplitude, menor será a frequência de início de seletividade, mas a transmissão energética cinemática ideal aproxima-se da frequência de 25Hz, e a frequência é o fator principal para a eficiência de colheita.

Palavras-chave: Colheita seletiva. Café. Colheita semimecanizada. Derriçadora e colheita de café.

ABSTRACT

In Brazil, geographical factors are of paramount importance for producing quality coffee. Crop and, especially, harvest management requires the use of portable machines to gain efficiency due to the impossibility of mechanization. This work seeks the development of equipment to validate a methodology that proposes selective semi-mechanized harvesting. To this end, we used commercial equipment with a few adaptations and an electronic set for frequency control. For the tests, we used coffee crops in the south of Minas Gerais, Brazil, and Colombia. We measured the strength of the fruit's detachment at different stages of ripeness and the minimum acceptable for a 90% interval of confidence, adopting a difference of 1.5 N to validate these crops for the possibility of selective harvesting. The final tests were conducted in a crop with a proportion of 54% green fruits to 46% cherry fruits. The results demonstrate that the harvesting is not effective for the amplitude of 9.4 mm, even at the highest frequency of 33Hz. For the amplitudes of 16.5 mm and 23.7 mm, the selectivity efficiency occurred in the frequencies 22.5 Hz, 25.57 Hz, and 27.93 Hz, becoming full in the 33.4 Hz frequency. The best result obtained was 10.31% of green fruits at the frequency of 27.45 Hz and 16.5 mm amplitude, followed by 10.81% frequency 22.5Hz and 16.5 mm amplitude. The set of replicates with the lowest standard deviation, that is, the most accurate, was with an average of 11.76% in amplitude 16.5 mm and frequency 22.5 Hz. The data prove the possibility of selective semi-mechanized harvesting with a percentage of green fruits below 20%, as proposed. The amplitude/frequency ratio is relevant for selective harvesting and its harvesting efficiency. The data shows that there is no ideal frequency. The important thing is to adjust the amplitude/frequency ratio. We have proved that the greater the amplitude, the lower the frequency of the beginning of the selection. However, the ideal transmission of kinematic energy approaches the frequency of 25 Hz, considering that the frequency is the main factor for harvesting efficiency.

Keywords: Selective harvest. Coffee. Semi-mechanized harvest. Coffee harvester and harvest.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Colheita manual de café.....	21
Figura 2 - Colheita semimecanizada.	26
Figura 3 - Roçadeira elétrica.	41
Figura 4 - Derriçador.	41
Figura 5 - bta41-800b.	42
Figura 6 - <i>Dimmer</i>	42
Figura 7 - Dissipador Térmico.....	42
Figura 8 - Moto gerador.....	43
Figura 9 - Mecânica do equipamento.	43
Figura 10 - Comportamento da Tensão no sistema <i>Dimmer-TRIAC</i>	44
Figura 11 - Controle eletrônico frequência.....	45
Figura 12 - Derriçador “mãozinha” adaptada.....	45
Figura 13 - Sistema de derriça modificado.....	46
Figura 14 - Tacômetro de medição ótica digital <i>Photo Type</i>	47
Figura 15 - Configurações da derriçadora.	48
Figura 16 - Dinamômetro digital portátil.	49
Figura 17 - Derriçadores modificados para os ensaios de derriça por vibração.....	56
Figura 18 - Frutos e folhas derriçados no pano.	56
Figura 19 – Ramo da planta no segundo teste.	59
Figura 20 – Ramo da planta no teste final.	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização geométrica das configurações testadas.	48
Tabela 2 - Amplitude por posição dos Elos.	51
Tabela 3 - Medições laboratoriais da máquina.	52
Tabela 4 - Comparação de médias das frequências com e sem carga.	54
Tabela 5 - Frequências obtidas com alimentação no local do teste.	55
Tabela 6 - Proporção de frutos por configuração.	57
Tabela 7 - Força de desprendimento e análise com intervalo de confiança de 95%.	58
Tabela 8 - Capacidade de colheita seletiva.	59
Tabela 9 - Capacidade de colheita.	60
Tabela 10 - Distribuição dos frutos nos estadios de maturação.	60
Tabela 11 - Força de desprendimento e análise com intervalo de confiança de 95%.	62
Tabela 12 - Força de desprendimento e análise com intervalo de confiança de 90%.	63
Tabela 13 - Distribuição da maturação dos frutos nas amostras.	65

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo geral	14
2.2	Objetivos específicos	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1	Histórico e economia do café no Brasil	15
3.2	Colheita de café	18
3.2.1	Colheita Manual	20
3.2.2	Colheita mecanizada	22
3.2.3	Colheita semimecanizada	26
3.3	Derrçadoras de café	27
3.4	Colheita: vibrações mecânicas	29
3.4.1	Tipos de vibração	30
3.4.2	Transmissão de vibração	31
3.4.3	Medição de vibração mecânica	33
3.4.4	Eletrônica aplicada a vibrações	34
3.5	Fatores que afetam a qualidade do café	35
3.6	Análise de desprendimento do sistema fruto pedúnculo	37
4	MATERIAL E MÉTODOS	40
4.1	Local	40
4.2	Equipamentos utilizados no desenvolvimento do protótipo	41
4.3	Montagem do equipamento	43
4.4	Teste em laboratório	46
4.5	Teste de campo	47
4.5.1	Primeiro teste	48
4.5.2	Segundo teste	48
4.5.3	Teste final	49
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
5.1	Resultados dos testes laboratoriais	51
5.2	Teste em campo	55
6	CONCLUSÃO	67
	REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

Com a economia cada dia mais globalizada e evidente competitividade dos produtos agrícolas brasileiros, no mercado mundial, faz-se necessário, para a sobrevivência mercadológica e garantias de ganhos, o desenvolvimento de novas tecnologias. O agronegócio se preocupa cada dia mais com geração e a utilização de tecnologias e práticas que permitam o aumento de sua eficiência produtiva e processamento.

Sendo o café um dos principais produtos agrícolas do Brasil e essa produção correspondendo a uma grande parcela do mercado mundial, sua mecanização e, principalmente a colheita, é caracterizada como um processo crítico, em que existem grandes perdas e possibilidade de ganhos em qualidade.

Diante o cenário nacional, a implantação da colheita mecanizada e seletiva já se faz necessária, podendo ser realizada com alguns grupos de máquinas, mas não é possível a aplicação desse modelo de sistema em todas as áreas cafeeiras nacionais, visto a sua heterogeneidade, relevo e antigas áreas de cultivo não possuem meios para utilizá-las. Com a ineficiência da colheita manual do café, altos custos trabalhistas e escassez de mão de obra especializada para a colheita dessas áreas remanescentes, a colheita semimecanizada se torna a melhor opção, uma vez que há aumento de eficiência com a utilização de equipamentos próprios, tipos derriçadoras (aumentando o volume colhido por dia por trabalhador).

Na busca constante pela qualidade da bebida, cabe ressaltar que o próprio processamento somente de frutos maduros ou com baixos teores de frutos verdes eleva significativamente a qualidade e, como os atuais sistemas semimecanizados de colheita têm sua função somente de colheita plena (verdes e maduros), surge a necessidade de modernização do equipamento, tornando possível a colheita seletiva (preferencialmente frutos maduros). Para essa modernização e adequação de tecnologia, é preciso um estudo e a concepção de um equipamento que permita controle de sua frequência e, também, alteração de suas amplitudes, o qual avalie e valide o conceito de colheita seletiva semimecanizada.

A proposta é desenvolver um equipamento, utilizando as tecnologias disponíveis de mercado com adaptações e controle, empregando um sistema eletrônico à base de *Dimmer* para controlar a frequência/potência. O equipamento desenvolvido propicia três amplitudes de vibração, medidos no ponto médio da haste de colheita, com dez posições de controle de frequência/potência em um potenciômetro.

Os testes foram realizados ao Sul de Minas Gerais e, na Colômbia, em lavouras típicas, para a aceitação dessas lavouras, a fim de possibilitar colheita seletiva. Foi medida a força de

desprendimento dos frutos, em seus diferentes estados de maturação e adotada como válida somente se essa diferença fosse superior a 1,5 N, conforme adotado, entre verdes e cerejas, para um intervalo de confiança de 90%. O experimento ocorreu em três repetições, os quais foram executadas para cada combinação aprovada em eficiência de colheita e seletividade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver, uma derriçadora com controle da frequência e variação da amplitude, para a colheita seletiva semimecanizada do café, que atenda, em produtividade similar, as de mercado e seletividade inferior a 20% de verdes colhidos.

2.2 Objetivos específicos

- a) Conceber, construir e avaliar uma derriçadora semimecanizada. que seja capaz de variar:
 - Frequência de vibração;
 - Amplitude dos derriçadores.
- b) Avaliar o desprendimento dos frutos com o uso do equipamento, para diferentes regulagens de amplitude e frequência, e também sua capacidade de desprender preferencialmente os frutos maduros deixando remanescente frutos verdes (colheita seletiva);
- c) Correlacionar os efeitos das variáveis e estudar suas possíveis influências e evidenciá-las.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Histórico e economia do café no Brasil

Estima-se que o café tenha sido descoberto, há mais de mil anos, no Oriente Médio, quando um pastor etíope observou que suas cabras se tornavam mais espertas e resistentes, após comerem uma pequena cereja, o fruto do cafeeiro. Ferreira Júnior (2014), Figueiredo (2010) e Lima (2008) incitam que os árabes foram os primeiros a cultivar o café e a usá-lo como bebida, por isso, o nome científico *Coffea arábica*. Corroborando com os autores supracitados, Associação Brasileira Da Indústria Do Café (ABIC, 2008) e Figueiredo (2010) reforçam a origem do café como proveniente do Oriente Médio, na Etiópia, centro da África, que ainda hoje faz parte da vegetação natural. A Arábia é a responsável pela propagação da cultura do café.

O nome café não é originário da Kaffa, local de origem da planta e sim, da palavra árabe *qahwa*, que significa vinho. Por esse motivo, o café era conhecido como "vinho da Arábia" quando chegou à Europa no século XIV. Desde o século passado, a bebida, feita do fruto do café, é uma das mais consumidas no mundo (STALMACH et al., 2006).

No Brasil, o café chegou, primeiramente, ao Norte, mais precisamente em Belém, em 1727, trazido da Guiana Francesa para o Brasil pelo Sargento-Mor Francisco de Mello Palheta a pedido do governador do Maranhão e Grão-Pará, que o enviara às Guianas com essa missão. Nessa época, o café já possuía grande valor comercial (ABRAHÃO, 2007). Ribeiro (2014) destaca que a cultura do café ocupou diversos espaços, possibilitando o surgimento de cidades e dinamização de importantes centros urbanos, enquanto os fazendeiros sentiram a grande oportunidade de obterem altos lucros.

Ainda que o café tenha se difundido em grande escala, também enfrentou algumas dificuldades econômicas, devido a da falta de experiência, no plantio do produto, em larga escala e a ausência de recurso de capitais disponíveis a serem empregados na produção. Na sua primeira etapa, a lavoura cafeeira contou com recursos dos comerciantes portugueses que chegaram com Dom João, em 1808. Na segunda metade do século XIX, ou mais precisamente, a partir de 1840, o café tornou-se o principal produto de exportação brasileiro (RIBEIRO, 2014).

Há cerca de 100 espécies descritas do gênero *Coffea*, mas somente duas, a *C. arábica* L. e a *C. canephora* produzem frutos com importância econômica no mercado internacional (FERREIRA JÚNIOR, 2014; FIGUEIREDO, 2010). O café é um produto nobre do agronegócio

e da pauta de exportações no Brasil, ocupando lugar de destaque na história do desenvolvimento do país (ABRAHÃO, 2007). De acordo com Mendes e Guimarães (2000), o maior estado produtor de café é Minas Gerais, com 50% da produção brasileira, cujos maiores polos de produção estão localizados ao Sul do estado e no cerrado, fronteira aberta graças à tecnologia, que tornou o solo pobre da região apto à cultura do café. A cafeicultura respondeu por quase 10% das exportações brasileiras do agronegócio, nos últimos anos (BRASIL, 2012), sendo responsável por mais de 30% da área cultivada com culturas perenes no país (IBGE, 2009) e, segundo dados do censo agropecuário, empregou quase um milhão de pessoas diretamente no país (IBGE, 2006).

Pesquisas mostram que nove em cada dez brasileiros acima de 15 anos consomem café diariamente (ABIC, 2008; FIGUEIREDO, 2010). A receita bruta total do café, na safra de 2017, foi estimada em R\$ 21,51 bilhões, no limite inferior de produção e R\$ 23,42 bilhões, no limite superior, sendo que o estado de Minas Gerais contribui com cerca de 58% desse valor (GOMES, 2017a). O consumo interno de café, no Brasil, chegou a 21 milhões de sacas, no período de novembro de 2017 a outubro de 2018, representando um crescimento de 4,80%, com relação ao período anterior, de novembro de 2016 a outubro de 2017, conforme levantamento da Associação Brasileira da Indústria de Café - ABIC. Esses números elevam o consumo per capita para 6,02 kg/ano de café cru e 4,82 kg /ano de café torrado e moído, o que mantém o Brasil como o segundo maior consumidor de café do mundo. A procura por café segue em plena expansão, acompanhando uma tendência que se observa globalmente (ABIC, 2008).

Entre as empresas associadas à Associação Brasileira da Indústria de Café, o crescimento sobre o período anterior a 2019 foi de 7,03%, demonstrando que os brasileiros estão consumindo mais café. Esse aumento foi particularmente relevante, porque o ano foi caracterizado por uma redução da oferta do grão, em função da seca severa que atingiu a região produtora de café conilon, em 2016 e 2017, trazendo, como consequência, uma volatilidade nos preços finais. Mesmo assim, o brasileiro não reduziu a compra (ABIC, 2019). Projeções recentes da Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC, 2019) apontam que o consumo de café, no Brasil, ainda deve crescer 3,6%, em 2019. Com isso, o diretor-executivo da entidade, Nathan Herszkowicz, avalia que a oferta de cafés especiais deve aumentar em virtude da boa qualidade do grão produzido no Brasil.

O café desempenha um papel de extrema importância, no cenário econômico, político, social e ambiental do país, sendo responsável diretamente por um alto percentual dos investimentos no setor agrícola. É produzido em quatro continentes, sendo que as regiões que apresentam a maior projeção mundial são América do Sul, África Ásia e América Central. O

Brasil é o maior produtor, maior exportador e o segundo maior consumidor mundial de café. Também se destacam, entre os produtores, Colômbia, Indonésia, Vietnã, Costa do Marfim e Uganda (MARCOMINI, 2008).

De acordo com o autor supracitado, o sistema convencional de cultivo do café é predominante no Brasil. O café convencional é aquele que é produzido sem nenhuma diferenciação. No entanto, muitas mudanças ocorreram nos últimos anos, com grandes investimentos na produção de cafés diferenciados, aliados a estratégias de *marketing*, para agregar valor ao produto tido como “*commodity*”. Os cafés especiais estão ligados ao prazer proporcionado pela bebida. Podem se diferenciar por características como, qualidade superior da bebida, ou ainda, por possuir parâmetros de diferenciação relacionados à sustentabilidade econômica, ambiental e social da produção. Cafés de alta qualidade, superiores ou *Gourmet* devem conquistar a preferência de grupos de consumidores que valorizam sabor e aroma diferenciados e que já demonstraram que pagam mais desde que a entrega seja de qualidade. Cafés Tradicionais e Extraforte continuarão sendo o grande “consumo” e ganham mais qualidade, em função das safras boas, em 2017/2018 e 2018/2019 e do maior cuidado dos industriais com as matérias-primas e com os processos industriais que conduzem à qualidade (ABIC, 2019).

Segundo Tavares (1998), entre 1850 e 1950, Brasil e café eram quase sinônimos. Durante grande parte desse período, o Brasil forneceu mais da metade da oferta mundial do café, tendo como fatores muito significantes que levaram à aceleração da produção do café, tais como o declínio da economia canavieira, o solo e clima ideal, nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná e a construção de ferrovias no interior paulista. Tavares (1998) comenta que Londres é tida como o mais antigo e importante mercado europeu para o café brasileiro. Além das condições naturais do Brasil, o desenvolvimento do mercado dos Estados Unidos possibilitou que o mesmo se tornasse grande importador de café. Com a independência do Brasil, iniciou-se realmente a era do café.

Com o objetivo de definir a política, para o setor e controlar coordenar a estratégia do sistema desde a produção até a comercialização interna e externa, foi criado, em 1952, o Instituto Brasileiro do Café - IBC. O IBC era responsável pela assistência técnica e econômica à cafeicultura e ao seu beneficiamento, além de controlar a comercialização no mercado interno, externo e também contribuir com estudos e pesquisas que favorece a cultura e a economia cafeeira (ORMOND, 1999).

3.2 Colheita de café

O Cafeeiro é um arbusto com altura que varia de 2,0 a 4,0m, autógama, apresenta tronco cilíndrico, raiz pivotante profunda e muito ramificada, principalmente nas proximidades da superfície do solo. Exibe ainda ramos laterais primários longos e flexíveis (plagiotrópicos), contendo também ramificações secundárias e terciárias. O clima ideal é o tropical úmido, de temperaturas amenas, variando na faixa de 18 a 22° C (FERREIRA JÚNIOR, 2014). A fase cereja do fruto do café é a mais utilizada, para a comercialização e sua colheita é realizada de várias maneiras, sendo as mais comuns a manual, a semimecanizada e a mecanizada (GOMES, 2017a; VENTURELLI et al., 2016; VILLIBOR, 2012).

Antes de se iniciar a colheita do café, há um estágio de pré-colheita, em que se programa a colheita, conforme o período de maturação da lavoura. Em primeira instância, faz-se a preparação (limpeza sob as plantas, retirando folhas, detritos, ervas daninhas, enleirando esse material entre as linhas do cafezal), antes que se inicie a queda dos frutos. Em lavouras superadensadas, não há necessidade de preparação. Em lavouras adensadas, é feita a limpeza sob a “saia” dos cafeeiros, enleirando o material no centro da rua. É imprescindível a revisão de todos os materiais e instalações antes de iniciar a colheita. Deve-se ainda verificar o funcionamento e fazer os reparos necessários nos terreiros, tulhas, lavadores e demais equipamentos (FAGANELLO, 2018).

A colheita do café pode ser realizada de forma manual, semimecanizada e mecanizada (GOMES, 2017a; OLIVEIRA, 2006; VILLIBOR, 2012). A colheita manual pode ser do tipo seletiva, catando-se a dedo somente os frutos maduros ou do tipo concentrada, derriçando-se todos os frutos de cada ramo no chão, em panos ou em peneiras. Por outro lado, a colheita semimecanizada utiliza derriçadoras portáteis ou tracionadas, desprovidas de recolhedores, e a mecanizada é feita com máquinas colhedoras completas automotrizes ou tracionadas por trator (EMBRAPA, 2012).

A partir da comercialização de derriçadoras, em meados da década de 2000, esse instrumento de colheita foi rapidamente adotado pelos produtores de café de montanha e causou mudanças significativas na economia cafeeira (EMBRAPA, 2012). As derriçadoras portáteis, utilizadas nesses últimos anos, são máquinas que apresentam diversos princípios de acionamento, tais como o pneumático, elétrico, motor de combustão interna e de funcionamento (vibração e/ou impacto) (SOUZA et al., 2006). As máquinas derriçadoras mais comuns possuem um par de feixes de varetas, cuja aparência é a de duas mãos coplanares, situadas lado a lado, que agem sempre em sentidos opostos, em movimentos de aproximação e de

afastamento das varetas dos feixes. Essas varetas, em forma de mãos, são movidas por mecanismos excêntricos, bielias, êmbolos ou outros meios, que promovem a movimentação sequencial e repetitiva de suas partes móveis que devem atuar como contato de condução junto aos galhos das plantas, balançando-os para desprendimento dos frutos (GOMES, 2017a).

Por se processar em um curto período de tempo, Silva e Salvador (1998) explicitam que a colheita inicia-se, de modo geral, em abril e maio, em regiões de baixa altitude, como Alto Paranaíba, Triângulo, Sul e Oeste de Minas, na Mogiana, em São Paulo, ao Oeste da Bahia e áreas menores de Goiás e Mato Grosso, estendendo-se até agosto e setembro, em regiões de maior altitude, como a Zona da Mata de Minas, o estado do Espírito Santo, parte do Sul de Minas e áreas vizinhas de São Paulo e Rio de Janeiro. Na maioria das regiões, a colheita compreende um período médio de 100 dias, quando diversos fatores devem ser analisados para o início de safra.

Para Filgueiras (2001) apud Oliveira et al. (2007), Santos (2010) e Souza et al. (2006a), a colheita do café é uma operação complexa, pois constitui-se de uma série de operações, tais como: arruação, derriça, varrição, recolhimento, abanação e transporte, devendo ser iniciada quando a maior parte dos frutos estiver maduro e antes que se inicie a queda dos frutos secos. A “arruação”, e a uma limpeza próxima ou sob a saia do cafeeiro. Na coleta seletiva dos frutos, visa-se minimizar a influência de danos em frutos heterogêneos. Todavia, essa coleta seletiva, apesar de potencializar a manutenção da qualidade de bebida, não é comumente utilizada pelos produtores brasileiros, pois é considerada onerosa e demorada, em função do número de repasses necessários e do baixo rendimento operacional (CHALFOUN; CARVALHO, 1997).

Quando não se faz colheita seletiva, o momento ideal, para dar início à colheita, deve ser definido não apenas pelo percentual de frutos verdes, mas pela soma de outros fatores, tais como: volume da safra, estrutura de secagem, disponibilidade de mão de obra e, obviamente, pela qualidade de bebida que se quer obter. Comparada a outras culturas, a colheita do café é mais difícil de ser executada, em razão do formato da planta, da falta de uniformidade na maturação e do elevado teor de água dos frutos, o que prejudica a mecanização das operações (MESQUITA et al., 2016).

A colheita também é citada por Embrapa (2012) e Mesquita et al. (2016) como a operação mais onerosa na composição do custo de produção da atividade. Em razão disso e, também, em consequência da escassez de mão de obra e pequena qualificação, tem-se buscado alternativas visando à mecanização total ou parcial, dentro das limitações de cada região, no que diz respeito à topografia (MESQUITA et al., 2016). Nesse sentido, Santos et al. (2010) enfatizam que a colheita mecanizada de frutos tem trazido eficiência por meio das vibrações

mecânicas. No Sul de Minas Gerais, onde as lavouras cafeeiras, que se assemelham à cafeicultura de cerrado e, em parte, à cafeicultura das Montanhas, a colheita mecanizada teve importante crescimento, a partir de 1996, e o uso de colhedoras automotrizes apresenta boas condições de expansão em regiões onde a topografia permite. Atualmente, um número crescente de produtores adotou essa prática, fazendo uso de colhedoras tracionadas ou automotrizes. (SILVA et al., 1998).

Em 1974, no Brasil, o projeto “Jacto” trouxe como tecnologia uma oportunidade da utilização de uma colhedora de frutos que oportunizava melhor descolamento do café. Nesse sentido, Silva et al. (2007) e Silva, Teodoro e Melo (2008) fizeram novos estudos, a fim de avaliar o comportamento da força de desprendimento, durante o ciclo da cultura, como um parâmetro que devia estar correlacionado com o desempenho operacional da colheita mecânica e seletiva, com a finalidade de colher mecanicamente o fruto maduro, responsável pela melhor qualidade da bebida.

3.2.1 Colheita Manual

A prática mais utilizada, nas lavouras de café, é a colheita feita por derriça manual (FIGURA 1). Esse tipo de colheita é constituído por três etapas, sendo a primeira caracterizada pela arruação e varrição com levantamento dos frutos caídos, mantendo sempre limpo o chão; a segunda pela efetivação da própria derriça ou retirada do café da planta sobre panos, no chão e em peneiras, e a terceira pelo levantamento, abanação e transporte do café derriçado para o devido preparo (SANTOS, 2005; GOMES, 2017a).

Figura 1 - Colheita manual de café.



Fonte: Embrapa (2004).

A derriça é a técnica mais aplicada no país (OLIVEIRA, 2006; OLIVEIRA et al., 2007a; SANTOS, 2005), pois permite a retirada total dos frutos dos ramos de uma única vez. Sua utilização também é facilitada pelo fato de que as condições climáticas contribuem para uma maior tendência na igualação da maturação do café. A derriça sobre panos é mais adequada, pois evita que os frutos tenham contato com a terra e com frutos caídos, facilitando a abanação pela melhor separação de ramos e folhas e, ainda, simplifica as operações de transporte e lavagem por não ter pedras e torrões, contribuindo para a melhoria da qualidade do produto (SANTOS, 2005). Oliveira et al. (2007a) explicam que a eficiência de derriça é a soma do café colhido mais o café caído no chão, dividido pela carga pendente. Em seus estudos, pôde ser observado que o aumento da eficiência de derriça, na primeira passada, está diretamente ligado ao aumento da frequência.

A fim de preservar os frutos do café, todos os cuidados devem ser tomados, uma vez que está influencia diretamente na qualidade do produto. Devem-se evitar danos excessivos aos ramos e às folhas, não só para preservar a produção seguinte, como também evitar ferimentos que constituirão uma porta de entrada para agentes patogênicos (fungos e bactérias). Somente os frutos cereja do café colhido manualmente por meio de colheita seletiva é feita no pano. Já os frutos verdes poderão ser colhidos mais adiante quando estiverem maduros. Nesse caso, poderão ser necessárias duas a três colheitas por planta ou talhão por desuniformidade existente na maturação do café (MESQUITA et al., 2016).

Em um estudo realizado por Santinato et al. (2015), a colheita manual de café gerou maiores danos às plantas e, por outro lado, maior enfolhamento das plantas, em relação à

colheita com colhedora adaptada, o que, segundo os autores, pode ser explicado por esta colheita ter quebrado mais ramos e desfolhado menos a planta, já que os danos às plantas são constituídos por todo o material desprendido do cafeeiro durante a colheita. Santinato et al. (2014) incitam que a colheita manual do café é 50 a 60% mais onerosa que a mecanizada. Para Oliveira et al. (2007a), quando a colheita é realizada manualmente, pode representar até 60% do custo de uma saca, valores atribuídos, principalmente, à elevada demanda de mão de obra.

Veloso (2013) relata que os altos custos associados à colheita manual são repassados ao consumidor. Para reduzir os custos da colheita, pesquisas estão sendo realizadas para o desenvolvimento de colhedoras adaptadas ao tipo de relevo. A migração da colheita manual para a semimecanizada ou supermecanizada fez surgir novas tecnologias e diversos modelos de colhedoras. Essas colhedoras possuem regulagens que influenciam diretamente na eficiência de derriça (FERREIRA JÚNIOR, 2014).

3.2.2 Colheita mecanizada

De acordo com Silva (2004), a colheita é de fundamental importância no processo produtivo, uma vez que é o momento de colher o fruto dos investimentos realizados. Com a expansão da cafeicultura e com a implantação de lavouras, em regiões de topografia mais adequada à mecanização, desenvolveram-se máquinas e equipamentos, visando à derriça e ao recolhimento mecânico do café, com maior rendimento, menor custo e em menor tempo, contribuindo para preservar a qualidade do produto (MESQUITA et al., 2016; OLIVEIRA, 2006). Assim, a mecanização do processo de colheita torna-se ponto de vital importância, tendo em vista a possibilidade de otimização das operações de campo e redução de custos (OLIVEIRA, 2006). Para Santos et al. (2010, p. 425), “parâmetros de qualidade podem alterar significativamente o preço do café; entretanto a colheita seletiva dos frutos é frequentemente associada à boa qualidade do produto, procedimento que pode ser realizado por meio de vibrações mecânicas”.

Oliveira et al. (2007a) acrescentam que o processo de colheita mecanizada tem passado por grandes avanços, nessas últimas duas décadas, graças ao desenvolvimento tecnológico e a melhorias no processo de colheita. Pode-se afirmar que, com a mecanização, aumentou-se a capacidade produtiva da mão de obra, à medida que o trabalho manual foi sendo substituído por mecanismos, que dispunham de fontes de potência superiores à humana, inicialmente, por meio da tração animal e, atualmente, com o uso de máquinas e equipamentos motomecanizados (FERREIRA JÚNIOR, 2014; OLIVEIRA, 2006).

Em torno de 1975, ocorreram os primeiros estudos voltados à colheita mecanizada, tendo sido projetado um conjunto autopropelido, em forma de pórtico, utilizando como fonte-motriz um trator agrícola. O objetivo dessa tramitação foi o de levantar parâmetros de derriça, frequência e amplitude de vibração, características da vareta vibratória e transmissão de energia à planta (OLIVEIRA et al., 2007a). A colheita mecanizada do café é realizada por máquinas que utilizam a vibração como princípio de derriça (FERREIRA JÚNIOR, 2014; OLIVEIRA, 2006), tendo em vista a umidade dos frutos ser bastante variável, visto que a planta apresenta frutos em diversos estádios de maturação, como verde, cereja, passa e seco, o ponto ideal para o início de colheita torna-se bastante amplo. Assim, há a possibilidade de se fazer a colheita, em várias etapas ou de modo seletivo, com o uso de colhedoras tracionadas ou automotrizes (OLIVEIRA, 2006).

A mecanização das lavouras cafeeiras é essencial, para a consolidação e manutenção da sustentabilidade da atividade cafeeira, principalmente, pela escassez e desqualificação da mão de obra disponível, o que encarreta no aumento dos custos de produção (BREGAGNOLI; RIBEIRO NETO, 2017).

A colheita mecanizada do café é realizada, por meio de varetas situadas em cilindros oscilantes na colhedora, os quais trabalham na vertical, envolvendo os cafeeiros lateralmente, derriçando os frutos pelo efeito da vibração (SILVA et al., 2014).

Ao comparar o sistema manual com o mecanizado, Barbosa, Salvador e Silva (2005) mostraram que o volume colhido, na colheita mecânica, por derriçadoras portáteis, foi 64% superior em rendimentos. Adicionalmente, Souza et al. (2006) verificaram que um desempenho operacional melhor de derriçadoras portáteis é obtido, quando se empregam duas máquinas simultaneamente, em uma mesma linha de plantas.

Segundo Oliveira et al. (2007a), a eficiência da colheita mecânica é diretamente proporcional ao índice de maturação dos frutos e ao nível de vibração mecânica aplicada aos frutos do café. Também foi observado, no estudo de Gomes (2017), que frutos no estágio de maturação cereja apresentam maior eficiência de derriça. Segundo os autores, vibrações maiores à desconexão do fruto, no entanto, contribuem para uma maior quantidade de frutas verdes presentes na massa total coletada (SILVA et al., 2015).

A derriça dos frutos de café, a partir das vibrações mecânicas, pode ser influenciada por fatores relativos à máquina e pela própria planta. A resposta da planta de café submetida à vibração depende diretamente das propriedades mecânicas das partes constituintes, segundo Oliveira (2009).

A colheita mecânica seletiva do café tem por finalidade colher o máximo de frutos maduros, visando obter um produto mais uniforme e proporcionar melhor qualidade final, tanto no preparo por via seca quanto por via úmida. Pode ser feita a colheita apenas da parte superior das plantas (ponteiros), com a retirada das varetas vibratórias inferiores da máquina ou com a regulagem da intensidade de vibração e velocidade de deslocamento (MESQUITA et al., 2016). Mesmo não tendo uma relação direta com melhorias na qualidade de bebida, a colheita seletiva, com o uso de colhedoras, visa à possibilidade de melhoria nos padrões de classificação de bebida, tentando atender a um novo nicho de mercado, a dos cafés especiais, no qual a qualidade é altamente valorizada (SILVA, 2004).

Apesar das melhorias notáveis no processo produtivo, Bártholo e Guimarães (1997) apontam que a colheita mecanizada traz também alguns prejuízos ao cafeeiro. Um dos principais danos, causados pela ação das colhedoras, é a desfolha que, na maioria das vezes, é superior à desfolha causada pela colheita manual, levando a planta a produzir menos no ano seguinte, pois ela utilizará suas reservas para recomposição.

Silva et al. (2015) elucidam que a força de desprendimento e a eficiência da colheita mecânica estão correlacionadas. Os autores explicitam que quanto menor a força de descolamento do fruto, maior será a eficiência da colheita mecânica. Também suscitam que o volume e a eficiência da colheita estão diretamente relacionados à intensidade da vibração e ao índice de maturação dos frutos, o que significa que a colheita mecânica e seletiva pode ser administrada, de acordo com a força de descolamento do fruto do café, juntamente com o índice de maturação.

A fim de analisar a colheita de café, em primeira safra, realizada mecanicamente, utilizando-se colhedoras adaptadas para tal situação, Santinato et al. (2015) buscaram avaliar a eficiência de colheita e os danos às plantas da colheita mecanizada do café, em duas lavouras de primeira safra. Os resultados de Santinato et al. (2015) mostraram que a colheita mecanizada de café de primeira safra só deve ser procedida, utilizando-se colhedoras adaptadas para tal situação; a quantidade de café caído, na operação de colheita de café de primeira safra, foi aceitável para os padrões de colheita mecanizada, e a colheita mecanizada do café de primeira safra promoveu menores danos às plantas que a colheita manual. De acordo com Santinato et al. (2015), a mecanização mostrou-se uma opção viável, mesmo em pequenas propriedades, por utilização de máquinas de menor porte, como as roçadeiras e derriçadoras costais. De um modo geral, a mecanização está presente, em todas as fases do manejo do café, desde o preparo do solo à colheita e pós-colheita, sendo algumas operações limitadas pela declividade do terreno no qual a lavoura está implantada.

Mesquita et al. (2016) e Santinato (2014) descrevem as colhedoras de café como automotrizes ou tracionadas. Essas máquinas, por meio de sistemas hidráulicos, com varetas vibratórias, fazem o trabalho de derriça, recolhimento, abanação e descarga do café na forma ensacada ou a granel. As automotrizes, como o nome sugere, têm propulsão própria, e as tracionadas necessitam ser acopladas a um trator por uma barra de tração e tomada de força. As colhedoras automotrizes ou tracionadas trabalham sobre as linhas de café, em declividades até 15%, com segurança da operação.

Um dos pontos limitantes do uso das colhedoras reside no fato de não se colherem 100% dos frutos dos cafeeiros, demandando da operação de repasse que, em geral, é feita manualmente, no fim da colheita, juntamente com a operação de varrição. O repasse é uma operação cara e, em alguns casos, economicamente inviável, visto que, normalmente, o café recolhido é de peso, tipo e qualidade inferior (VIANA; SOUZA, 2002). Estudos realizados por Silva et al. (2019) denotam que, ao se comparar a produção das lavouras, onde se utilizou a colheita mecanizada, com a última safra colhida manualmente, no processo convencional, 20% dos produtores acreditam que continua igual e 80% afirmam que houve um aumento de 20% da produção. Segundo os resultados apontados por Silva et al. (2019), as perdas ou quebras de safra, antes da mecanização, giravam em torno de 5 a 30% da produção total e, após a mecanização, 55% dos entrevistados observaram um aproveitamento maior de sua colheita, em alguns casos, chegando a 100% e, em outros, com a redução de até 30% das perdas; 45% dos entrevistados não observaram quebra de safra, permanecendo em torno de 5 a 30% da produção.

Considerando o “custo” relativo ao tipo de colheita, Barbosa et al. (2005) apud Oliveira (2006), Silva (2004) e Silva et al. (2000) demonstram que, ao comparar a colheita manual com a colheita mecanizada, houve uma redução de custos, no sistema mecanizado, em relação ao manual de 41% a 50% estimando a depreciação para lavouras com produção de 30 a 35 sacas.

Um estudo comparativo entre derriça manual e mecanizada, realizado por Souza et al. (2006), demonstrou alguns pontos interessantes, como, por exemplo, houve um aumento da capacidade da derriça manual com o aumento da idade das plantas, o que não ocorreu na derriça mecânica. Também foi possível observar que houve diferença quanto ao número de galhos quebrados, em função da idade das plantas e do tipo da derriça. A derriça manual apresentou maior número de galhos quebrados que a mecânica.

3.2.3 Colheita semimecanizada

Silva et al. (1997) apud Ferreira Júnior (2014) afirmam que, nos últimos anos, equipamentos derriçadores vêm sendo introduzidos, nas regiões, onde se tem observado falta de mão de obra para a colheita do café. Segundo os autores, está ocorrendo a substituição do trabalho manual por mecanismos com potência superior à humana, fazendo com que os sistemas semimecanizados com derriçadora portátil sejam uma alternativa. Souza, Queiroz e Rafull (2006) explicam que o sistema de colheita é classificado como semimecanizado se uma ou várias operações são realizadas com máquinas, e ele é mecanizado se todas são realizadas mecanicamente.

Para Gomes (2017), um sistema semimecanizado conforme a figura 2, é tido como um sistema misto com trabalhadores, para a execução da tarefa, que utilizam equipamentos, como as derriçadoras portáteis, reduzindo os custos com mão de obra, infraestrutura apropriada e as dificuldades na seleção, uma vez que as derriçadoras portáteis desempenham o trabalho em tempo mais rápido e com muito menos esforço, além de alcançar uma área maior, no entorno da planta.

Figura 2 - Colheita semimecanizada.



Fonte: Franco e Dias (2010).

A colheita do café constitui-se em uma série de operações, como foi citado anteriormente e pode ser realizada de maneira distinta dentro de uma sequência flexível. O sistema de colheita semimecanizada consiste na utilização intercalada de serviço manual e máquinas para a execução das operações de colheita. Esse sistema varia muito, podendo ter apenas uma ou quase todas as operações realizadas mecanicamente. É um sistema que tende a crescer bastante, podendo atender a pequenos e grandes cafeicultores (SILVA et al., 2019).

Por meio de ensaios, em diferentes lavouras ao Sul de Minas Gerais, (SILVA et al., 2019) comentam a respeito do trabalho realizado por Silva e Salvador (1998), que, ao analisar trabalhos de avaliação do desempenho operacional e econômico da operação de derriça, utilizando derriçadoras portáteis pneumáticas, em um sistema denominado semimecanizado, conseguiram averiguar uma pressão de serviço da derriçadora mantida em 7 bar, correspondendo a 900 ciclos/minuto de vibração.

3.3 Derriçadoras de café

As máquinas derriçadoras de café possuem mecanismos de regulagens variadas em seu sistema de vibrações por hastes e canaletas de coleta do grão de café. Isso mantém esses instrumentos mais próximos da região de colheita do fruto, o que significa que, além dos frutos cereja (desejados), são coletados frutos nas fases verde, o que compromete à qualidade final, pois impede que a colheita seja realizada de forma seletiva. Além disso, as colhedoras dessa natureza possuem o centro de gravidade limitado, o que dificulta a utilização em terrenos com curvas de níveis acentuados. Essa situação agrava os meios de acesso, que, neste caso, são mais estreitos, dificultando o manejo e a movimentação, o que aumenta a complexidade no desenvolvimento de equipamentos eficientes para essa tarefa (GOMES, 2017).

As derriçadoras portáteis são máquinas constituídas de “hastes vibratórias” que fazem a derriça do café, podendo ser acionadas pneumáticamente ou motorizadas (GOMES, 2017; SILVA et al., 2019). As derriçadoras mais encontradas no mercado são Kawasaki, Husqvarna, Nakashi, Mitsubishi e Stihl. Suas principais diferenças estão no peso, nas especificações do motor e no comprimento da haste de cada máquina (GOMES, 2017). Segundo Souza et al. (2006), as máquinas derriçadoras do tipo portáteis ainda apresentam possibilidade de melhoria, em seu desempenho, podendo-se obter maior capacidade e eficiência de derriça e menor desfolhamento do cafeeiro. Um estudo realizado por Barros et al. (1995) apud Souza et al. (2006), a respeito do efeito sobre os danos na colheita feita por derriçadoras portáteis, demonstrou que a colheita mecânica proporcionou quatro vezes mais ramos quebrados, o que e

indesejado, e desfolha semelhante à manual. No entanto, as derriçadoras portáteis na colheita mecanizada geraram um rendimento 2,6 vezes maior que a operação manual (SOUZA et al., 2006).

As derriçadoras pneumáticas são máquinas constituídas de um compressor de ar, um cilindro armazenador e hastes vibratórias. O compressor pode ser acionado pelo trator pela TDP (tomada de potência) ou por motor próprio de 7 a 25 cv. O ar comprimido, conduzido por mangueiras flexíveis, faz vibrar as hastes que derriçam os frutos de café. As derriçadoras portáteis, acionadas diretamente por motores de combustão interna, têm princípio de funcionamento semelhante ao das derriçadoras pneumáticas. A diferença está no fato de que cada sistema de hastes vibratórias é dotado de um motor de combustão interna de dois tempos (GOMES, 2017; SILVA et al., 2019).

De acordo com Santinato (2014), diversos estudos promoveram a elevação da eficiência das colhedoras pelo aperfeiçoamento das regulagens de velocidade operacional e vibração das hastes. No entanto, normalmente, ainda há a necessidade de realizar o repasse manual, pois, dependendo da carga, a colhedora dificilmente consegue derriçar todos os frutos das plantas com apenas uma passada. Isso ocorre pelo fato de os frutos apresentarem estágio de maturação desuniforme, demandando, assim, força de desprendimento diferente entre eles. Atualmente, é comum, para a colheita mecânica do café, a recomendação de hastes maiores, mais longas, induzindo que essas hastes proporcionarão uma melhor eficiência de derriça, por um maior alcance das hastes nos ramos plagiotrópicos da planta (FERREIRA JÚNIOR, 2015).

A primeira colhedora automatizada, denominada K-2, com acionamentos totalmente hidráulicos, em 1977, foi testada em estradas e lavouras de café, simulando seu deslocamento para o trabalho e muitos problemas foram relatados. Em 1979, foram construídas cinco réplicas, que receberam a denominação de K-3, com as quais foram ampliadas as condições de testes. Nesse ano, também foi feito o lançamento oficial da colhedora ao público. Na safra de 1980, o projeto foi aprovado para a comercialização, tornando-se uma opção real para o produtor de café (OLIVEIRA, 2006).

A colhedora K3, do projeto “Jacto”, é descrita como uma máquina que opera a cavaleiro, nas linhas das plantas, apoiada sobre quatro rodas, possuindo varetas, ou hastes vibratórias, sustentadas por dois cilindros laterais que envolvem as plantas. Pela vibração das varetas, os frutos se soltam e são coletados por um conjunto de lâminas retráteis, os recolhedores, que fecham o espaço sob a saia do cafeeiro. Essa colhedora pode trabalhar em terrenos com declividade de até 15% (SILVA, 2004).

No mercado, ainda existem outros modelos de colhedoras com princípio de funcionamento muito semelhante ao da K-3, diferindo, em alguns detalhes, como o depósito de descarga lateral presente na colhedora Korvan. Também existem as colhedoras tracionadas que, segundo Silva (2004), apresentam sistema de colheita igual ao das colhedoras automotrizes, diferindo apenas por necessitarem de um trator para tracioná-las. Elas são acopladas ao sistema de três pontos do trator, sendo acionadas pela tomada de potência, (TDP), podendo trabalhar em terrenos com até 10% de declividade (OLIVEIRA, 2006).

3.4 Colheita: vibrações mecânicas

A vibração mecânica é um dos princípios mais usados em máquinas para colheita mecânica de frutos (FERREIRA JÚNIOR, 2014). O princípio utilizado, para realizar a colheita mecanizada do café, tem como base vibrações mecânicas. Podem-se definir vibrações mecânicas, ou oscilações, como qualquer movimento que se repete após um intervalo de tempo (RAO, 2011). Equipamentos que utilizam esse princípio fazem a remoção dos frutos, por meio da associação adequada entre frequência e amplitude de vibração (FERREIRA JÚNIOR, 2014). O intuito da colheita de café por vibração é desprender o fruto da planta, rompendo o pedúnculo por ressonância ou pelo impacto direto das hastes vibratórias (FERREIRA JÚNIOR, 2014). Ainda que as máquinas colhedoras de café tenham surgido somente na década de 80, adaptadas de colhedoras mecânicas de amoras nos EUA, Sampaio et al. (2000) ressaltam que a colheita mecanizada de produtos, por meio de vibração mecânica, vem sendo estudada por diversos pesquisadores.

A introdução da derriça mecânica do café, pelo princípio da vibração, em substituição à manual, pode ser feita, gradualmente e com sucesso, desde que se observem as recomendações técnicas operacionais, em função das condições e tipos de lavouras (SILVA et al., 2019). De acordo com Sampaio et al. (2000), um dos fatores importantes ao desenvolvimento de máquinas de colheita por vibração é a determinação das frequências naturais do pedúnculo do fruto do cafeeiro. A utilização de frequências de vibração iguais às frequências naturais possibilita o desprendimento dos frutos.

Santos (2008) explica que a frequência natural do sistema fruto-pedúnculo pode ser obtida a partir da modelagem desse sistema. A excitação do sistema fruto-pedúnculo, em uma de suas frequências naturais, promove grandes deslocamentos e, em consequência, aumenta os níveis de tensão, possibilitando a derriça dos frutos. O autor também chama a atenção para os modos de vibração associados à cada frequência natural. Com base nos modos de vibração, que

representam as configurações geométricas de deslocamento do sistema, quando excitado em uma determinada frequência natural, possibilita escolher a frequência de excitação, a qual viabilizará uma maior eficiência de derriça (SANTOS, 2010). Dentre as colhedoras que utilizam o sistema de vibração com hastes na transferência de energia, para os sistemas fruto-pedúnculo, destacam-se as automotrizes ou tracionadas por trator e derriçadoras portáteis (BARBOSA; SALVADOR; SILVA, 2005).

Estudos realizados por Souza (2004) demonstram a relevância do conhecimento a respeito das frequências de excitação e amplitude da vibração como parâmetros para a derriça dos frutos do cafeeiro. Sua pesquisa mostrou que o comprimento do ramo e o estágio de maturação afetaram o processo de derriça, bem como as amplitudes de vibração de 22 a 33 mm, e as frequências de excitação de 18 a 20Hz promoveram maiores eficiências de derriça dos frutos de café. Santos et al. (2010) confirmam os resultados obtidos por Souza (2004), uma vez que também apontam a amplitude e a frequência de vibração como tendo efeito significativo na eficiência de derriça. Segundo Santos et al. (2010), quanto maior a amplitude e frequência, maior a eficiência da derriça. Villibor et al. (2010) aclaram que a combinação entre 7,5 mm (amplitude da vibração) e 39 Hz (frequência) apresentam valores de eficiência de derriça mais discrepantes entre frutos verdes e cerejas.

Segundo Gomes (2017), é importante a associação entre impacto e vibração mecânica em prol de maior eficiência na derriça. Em seu estudo, o autor explicita que, ao comparar diferentes tratamentos, houve uma diferença de 69,4% entre ambos, o que indica que a vibração em associação com impacto pode ser até 70% mais eficiente, ao derriçar frutos de café verdes, quando comparada ao uso da vibração isoladamente. O autor explica que o impacto tem como característica a transmissão da energia cinética das hastes rígidas, em um curto intervalo de tempo, fornecendo assim acelerações de maior intensidade aos frutos de café.

3.4.1 Tipos de vibração

Uma vibração mecânica é o movimento de uma partícula ou de um corpo que oscila em torno de uma posição de equilíbrio. Uma vibração mecânica surge, em geral, quando um sistema é deslocado da sua posição de equilíbrio estável. É comum, quando o sistema tende a voltar sob a ação de forças de restituição, então ultrapassa esta posição. A repetição deste processo é chamada movimento oscilatório. O intervalo de tempo necessário, para o sistema completar um ciclo de movimento, chama-se período de vibração. O número de ciclos por unidade de tempo define a frequência, e o deslocamento máximo do sistema medido, a partir

da sua posição de equilíbrio, chama-se amplitude de vibração (BANDEIRA; ABREU; GIANELLI, 2010; CISMASIU, 2019). A amplitude da vibração relaciona-se com a quantidade de energia contida no sinal vibratório e mostra a criticidade e destrutividade dos eventos presentes (BANDEIRA; ABREU; GIANELLI, 2010).

Em alguns dispositivos utilizados na derriça, a vibração é aplicada diretamente ao tronco da planta e é transmitida pelos ramos ao sistema fruto-pedúnculo do café. A vibração, em condições ideais, permite desprender os frutos, mediante a transmissão de forças inércias pela estrutura da planta, em poucos segundos (RAMÍREZ et al., 2003). O movimento vibratório de saída pode ser gerado por sistema de massas excêntricas ou por meio de mecanismos biela-manivela (VILLIBOR, 2012).

Os equipamentos que utilizam massas excêntricas rotativas fornecem frequências entre 12 e 40Hz, deslocamentos de pico de 5 a 20 mm, com um padrão de vibração do tronco no plano horizontal, para derriçar diferentes frutos (ABDEL-FATTAH; SHACKEL; SLAUGHTER, 2003). Dependendo da configuração das massas excêntricas rotativas, a vibração de saída pode ser linear, circular ou multidirecional. A vibração gerada pelo sistema vibratório é transferida ao tronco pelos grampos (GARCÍA-URIBE; OLIVEROS-TASCÓN, 2003; VILLIBOR, 2012).

Um derriçador portátil que aplica vibrações a ramos plagiotrópicos de café podem utilizar um sistema de vibração composto por um mecanismo biela-manivela que gera amplitude e frequência máximas de 62 mm e 30 Hz, respectivamente. Nesse sistema, a vibração é unidimensional e paralela ao eixo central da haste que transmite vibração à planta (TASCÓN et al., 2005).

Oliveira et al. (2007a) destacam a influência da vibração no processo de colheita. Segundo o estudo realizado pelos autores (OLIVEIRA et al., 2007a), na Fazenda Capetinga (Sul de Minas Gerais), na primeira passada da colheita, quanto mais se aumentou a vibração das hastes, maior foi o volume de café colhido, pelo efeito da maior ação ou intensidade da vibração das hastes nos cafeeiros. O acréscimo, no volume colhido na maior vibração, foi de 29,25% em relação à menor.

3.4.2 Transmissão de vibração

As árvores são estruturas dinâmicas que respondem à aplicação de vibrações mecânicas por meio de um movimento complexo. Sua resposta é condicionada pelas propriedades modais, tais como frequências naturais, amortecimento e modos de vibração, as quais são definidas, de

acordo com a magnitude, distribuição e relação entre massa, rigidez e amortecimento das partes constituintes (CASTRO-GARCÍA et al., 2008). Todos esses parâmetros interferem na transmissibilidade de vibração entre os dispositivos de derriça e o sistema fruto-pedúnculo do café, reforçando a necessidade de analisá-los para as diferentes partes da planta de café e diferentes condições de vibração (OLIVEIRA, 2009 apud VILLIBOR, 2012).

Quando a vibração é imposta ao tronco da planta, a energia vibracional deve ser transmitida por todas as partes constituintes até chegar ao sistema fruto-pedúnculo do café (CASTRO-GARCÍA et al., 2011). Segundo a literatura (CASTRO-GARCÍA et al., 2011), o estudo da transmissibilidade da base dos galhos aos frutos, em diferentes condições, permite a identificação dos valores de frequência que induzem a picos de amplificação da vibração.

Quando um sistema é submetido a uma vibração harmônica com frequência de excitação próxima à frequência natural do sistema, a transmissibilidade de vibração tem maiores valores observados (MEIROVITCH, 2001). Mesmo trabalhando nas faixas de ressonância do sistema, a transmissibilidade de vibração entre os dispositivos de derriça e o sistema fruto-pedúnculo do café podem ser reduzidas pela perda de energia envolvida no processo. O amortecimento influencia a transmissibilidade de vibração, por meio da planta de café, durante a derriça por vibrações mecânicas (RAO, 2008).

Pezzi e Caprara (2009) estudaram a transmissão de vibração, durante a colheita mecânica de uvas, utilizando acelerômetros instalados em posições diferentes do galho. Verificaram que o nível de vibração incidente nos galhos é dependente da posição de referência para medição, com maiores valores observados, na máxima distância do ponto de aplicação da vibração, o que os levou a crer que isso ocorre pela maior liberdade de movimento do sistema nessa posição.

Oliveira (2009), ao estudar a respeito de colheita de café, desenvolveu um dispositivo, para a derriça dos frutos, no qual a energia vibracional e impactos são transmitidos para a planta, por meio de hastes vibratórias engastadas, em uma base móvel, movimentando-se verticalmente. A partir do uso desse dispositivo, os resultados de sua pesquisa demonstraram que houve eficiência de derriça de 82% quando trabalhadas a amplitude de vibração de 20 mm e frequência de vibração de 19 Hz.

A transmissibilidade de vibração dos dispositivos de colheita até o sistema fruto-pedúnculo do café é um parâmetro vibracional que incide diretamente na eficiência e na seletividade na derriça. A transmissibilidade pode ser dada, em termos de deslocamento ou acelerações, a qual relaciona o deslocamento ou a aceleração efetiva da resposta de um sistema com a aceleração efetiva de entrada em cada ponto medido (MEIROVITCH, 2001; RAO,

2008). Em sua pesquisa, Castro-Garcia et al. (2011) afirmam que a transmissibilidade de vibração dos dispositivos de colheita até o sistema fruto-pedúnculo do café é um parâmetro vibracional que incide diretamente na eficiência e na seletividade na derriça.

3.4.3 Medição de vibração mecânica

A vibração e/ou impacto têm-se revelado um método eficiente de colheita de diversos produtos agrícolas, tais como: azeitona, citros e nozes. Todas as máquinas propostas, para a colheita do café, independente do seu tamanho, utilizam esses princípios. Com o princípio da vibração, as máquinas possibilitam a colheita seletiva, contornando, em parte, o problema da desuniformidade de maturação dos frutos do cafeeiro (GOMES, 2017).

O estudo da análise de “vibrações” é um método muito valioso em pesquisas, pois a identificação das falhas no monitoramento de máquinas e motores é feita por medições eletrônicas das vibrações não percebidas por nossos ouvidos, eliminando assim a subjetividade do técnico. O princípio de “análise” se baseia na ideia de que as estruturas das máquinas excitadas pelos esforços dinâmicos (ação de forças) dão sinais vibratórios, cuja frequência é igual à frequência dos agentes excitadores. Se captadores de vibrações forem colocados em pontos definidos da máquina, eles captarão as vibrações recebidas por toda a estrutura. O registro das vibrações e sua análise permitem identificar a origem dos esforços presentes em uma máquina em ação (BANDEIRA; ABREU; GIANELLI, 2010). Bandeira, Abreu e Gianelli (2010) mencionam uma série de falhas que podem ser antecipadas pela análise da vibração, tais como: rolamentos deteriorados, engrenagens defeituosas, acoplamentos desalinhados, rotores desbalanceados, vínculos desajustados, desbalanceamento de massas rotativas, rotores excêntricos ou empenados, eixo empenado, motores elétricos defeituosos, etc.

A despeito ainda da captação das vibrações, Thoroddsen, Etoh e Takehara (2008) referem-se ao uso da tecnologia em prol da obtenção de imagens, em altas velocidades, sendo que tal tecnologia pode ajudar no estudo da dinâmica de estruturas, determinação de parâmetros modais e propriedades mecânicas, bem como o estudo de fluidodinâmica. Tavares et al. (2007) comentam que a análise de objetos em movimento abrange a segmentação das imagens, rastreamento de características do objeto, ao longo da sequência de imagens e, muito frequentemente, a adequação desses recursos entre as imagens consecutivas. Os autores complementam que as principais dificuldades, para a realização de uma análise computacional de objetos em movimento, estão relacionadas às mudanças na aparência do objeto causada pelas variações dos pontos de vista considerados, bem como às condições de iluminação e

deformações geométricas e às situações de total ou parcial oclusão que podem ocorrer durante a sequência de imagens.

Câmeras digitais que podem processar vídeos de altas velocidades também podem ser utilizadas na captação de dados vibratórios. Esse tipo de câmera utiliza técnicas de processamento de imagens, para monitorar vibrações e deslocamentos resultantes, em estruturas e sistema, em que a utilização de métodos tradicionais é restrita. As câmeras digitais podem ser utilizadas, para monitorar vibrações, em grandes estruturas, quando há dificuldade de se estabelecer pontos de referências para os transdutores tradicionais (CHOI et al., 2011).

3.4.4 Eletrônica aplicada a vibrações

Para a medição de vibrações, em sistemas mecânicos e biológicos, são necessários dispositivos que convertam o choque ou movimento vibratório, em sinal ótico, mecânico, ou ainda, em sinal elétrico, o qual é proporcional ao parâmetro de movimento experimentado (HARRIS; PIERSOL, 2002). Para a medição de vibrações nesses sistemas, tem-se comumente a medição de deslocamentos ou acelerações (MEIROVITCH, 2001).

Segundo Villibor (2012), dentre os transdutores mais comuns utilizados na colheita, estão os transdutores de resistência variável, transdutores piezoelétricos, transdutor transformador diferencial linear variável, vibrômetros a laser entre outros (RAO, 2008). O transdutor mais utilizado, para a medição de vibrações, é o acelerômetro piezoelétrico. Esse tipo de transdutor consiste em um sistema massa-mola, cuja mola é um conjunto de elementos piezoelétricos de alta rigidez mecânica, os quais sofrem o efeito da força gerada por uma massa rígida, quando o sistema é submetido a uma aceleração (RAO, 2008; RIPPER, 2015).

Os equipamentos que utilizam massas excêntricas rotativas fornecem frequências entre 12 e 40 Hz, deslocamentos de pico de 5 a 20 mm, com um padrão de vibração do tronco no plano horizontal, para derriçar diferentes frutos (ABDEL-FATTAH; SHACKEL; SLAUGHTER, 2003). Dentre as aparelhagens envolvidas na colheita de café, Aristizábal, Oliveros e Alvarez (2003a) mencionam o desenvolvimento de dois tipos de dispositivos inerciais, para a vibração de tronco de plantas de café com diferentes padrões de deslocamento de saída. O primeiro deles impunha à planta um deslocamento com padrão circular, e o segundo com um padrão multidirecional de vibração, com deslocamento de saída com quatro *loopings*. Os autores observaram que o agitador multidirecional proporcionou maior desprendimento dos frutos maduros, por gerar rotações mais acentuadas do fruto, em torno do pedúnculo, maior

capacidade e menor desfolha da planta de café (ARISTIZÁBAL; OLIVEROS; ALVAREZ, 2003a).

Muitos autores vêm utilizando esses transdutores para a determinação de propriedades modais e transmissibilidade de vibração, em plantas e árvores sob a ação de diferentes carregamentos. James et al. (2006) apud Villibor et al. (2016) utilizaram alguns desses medidores de deformação, para medir o movimento das fibras de árvores submetidas a carregamento de ventos, sendo o movimento do tronco da planta do cafeeiro medido pelo LVDT (linear variable *displacement transducers*), a fim de determinar propriedades modais da planta. Amirante et al. (2007) e Aristizábal, Oliveros e Alvarez (2003b) utilizaram como tecnologia os acelerômetros, para medir a aceleração resultante, nos troncos de oliveiras, durante o processo de derriça por vibradores de tronco, a fim de estudar a transmissibilidade de vibração. Esses acelerômetros são dispositivos eletrônicos de alta precisão capazes de transformar os dados eletrônicos coletados em dados reais para otimização dos parâmetros de regulagem de máquinas em dispositivos de colheita do fruto (GOMES, 2017).

Silva (2006) suscita que grande parte dos transdutores precisa de contato direto com o sistema, o que gera dificuldade, em sua utilização, quando há pequenos valores de massa. Há desvantagens significativas associadas a cada tipo de sensor, sendo algumas delas relacionadas aos custos de aquisição, dificuldade de montagem, interferência no funcionamento do sistema, bem como no caso de sensores com funcionamento, baseados em princípios eletromagnéticos a interferência do meio externo na medição.

Righini et al. (2009) referem-se à medição sem contato, realizada por meio dos Vibrômetros Doppler a Laser (*Laser Doppler Vibrometers*). Esse instrumento é basicamente um dispositivo interferométrico, que mede a velocidade instantânea de um objeto pela medição do efeito Doppler da luz vinda do objeto em vibração.

3.5 Fatores que afetam a qualidade do café

Existem três fases de características distintas no desenvolvimento cronológico dos frutos de café: verde, cereja e passas. Quando em boa formação (de acordo com critérios de avaliação de massa, dimensão e coloração), os exemplares da fase cereja configuram-se como os de maior interesse pelos produtores, que visam a atingir os índices de qualidade exigidos no mercado (SILVA, 2013 apud GOMES, 2017).

De acordo com Bártholo e Guimarães (1997), muitos fatores devem ser analisados, na colheita do café, uma vez que seu preço é pareado à sua qualidade. Um dos aspectos a que os

autores chamam a atenção reflete na quantidade ideal de frutos verdes na planta, para o início de colheita, em que são aceitos, no máximo, 5%, porém até 20% são toleráveis. O tipo do café e a qualidade da bebida estão relacionados com a quantidade de defeitos da amostra de frutos. As naturezas dos frutos com defeitos relacionam-se da seguinte forma: a) frutos verdes: colheita antecipada, com porcentagem elevada de verdes; b) frutos pretos: colheita atrasada, com contato do fruto com o solo; c) frutos ardidos: colheita de verdes ou atrasada, com contato dos frutos com o chão; d) frutos com pedras, paus e torrões: derriza feita no chão, com abanação malfeita. A natureza desses defeitos relaciona-se com a época e forma de se realizar as operações, ou seja, com o sistema de colheita e o seu gerenciamento (SILVA et al., 2019).

Os frutos maduros são a matéria-prima do café de qualidade por possuírem desenvolvimento pleno dos frutos, além de maior conteúdo de sólidos solúveis e açúcares. Essas características favorecem, para que, durante o processo de torra dos frutos, ocorram reações físico-químicas necessárias para a obtenção de características desejáveis de aroma, sabor, acidez, corpo e doçura (ALVES; COSTA; SANTOS, 2015). Ensaio realizado por Souza et al. (2005) avaliaram o número de defeitos presentes nas amostras de cafés canéfora com as seguintes proporções de cafés maduros: 0%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% e 100%, submetidos à seca em terreiro de cimento a 12% de umidade. Os autores concluíram que o número de defeitos foi inversamente proporcional ao nível de maturação das amostras no momento da colheita.

Mesquita et al. (2016) explicam que, quando se colhe grande quantidade de frutos verdes, ocorrem perdas qualitativas pelas alterações no tipo, bebida, sabor e aroma. A presença de frutos verdes acarreta também prejuízos quantitativos, pois maior quantidade de litros de café da roça será necessária para se obter uma saca de café de 60 kg beneficiada. Os frutos, em fase de senescência, ficam mais sujeitos à ação de microrganismos responsáveis pelas fermentações, com produção de álcoois e ácidos que poderão interferir de forma negativa na qualidade. A fase pós-colheita do café, que engloba as operações de secagem, beneficiamento e armazenagem, também são importantes para que a qualidade do produto final seja preservada, uma vez que nessa fase também ocorrem transformações físicas, fisiológicas e bioquímicas nos frutos (BREGAGNOLI; RIBEIRO NETO, 2017).

Para Faganello (2018), a cafeicultura vem perdendo espaço, no cenário nacional e internacional, nas últimas décadas, por não acompanhar a evolução dos novos padrões exigidos pelos mercados internos e externos, em termos de qualidade do produto cada vez mais exigentes. O café é um produto cujo preço está diretamente relacionado a parâmetros de qualidade, podendo as perdas financeiras variarem de 10 a 20% quanto ao aspecto do produto,

40% em função da bebida e até 60% para café de mau aspecto e apresentando bebida ruim. A derriça total dos frutos presentes na árvore pode proporcionar perda de qualidade da bebida do café, caso não sejam tomadas providências a fim de isolar os frutos em cada estágio de maturação e de eliminar as impurezas de colheita (SANTOS et al., 2010).

De acordo com Faganello (2018) e Mesquita et al. (2016), as características físicas e a composição química do café são influenciadas por fatores de naturezas diversas, destacando-se, entre eles, os fatores genéticos, ambientais, nutricionais, manejo da lavoura, colheita, preparo, etc. À exceção dos fatores genéticos e ambientais, os demais fatores podem ser controlados, após a implantação da lavoura, não só no manejo (boas práticas agrônômicas), quando todo esforço é empregado na obtenção do máximo em qualidade, quanto na fase de colheita e preparo do café, em que se busca a preservação da qualidade obtida. A adubação também é de fundamental importância ao bom desenvolvimento das plantas, pois, quando bem nutridas, terão condições de produzir bons frutos, bem formados, completando todos os estágios de formação do grão para se ter o máximo de qualidade. Frutos malnutridos apresentam mais doenças, especialmente doenças nutricionais (FAGANELLO, 2018).

Complementando a observação de Chaves (2002) e Faganello (2018), elucida-se que, para que se possa realizar uma nutrição equilibrada, é necessário seguir critérios técnicos e, neste caso, antes da recomendação de adubação ao cafeeiro. Deve-se conhecer, no mínimo, o solo, buscar uma análise de solo atualizada (dois a três anos), levando em consideração a densidade de plantio, o cultivar e a produtividade. É importante também que se faça um bom manejo de pragas e doenças para garantir o bom enfolhamento do cafeeiro que possa completar a plena formação do fruto.

No caso da lavoura cafeeira, principalmente na operação de colheita, a velocidade com que deve ser efetuada implicará na qualidade do produto e na redução de perdas, aumentando, dessa forma, os lucros do cafeicultor. Sendo assim, o aumento de velocidade de colheita torna-se uma opção interessante para análise, pois pode trazer benefícios aos produtores, como redução de custos e melhor programação para a colheita, já que o seu período de realização é bastante reduzido (SILVA et al., 2003).

3.6 Análise de desprendimento do sistema fruto pedúnculo

Tendo em vista o crescente interesse que os cafeicultores vêm apresentando em relação à colheita mecanizada e seletiva do café, Silva (2008) aponta que um possível parâmetro a ser discutido, para a determinação da vibração e da velocidade operacional adequadas, poderia ser

a força exigida pelos frutos do cafeeiro para seu desprendimento da planta. Nesse sentido, em sua pesquisa, o autor enfatiza que a determinação dessa força de desprendimento poderia indicar o início da colheita, a regulação de vibração das varetas e a velocidade operacional da colhedora, a fim de obter uma colheita mais eficiente. De acordo com o autor (SILVA, 2008), pôde ser observado que a força de desprendimento dos frutos verdes foi 73% maior que a dos frutos cerejas e essa diferença poderia ser um fator importante para a colheita mecanizada seletiva dos frutos do cafeeiro. Desta maneira, realizar diferentes estudos que abarcam a força de desprendimento dos frutos pode contribuir para que o cafeicultor tenha um produto mais competitivo.

Para Silva (2013a), alguns fatores, tais como variáveis meteorológicas, do solo, nutricionais, radiação solar, precipitação e umidade relativa do ar podem influenciar diretamente na força de desprendimento dos frutos verdes, cerejas e passas.

A determinação da força de desprendimento dos frutos, em cada planta demarcada, é realizada em três patamares: saia, meio e copa, respectivamente caracterizados pelos terços inferior, médio e superior da planta. Esses patamares são tomados em dois lados da planta: pelo lado leste e pelo lado oeste. Em cada patamar é determinada a força de desprendimento de 24 frutos de café por estágio de maturação, utilizando-se um dinamômetro (SILVA, 2008). Souza et al. (2005) asseguram que o número de ciclos necessários ao desprendimento dos frutos é proporcional ao tempo de desprendimento, e a influência significativa do estágio de maturação sobre esse parâmetro mostra que o tempo de aplicação da vibração é um parâmetro que deve ser considerado, no processo de colheita de frutos do cafeeiro, visando à colheita seletiva.

Parchomchuk e Cooke (1971) afirmam que o desprendimento dos frutos de café ocorre, quando as forças inerciais, por causa do movimento no fruto, tornam-se maiores que a força de tração necessária para causar o desprendimento. Crisosto e Nagao (1991) acrescentam que a força necessária, para que ocorra o desprendimento dos frutos, é diferente dentro de cada estágio de maturação. Os mesmos autores, corroborando com Sampaio (2000), explicam que há uma diferença significativa, principalmente, na força de desprendimento de frutos verdes e cerejas e essa diferença também é significativa em diferentes cultivares de cafeeiros.

Em um estudo realizado por Gomes (2017), para analisar desprendimento do fruto, foi utilizada a variedade de café Mundo Novo. Os resultados demonstraram que não houve diferença, ao comparar a força de desprendimento dos frutos verde e cereja da variedade Mundo Novo e Catuaí Vermelho, as quais exigiram maior força de tração para o desprendimento dos frutos. Nesse mesmo estudo, a variedade Conillon, nos três estádios estudados, foi a que

apresentou menor valor de força de tração para o desprendimento dos frutos com relação à variedade Catuaí Vermelho.

No estudo experimental, realizado na Fazenda Capetinga por Silva (2008), foi analisada a força média de desprendimento entre os estádios de maturação dos frutos de café, tendo sido observada diferença significativa, para o desprendimento dos frutos verdes entre as cultivares: 7,43N para a Mundo Novo; 8,13N para a Icatu e 7,54N para a Catuaí. As cultivares Mundo Novo e Catuaí não diferiram significativamente entre si, no referido estágio de maturação. Com relação ao estágio de maturação cereja, a cultivar que apresentou menor força de desprendimento foi a Catuaí, apresentando uma força de desprendimento de 5,44N, diferindo estatisticamente das demais cultivares.

Segundo Oliveira et al. (2007a), a derriça dos frutos deve ser avaliada, em diferentes estádios de maturação dos frutos, cultivares e condições locais da cultura, uma vez que está associada a fatores de maturação, o que interfere diretamente na colheita. Por exemplo, na fase inicial de colheita, para *C. arabica*, quando grande parte dos frutos se encontra no estágio “verde” e “cereja”, a máquina terá menor eficiência de derriça (SANTIN et al., 2015). Crisosto e Nagao (1991) incitam que, além dos estádios de maturação, os materiais genéticos distintos também podem influenciar no desprendimento desses frutos. Silva et al. (2010) corroboram com os autores supracitados, quanto ao efeito da maturação sobre o desprendimento dos frutos e enfatizam que também ocorre variação entre as diferentes cultivares. Para Silva et al. (2013a), a força de desprendimento dos frutos representa um parâmetro relevante, para determinar o momento de início da colheita mecanizada e seletiva do café, além de ser uma boa ferramenta para o gerenciamento da colheita mecanizada.

Em um trabalho experimental, realizado no Campo Experimental da Embrapa Cerrados, localizada em Planaltina, Distrito Federal, em um solo classificado como latossolo vermelho distrófico típico, argiloso, foram avaliados 217 genótipos de *C. canephora*, nos quais foi possível observar diferença de 50 dias entre o primeiro genótipo a atingir o estágio de cereja e o último. A força de desprendimento desses frutos variou entre os genótipos e entre os estádios ao longo do ciclo de maturação. No mesmo estudo, percebeu-se uma queda considerável, na força de desprendimento dos frutos, que apresentavam altos valores, no início do ciclo de maturação (estádios verde e verde cana) e diminuíram, conforme avançam os estádios de maturação, tendendo a se manter constantes no fim ciclo, ou seja, no estágio de coco (SANTIN et al., 2015).

4 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho consistiu em conceber empiricamente uma máquina (derrçadora) com funcionamento elétrico para colheita semimecanizada com base em todos os componentes comerciais e, se necessário, fazer ajustes e fabricação de pequenos itens adequados para a montagem e funcionamento do sistema. Para tanto, foi concebido e construído um sistema para controle da frequência por meio de um potenciômetro escalonado em 10 níveis.

Para ajuste da amplitude foi executado um conjunto de furações para acoplamento dos elos de ligação do sistema biela manivela com os derrçadores, os elos possuem comprimentos distintos, para ajuste das amplitudes de funcionamento da derrçadora.

Testes laboratoriais e de campo para o estudo e sustentação das teorias de funcionamento teórico e prático foram executados. Como intuito de comparar as medias obtidas foi utilizado o sistema estático, teste de comparação entre médias, e utilizado um intervalo de confiança de 90 e 95%.

A validação do sistema foi executada e, para análise de seu funcionamento, foi utilizada como hipótese de aceitação a metodologia proposta, para uma colheita seletiva semimecanizada, quando praticamente todos ou a maior parte dos frutos cereja fossem colhidos, observando a existência de frutos verdes permanentes na planta. Para rejeição, ou seja, não aceitação dessa hipótese, uma colheita plena onde a maioria dos frutos fossem colhidos ou a colheita se dê de forma delongada caracterizando ineficiência de colheita.

Foi analisado também quanto a transmissibilidade que e, se o derrçador tocava ou não o fruto e se ocorreu a colheita seletiva e de forma eficiente. É pertinente observar que a caracterização como colheita eficiente, deve ser aquela, em tempos normais de colheita conforme experiência do operador.

4.1 Local

A avaliação preliminar de campo foi realizada nos seguintes locais: Laboratório de Vibrações Mecânicas do Departamento de Engenharia da UFLA, fazenda *La Florida (Gigante, Huila, Colômbia)*, fazenda Buenos Aires (*Salento, Quindio, Colômbia*). Os ensaios secundários foram executados na fazenda Cafua (*Ijaci, Minas Gerais, Brasil*). Os ensaios finais foram feitos, no Sítio São Sebastião de propriedade dos Senhores Cleuton Adenir Correia e José Ranulfo, no município de Carvalhópolis, localizado na Estrada Carvalhópolis/Turvolândia. As lavouras das fazendas onde os testes foram realizados dispunham da espécie *Coffea arábica L.*

4.2 Equipamentos utilizados no desenvolvimento do protótipo

O conceito do protótipo, para a colheita seletiva de café, foi desenvolvido, a princípio, a partir de equipamentos e componentes disponíveis comercialmente, o equipamento base foi a Roçadeira elétrica adaptada conforme Figura 3. Tal opção deve-se à facilidade de obtenção e, se necessária, rápida reposição.

Os equipamentos utilizados para fabricação do equipamento foram:

- a) Roçadeira elétrica modificada 127 volts (FIGURA 3).

Figura 3 - Roçadeira elétrica.



Fonte: Do autor (2019).

- b) Sistema Derrçador “Mãozinha” (FIGURA 4).

Figura 4 - Derrçador.



Fonte: Do autor (2019).

- c) Componente eletrônico TRIAC bta41-800b (FIGURA 5).

Figura 5 - bta41-800b.



Fonte: Do autor (2019).

d) *Dimmer* para controle de velocidade de ventilador (FIGURA 6).

Figura 6 - *Dimmer*.



Fonte: Do autor (2019).

e) Dissipador de calor de alumínio (FIGURA 7).

Figura 7 - Dissipador Térmico.



Fonte: Do autor (2019).

f) Conjunto moto gerador Toyama 3,3kw (FIGURA 8).

Figura 8 - Moto gerador.



Fonte: Do autor (2019).

4.3 Montagem do equipamento

Para o desenvolvimento do equipamento, foram utilizados somente o tubo e o motor da Roçadeira elétrica, descartando a parte elétrica existente e instalando somente um interruptor liga-desliga; também foi adaptado o encaixe para o eixo rotativo, a fim de propiciar conexão com o derriçador modificado (FIGURA 9).

Figura 9 - Mecânica do equipamento.



Fonte: Do autor (2019).

Um controlador de frequência foi produzido, utilizando o *Dimmer* para ventiladores e substituindo o TRIAC original por dois bta41-800b de maior corrente e acoplado a um dissipador térmico. As ligações foram executadas conforme orientação e padrão elétrico de cada

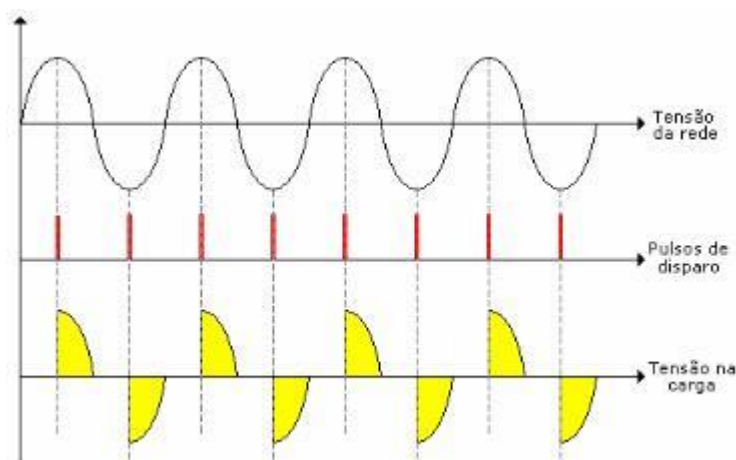
componente. Um exemplo de como se comporta a tensão quando utilizado esse sistema é demonstrado na Figura 10.

O *Dimmer* é um dispositivo basicamente utilizado no controle de luminosidade, em lâmpadas ou rotação em motores, que permite a variação gradativa da frequência através da variação da corrente elétrica com o RMS (raiz média quadrada) da tensão liberada ao dispositivo que se deseja controlar.

Neste projeto, sua inclusão foi pelo fato de nesse controle permitir que a frequência de vibração do equipamento possa ser controlada adequadamente. Ele também possui um papel determinante, na economia de energia e em sua boa utilização, podendo determinar a quantidade de luz usada no decorrer do dia, ou o tempo de vida útil da bateria do derrigador. Para o correto e adequado controle da frequência, juntamente com o *Dimmer*, foi o TRIAC ou *Triode for Alternating Current*, um componente eletrônico equivalente a dois retificadores controlados de silício(SCR/tiristores), ligados em antiparalelo e com o terminal de disparo (ou gatilho - *gate*) ligados juntos. Sua função resulta em uma ligação como uma chave-eletrônica bidirecional que pode conduzir a corrente elétrica nos dois sentidos.

O TRIAC faz parte da família de tiristores. Um TRIAC pode ser disparado por uma corrente alternada aplicada no terminal de disparo (*gate*). Uma vez disparado, o dispositivo continua a conduzir até que a corrente elétrica caia abaixo do valor de corte, como o valor da tensão final da metade do ciclo de uma corrente alternada. Esse fato torna o TRIAC um conveniente dispositivo de controle, para circuitos de corrente alternada ou C.A, que permitem acionar grandes potências com circuitos acionados por correntes da ordem de miliamperes.

Figura 10 - Comportamento da Tensão no sistema *Dimmer*-TRIAC.



Fonte: Do Autor (2019).

Figura 11 - Controle eletrônico frequência.



Fonte: Do autor (2019).

Em razão da necessidade de testar diferentes amplitudes, modificações foram feitas, na relação biela manivela, furos para posicionamentos diversos dos elos de transmissão do sistema biela manivela do derrçador, para a “mãozinha”. Estes foram executados a fim de obter diferentes amplitudes pelas variações angulares das hastes do derrçador. Essas amplitudes originadas formam um deslocamento linear do ponto em que foram medidas, ponto médio do “dedo” das derrçadoras, “mãozinhas” (derrçadoras de nylon) permitindo três variações.

Para reforçar a base de encaixe dos elos na “mãozinha”, uma chapa de aço carbono simples foi fixada, em ambos os lados, utilizando rebites de alumínio para sua fixação. A fim de executar todos os furos, foi empregada uma furadeira de mão portátil e uma broca de aço rápido na medida de $\varnothing 6,35\text{mm}$ tendo como resultado final o derrçador conforme figura 12.

Figura 12 - Derrçador “mãozinha” adaptada.



Fonte: Do autor (2019).

Como o intuito é tocar o ramo e ir se aproximando dos frutos e, assim, melhor adentrar o ramo da planta, foram retirados dos “dedos” (hastes) intermediários do derrçador. Na Figura 13 é ilustrado o sistema de derrça, após sua alteração, em que apenas três hastes foram mantidas em cada lado do sistema de derrça.

Figura 13 - Sistema de derraça modificado.



Fonte: Do autor (2019).

4.4 Teste em laboratório

A medição da amplitude foi realizada por um paquímetro, no ponto médio adotado do sistema de derraça, nos deslocamentos extremos de sua distância e, posteriormente, sua diferença foi calculada e obtida em três amplitudes médias do equipamento.

No Laboratório de Vibrações Mecânicas da UFLA, as frequências foram medidas com um tacômetro de medição ótica digital, conforme Figura 14 e as frequências nas diferentes posições do variador de frequência do protótipo. Também, foram coletados, com um multímetro em medição direta, a tensão e corrente, após o sistema de controle, a fim de calcular a potência e comparar por teste de média as frequências obtidas, com ou sem carga, nas diferentes configurações do equipamento, pelas fórmulas e leitura direta do tacômetro, em pulsações por minuto e, posteriormente, cálculo para transformação em Hz.

Figura 14 - Tacômetro de medição ótica digital *Photo Type*.



Fonte: Do autor (2019).

O teste constituiu-se de três medições realizadas por posição do potenciômetro, sendo que, para cada medição, o equipamento era totalmente reiniciado. Foi calculada a média dos valores da frequência obtida por posição do potenciômetro.

Esse mesmo teste foi executado com um elastômetro simulando uma resistência a movimentação “carga”, elásticos nº 18, onde foram utilizados cinco elásticos posicionados, no ponto superior do dedo médio do derriçador, ligados um ao outro e simulando uma resistência ao deslocamento “carga”. A finalidade foi analisar se houve perda representativa na frequência quando comparada ao sistema sem carga.

Uma análise estatística de comparação de médias com significância de 95%, a fim de validar se existe diferença entre as médias com intervalo de confiança de 95%, uma variação adorada inferior a 0,5Hz, será admitido que não afetará o sistema.

4.5 Teste de campo

Os testes de campo se basearam em três etapas: o primeiro teste, na Colômbia, cujo objetivo foi avaliar a tendência e o aceite da teoria, assim como o funcionamento do equipamento e validação da metodologia e garantia de funcionalidade. O teste secundário foi executado na fazenda Cafuá, no município de Ijaci, onde foi caracterizado o sistema de aceitação de lavoura, para possibilidade de colheita seletiva eficiente, o teste final, por fim foi feito no município de Carvalhópolis, para conclusão em lavoura do sul de Minas.

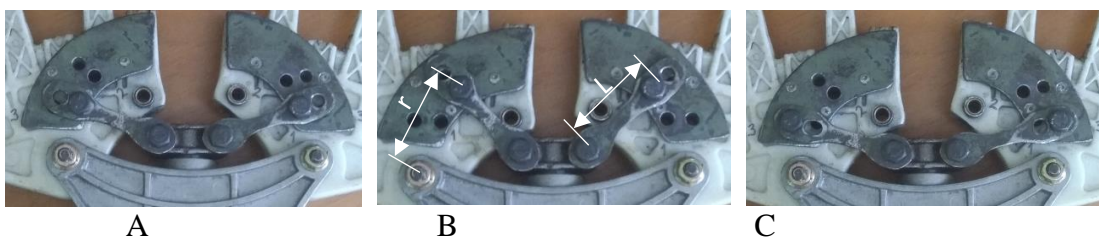
4.5.1 Primeiro teste

Na fazenda *La Florida*, foi avaliada a derriçadora (mãozinha), com o intuito de conseguir o desprendimento dos frutos de café maduros pela transmissão da vibração desde os ramos secundários.

Na fazenda Buenos Aires, foi testado o protótipo, para determinar as duas melhores frequências de vibração, em termos de eficiência de derriça e seletividade.

Na fazenda Buenos Aires, foram testadas as três configurações dos ângulos e amplitudes obtidas, na derriçadora, quanto à variação do posicionamento da ligação nas derriçadoras conforme Figura 15. Na Tabela 1, são apresentadas as três diferentes configurações dos ângulos de abertura das hastes internas, comprimento de ligação e raio de giro quanto ao furo pivô do derriçador (mãozinha).

Figura 15 - Configurações da derriçadora.



Fonte: Do autor (2019).

Tabela 1 - Caracterização geométrica das configurações testadas.

Configuração	Ângulo máx. abertura	Ângulo mín. abertura	L [mm]	r [mm]
A	5,0°	3,1°	40	25
B	7,5°	4,6°	40	40
C	3,0°	2,8°	50	25

4.5.2 Segundo teste

Na fazenda Cafuá, no município de Ijaci, os testes condizem, em um primeiro plano de derriça, para a avaliação de cada posição e sua capacidade de remover de forma satisfatória o fruto. Pode-se afirmar que satisfatório seria o momento, em que o fruto desprende sem o contato da haste do derriçador com o fruto e seria possível caracterizar a transmissão da energia suficiente para desprendimento com sua indução no ramo da planta.

Uma análise da viabilidade da lavoura, para a colheita seletiva, foi executada, a fim de considerar uma diferença significativa entre a força de desprendimento dos frutos cereja, e dos

frutos verdes. Para validação, foi realizado um cálculo estatístico de comparação entre médias das forças obtidas de cinco frutos, em três plantas, com significância de 95%. Foi realizada medição da força de desprendimento, para evidenciar a diferença das médias da força de desprendimento dos frutos, nos diferentes estádios de maturação; essa força de desprendimento foi medida com um dinamômetro portátil, conforme Figura 16.

Figura 16 - Dinamômetro digital portátil.



Fonte: Do autor (2019).

4.5.3 Teste final

Para o teste final, foi escolhida uma lavoura típica do Sul de Minas e, para o estudo, observou-se que a lavoura utilizada, no experimento, possuía quantidade significativa de todos os frutos, em todas as fases de maturação, para quantificação desses frutos; três plantas foram escolhidas ao acaso e colhidas totalmente e essas plantas representaram todos os pés da lavoura.

Para validação quanto à possibilidade de utilização da lavoura, para a colheita seletiva, foram analisadas três plantas de café características dessa mesma lavoura quanto à força de desprendimento dos frutos. Foram medidos, com o dinamômetro, cinco frutos verdes e cinco frutos cerejas, em diferentes posições e obtida uma média das forças por planta e por estágio de maturação. Um teste de média dos frutos verdes, com relação aos frutos cerejas, foi executado, e a diferença mínima aceitável para um intervalo de confiança de 95% foi de 1,5 N.

Para determinar as configurações a serem submetidas à análise, três plantas foram selecionadas ao acaso. Primeiramente, o teste de colheita seletiva o qual se caracteriza em tocar o derriçador no ramo e ocorrer somente o desprendimento do fruto cereja, ou seja, que ficaram remanescente frutos verdes no ramo, que sofreu a derriça. Esse teste deu início às posições mais baixas do controlador e, aumentando, ele foi executado em todas as amplitudes obtidas do sistema.

Em segunda análise, para a determinação das configurações a serem utilizadas, foram selecionadas outras três plantas características e considerou-se a eficiência de derriça, ou seja, quanto tempo para derriçar a planta, sem deixar quantidade significativa de frutos cerejas na planta.

Para o estudo, somente foram utilizadas as configurações que obtiveram êxito no teste de seletividade e de eficiência de colheita.

Os estudos das configurações aprovadas foram executados, em três plantas por configuração, ou seja, três repetições, e o resultado encontrado será discutido individualmente e, também, a média das proporções colhidas dessas três plantas em cada configuração.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Resultados dos testes laboratoriais

O teste de medição laboratorial ocorreu, após os ajustes necessários e antes do início do teste final. São apresentados, na Tabela 2, os resultados das medições da amplitude de deslocamento do ponto médio do “dedo” do derriçador, ou seja, o deslocamento linear do ponto fixo. Nesse conjunto, nota-se que há uma diferença superior da amplitude pequena para a média.

Tabela 2 - Amplitude por posição dos Elos.

Posição	Amplitude (mm)
Amplitude A	9,4
Amplitude B	16,5
Amplitude C	23,7

Na Tabela 3, são apresentados os resultados para as medições das variáveis desejadas nas dez variações do posicionador do regulador de frequência. As variáveis desejadas e coletadas pelas medições e dispostas na tabela foram: frequência, tensão e corrente. A variável potência foi calculada, e um teste de comparação de médias, para variável frequência com e sem carga simulada, não foram significativos para o intervalo de confiança de 95% conforme Tabela 4.

Tabela 3 - Medições laboratoriais da máquina.

(continua)

Medição Laboratorial Sem Carga														
Repetição 1					Repetição 2					Repetição 3				
Posição	Corrente (Ampere)	Tensão (volts)	Potência calculada (whats)	Frequência (Hz)	Posição	Corrente (Ampere)	Tensão (volts)	Potência calculada (whats)	Frequência (Hz)	Posição	Corrente (Ampere)	Tensão (volts)	Potência calculada (whats)	Frequência (Hz)
1	0,3	6,5	1,95	0	1	0,3	6,6	1,98	0	1	0,3	6,4	1,92	0
2	2,2	13,4	29,48	6,1	2	2,2	13,2	29,04	5,8	2	2,2	13,7	30,14	5,9
3	2,9	25,2	73,08	8,3	3	2,9	25,6	74,24	8,1	3	2,9	25,4	73,66	8,5
4	4,3	36,1	155,23	13,7	4	4,3	36,4	156,52	13,9	4	4,3	36,3	156,09	14,2
5	6,1	58,4	356,24	18,6	5	6,1	58,1	354,41	18,7	5	6,1	58,6	357,46	18,3
6	7,2	70,3	506,16	20,9	6	7,2	70,6	508,32	20,8	6	7,2	70,4	506,88	21,3
7	7,9	86,4	682,56	23,4	7	7,9	87	687,3	23,6	7	7,9	86,1	680,19	23,9
8	8,3	95,3	790,99	26,2	8	8,3	95,1	789,33	26,6	8	8,3	95,8	795,14	26,7
9	8,4	102,1	857,64	28,5	9	8,4	101,9	855,96	28,7	9	8,4	101,9	855,96	28,9
10	8,8	108,8	957,44	33,1	10	8,8	109,3	961,84	33,4	10	8,8	107,9	949,52	33,6

Tabela 3 - Medições laboratoriais da máquina.

(conclusão)

Medição Laboratorial Com Carga														
Repetição 1					Repetição 2					Repetição 3				
Posição	Corrente (Ampere)	Tensão (volts)	Potência calculada (whats)	Frequência (Hz)	Posição	Corrente (Ampere)	Tensão (volts)	Potência calculada (whats)	Frequência (Hz)	Posição	Corrente (Ampere)	Tensão (volts)	Potência calculada (whats)	Frequência (Hz)
1	0,3	5,3	1,59	0	1	0,3	5,1	1,53	0	1	0,3	4,9	1,47	0
2	0,6	12,4	7,44	0	2	0,6	11,9	7,14	0	2	0,6	12,1	7,26	0
3	0,9	24,6	22,14	0	3	0,9	24,9	22,41	0	3	0,9	24,2	21,78	0
4	4,8	35,8	171,84	6,5	4	4,8	35,3	169,44	6,2	4	4,8	35,5	170,4	6,8
5	6,9	58,3	402,27	9,4	5	6,9	58,1	400,89	9,8	5	6,9	58	400,2	10,1
6	8,2	70,2	575,64	14,6	6	8,2	70	574	15,1	6	8,2	70,4	577,28	14,9
7	8,4	86,1	723,24	21,9	7	8,4	86,9	729,96	22,7	7	8,4	85,9	721,56	22,9
8	8,8	95,1	836,88	25,4	8	8,8	94,8	834,24	25,1	8	8,8	94,8	834,24	26,2
9	9,1	102	928,2	27,3	9	9,1	102,4	931,84	28,2	9	9,1	101,8	926,38	28,3
10	9,5	108,7	1032,65	32,5	10	9,5	109	1035,5	32,9	10	9,5	108,3	1028,9	32,7

Observa-se, na Tabela 4, que as posições utilizadas, no teste final, foram as com carga, ficando com as frequências médias consideradas de 22,50, 25,57 e 27,93 Hz. Na Tabela 4, nota-se que as diferenças entre as médias com ou sem carga reduzem, à medida que o potenciômetro cresce, o que para um sistema composto por motor elétrico com controlador *Dimmer* é normal. Analisou-se, ainda, a variação da frequência, quando o equipamento era ligado e desligado, e, no sistema com carga, o maior desvio foi de 0,57Hz.

Tabela 4 - Comparação de médias das frequências com e sem carga.

Posição 7	Comparação de Frequência		Posição 8	Comparação de Frequência		Posição 9	Comparação de Frequência		
	Sem carga	Com Carga		Sem carga	Com Carga		Sem carga	Com Carga	
Rep 1	23,40	21,90	Rep 1	26,20	25,40	Rep 1	28,50	27,30	
Rep 2	23,60	22,70	Rep 2	26,60	25,10	Rep 2	28,70	28,20	
Rep 3	23,90	22,90	Rep 3	26,70	26,20	Rep 3	28,90	28,30	
Média	23,63	22,50	Média	26,50	25,57	Média	28,70	27,93	
Desvio padrão	0,25	0,53	Desvio padrão	0,26	0,57	Desvio padrão	0,20	0,55	
Def. entre Médias			Def. entre Médias			Def. entre Médias			
		1,13			0,93			0,77	
Intervalo 95%	0,22059072	0,46382065	Intervalo 95%	0,23191033	0,49842097	Intervalo 95%	0,17530773	0,48275984	
Dif. com intervalo	23,85	23,41	22,96	22,04	Dif. com intervalo	26,73	26,27	26,07	25,07
Dif. c/ confiança	45,89	0,45	Dif. c/ confiança	51,80	0,20	Dif. c/ confiança	56,33	0,11	

Adotado o valor de 95% de intervalo de confiança, a variação da frequência foi menos de 0,5Hz, o que está dentro da variação aceitável e, conforme demonstrado, à medida que o equipamento se aproxima da potência máxima, há redução da variação frequência.

5.2 Teste em campo

a) Primeiro teste

Nos testes realizados, na fazenda *La Florida (Gigante, Huila, Colômbia)*, fazenda *Buenos Aires (Salento, Quindio, Colômbia)*, para avaliar o desprendimento dos frutos pela transmissão da vibração, evidenciou-se que a derriçadora modificada não tinha o espaçamento suficiente entre as hastes, que permitia a entrada adequada entre elas e os ramos frutificados. Para solução, foram cortadas as hastes intermediárias, como se pode observar na Figura 17. Percebeu-se também, neste teste, que as melhores frequências, para derriça dos frutos, corresponderam às posições 6, 7, 8 e 9 do variador de frequência, sendo as maiores rotações do motor elétrico naquele momento. Na Tabela 5, demonstram as frequências obtidas por duas medições em campo com a fonte de alimentação disponível utilizada no local, a fim de aferir a real frequência do equipamento para aquela fonte, e sua média calculada, pois, por se tratar de testes fora do país, a utilização do grupo moto gerador ficou inviável ao transporte. Nota-se que ocorreu divergência entre as frequências obtidas, em laboratório e em campo, por se utilizar outro sistema de alimentação. Nos demais testes, empregou-se a mesma fonte geradora dos testes laboratoriais.

Tabela 5 - Frequências obtidas com alimentação no local do teste.

Posição	Prova 1(Hz)	Prova 2(Hz)	Média (Hz)
5	17,66	19,16	15,13
6	20	21,5	20,75
7	22,5	23,58	23,05
8	24,41	24,75	24,58
9	26,66	26,08	26,63
10	27,75	27,91	27,83

Figura 17 - Derrçadores modificados para os ensaios de derraça por vibraçaõ.



Fonte: Do autor (2019).

Na Figura 18, são apresentadas, para fim de análise visual, as imagens dos testes de derraça, nas cinco maiores velocidades do motor elétrico, correspondentes as posições: 5, 6, 7, 8 e 9 do variador de velocidade. No entanto, com as menores quantidades de frutos verdes, as velocidades correspondentes às posições 5 e 7 foram descartadas, por terem baixa eficiência; também a velocidade correspondente à posição 6 foi descartada, pela maior quantidade de frutos pequenos e de folhas. Sendo assim, foram consideradas como as duas melhores velocidades, as duas maiores, correspondentes com as posições 8 e 9 do variador de velocidade, por ter a maior quantidade de frutos derraçados e menores quantidades de folhas.

Figura 18 - Frutos e folhas derraçados no pano.



Posição 5

Posição 6

Posição 7

Posição 8

Posição 9

Fonte: Do autor (2019).

Na Tabela 6 são apresentados os volumes dos frutos derraçados nas diferentes configurações.

Tabela 6 - Proporção de frutos por configuração.

	Posição 8(24,58 Hz)				Posição 9 (26,63 Hz)			
	Cereja		Verde		Cereja		Verde	
Amplitude	[ml]	[%]	[ml]	[%]	[ml]	[%]	[ml]	[%]
9,4	4000	92,0	350	8,0	1250	84,5	230	15,5
16,5	1100	75,9	350	24,1	2250	84,9	400	15,1
23,7	1900	79,2	500	20,8	5700	84,4	1050	15,6

Em análise, evidenciou-se que, para a frequência de 24,58 Hz e amplitude de 9,4mm, apresentam a melhor eficiência em derriça seletiva com 8% de frutos verdes despendidos, seguidos pela frequência de 26,63 Hz, amplitudes 9,4, 16,5 ou 23,7mm com, aproximadamente, 15% de frutos verdes desprendidos. Logo em seguida, frequência de 24,58 Hz e amplitude de 23,7mm com 20% de frutos verdes e frequência 24,58 Hz e amplitude 16,5 com 24% de frutos verdes.

Segundo Villibor (2012), para a frequência de 26,67 Hz, existe predominância do modo de vibração pendular e ocorrência de fenômeno de ressonância o que pode explica a baixa variação do percentual de verde nas três diferentes amplitudes avaliadas.

b) Segundo Teste

A análise da força de desprendimento, para a avaliação da característica diferença de forças dos frutos cerejas e verdes, para a validação da lavoura, conforme Tabela 7, para possibilidade de colheita seletiva, conforme Silva et al. (2019) e, com intervalos de confiança de 95%, não apresentaram diferença mínima de 1,5 N, logo a lavoura foi excluída, para a análise das configurações desejadas, e alguns outros testes empíricos foram executados.

Tabela 7 - Força de desprendimento e análise com intervalo de confiança de 95%.

Análise da força de desprendimento dos frutos												
	Análise Planta 1				Análise Planta 2				Análise Planta 3			
	Força desprendimento verde		Força desprendimento Cereja		Força desprendimento verde		Força desprendimento Cereja		Força desprendimento verde		Força desprendimento Cereja	
Fruto 1	4,35		0,50		5,03		0,77		5,18		0,65	
Fruto 2	7,70		3,91		4,01		2,23		5,95		1,47	
Fruto 3	5,90		1,70		4,27		0,89		7,65		2,25	
Fruto 4	5,74		0,63		1,99		2,31		5,47		2,07	
Fruto 5	6,13		3,47		5,56		0,70		6,67		1,78	
Media	5,96		2,04		4,17		1,38		6,18		1,64	
Desvio	1,19		1,58		1,37		0,82		0,99		0,63	
Def. entre medias	3,92				2,79				4,54			
Intervalo 95%	1,05		1,39		1,20		0,72		0,87		0,55	
Dif com intervalo	7,01	4,92	3,43	0,65	5,37	2,97	2,10	0,66	7,06	5,31	2,20	1,09
Dif. Com conf	7,67		1,49		6,03		0,88		8,15		3,12	

A análise da Tabela 9 mostra a capacidade de derriça tocando o ramo. Pode-se caracterizar por eficiência de colheita o quanto a frequência induzida no ramo é suficiente, para desprender de forma eficiente os frutos. Percebeu-se que, na amplitude 9,4mm, não houve eficiência de colheita, o que caracterizou a impossibilidade de seu uso. O teste da amplitude 16,5mm e 23,7mm evidenciam que, a partir da posição 7, a transmissão energética é eficiente. Gomes, Santos e Jesus (2016) também observaram um aumento da eficiência de derriça, à medida que se aumentou a frequência de vibração, o que leva à tendência de que quanto maior a frequência, para a colheita plena, melhor a eficiência de derriça, Villabor (2012) diz que transmissibilidade da energia se dá a partir de 20Hz.

Coelho et al. (2015) observaram que a eficiência de derriça aumenta, à medida que se aumenta frequência e amplitude e que o tempo não influencia na eficiência de derriça.

Tabela 9 - Capacidade de colheita.

Análise de funcionalidade do equipamento tocando o ramo																		
Os frutos de desprenderam com o toque do derriçador no ramo?																		
Posição	Amplitude 9,4mm						Amplitude 16,5mm						Amplitude 23,7mm					
	Planta 1		Planta 2		Planta 3		Planta 1		Planta 2		Planta 3		Planta 1		Planta 2		Planta 3	
1	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não
2	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não
3	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não
4	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não
5	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não
6	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não
7	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
8	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
9	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
10	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não

Com o somatório das variáveis analisadas nas tabelas 8 e 9 das amplitudes e frequência, qualificadas para análise de quantitativo ou eficiência de seletividade, obtiveram-se as amplitudes: 16,5 e 23,7mm, e frequências de 22,5 a 27,93 Hz. Para a caracterização da lavoura, quanto ao percentual de verdes, três plantas foram colhidas plenas, para quantificar as proporções de frutos, em seus diferentes estádios de maturação, tendo como resultado a Tabela 10.

Tabela 10 - Distribuição dos frutos nos estádios de maturação.

	Planta 1		Planta 2		Planta 3		Média		
Verde:	3,40	33%	Verde:	2,30	40%	Verde:	5,30	63%	54%
Verde cana:	1,00	10%	Verde cana:	0,60	10%	Verde cana:	0,45	5%	
Cereja:	1,85	18%	Cereja:	1,00	17%	Cereja:	1,30	15%	46%
Passa/seco:	4,00	39%	Passa/seco:	1,85	32%	Passa/seco:	1,35	16%	
Total	10,25		Total	5,75		Total	8,40		

Nas Tabelas 11 e 12, pode-se observar que analisada a força de desprendimento, para a avaliação da caracterização da diferença de forças dos frutos cerejas e verdes, para a validação da lavoura, para a possibilidade de colheita seletiva com intervalos de confiança de 95% e 90% e diferença mínima de 1,5 N, evidencia-se que, para 95% de intervalo de confiança, a força mínima evidenciada foi de 1,49 N; para 90% de confiança tem-se a diferença mínima de 1,81 N. Logo pode-se afirmar que existe, no mínimo, 1,5 N de diferença entre a força de desprendimento do verde para o cereja, conforme proposta deste trabalho para uma lavoura propícia à colheita seletiva.

Tabela 11 - Força de desprendimento e análise com intervalo de confiança de 95%.

Tabela de análise da força de desprendimento dos frutos das plantas utilizada, para teste de derricha, tocando o ramo com as hastes com 95% de confiança.

	Análise Planta 1		Análise Planta 2		Análise Planta 3	
	Força desprendimento Verde	Força desprendimento Cereja	Força desprendimento Verde	Força desprendimento Cereja	Força desprendimento Verde	Força desprendimento Cereja
Fruto 1	5,77	2,18	6,85	1,57	4,35	0,50
Fruto 2	4,68	1,19	4,08	1,59	7,70	3,91
Fruto 3	9,20	2,15	4,47	1,75	5,90	1,70
Fruto 4	4,83	0,79	6,03	0,69	5,74	0,63
Fruto 5	5,69	0,80	6,65	2,97	6,13	3,47
Média	6,03	1,42	5,62	1,71	5,96	2,04
Desvio padrão	1,84	0,70	1,27	0,82	1,19	1,58
Def. entre médias	4,61		3,90		3,92	
Intervalo 95%	1,60997745	0,61117439	1,11185049	0,71526843	1,0464014	1,38711237
Dif. com intervalo	7,64 4,42	2,03 0,81	6,73 4,50	2,43 1,00	7,01 4,92	3,43 0,65
Dif. com conf.	8,45	2,39	7,73	2,07	7,67	1,49

Tabela 12 - Força de desprendimento e análise com intervalo de confiança de 90%.

Tabela de análise da força de desprendimentos dos frutos das plantas utilizada, para teste de derricha, tocando o ramo com as hastes com 90% de confiança.										
	Análise Planta 1		Análise Planta 2		Análise Planta 3					
	Força desprendimento Verde	Força desprendimento Cereja	Força desprendimento Verde	Força desprendimento Cereja	Força desprendimento Verde	Força desprendimento Cereja				
Fruto 1	5,77	2,18	6,85	1,57	4,35	0,50				
Fruto 2	4,68	1,19	4,08	1,59	7,70	3,91				
Fruto 3	9,20	2,15	4,47	1,75	5,90	1,70				
Fruto 4	4,83	0,79	6,03	0,69	5,74	0,63				
Fruto 5	5,69	0,80	6,65	2,97	6,13	3,47				
Média	6,03	1,42	5,62	1,71	5,96	2,04				
Desvio padrão	1,84	0,70	1,27	0,82	1,19	1,58				
Def. entre médias	4,61		3,90		3,92					
Intervalo 90%	1,35533816		0,51450905		0,93599659		0,60213924		0,88089913	
Dif com intervalo	7,39	4,68	1,94	0,91	6,55	4,68	2,32	1,11	6,84	5,08
Dif. com conf.	8,30		2,74		7,66		2,36		7,72	

Observa-se na Figura 20 que existe semelhança do ramo com o segundo teste também ocorreu inconsistência na medição da força de desprendimento dos frutos mais de forma menos intensa do que no segundo teste e foi possível aceitar a lavoura para os testes.

Figura 20 – Ramo da planta no teste final.



Fonte: Do Autor (2019).

Os resultados apresentados na Tabela 13 correlacionam o índice de frutos verdes colhidos com a amplitude do equipamento e frequência. O melhor resultado individual foi a 16,5 mm de amplitude e 27,93 Hz de frequência, com 10,31% de frutos verdes. A média para repetições resultou em 16,03% com um desvio de 6%, para a segunda melhor combinação, na frequência de 22,50 Hz, amplitude 16,5mm, com 10,81%; foi a melhor combinação em análise, e a frequência 22,50 Hz com menor desvio e média resultante em 11,76%.

Para amplitudes menores e frequências menores, obteve-se menor controle e, por isso, um desvio-padrão menor foi constatado.

Tabela 13 - Distribuição da maturação dos frutos nas amostras.

Amplitude 16,5 mm														
Frequência (22,5 Hz)					Frequência (25,57 Hz)					Frequência (27,93 Hz)				
Amostra	Verde	Cereja	Verde Cana	% Verdes	Amostra	Verde	Cereja	Verde Cana	% Verdes	Amostra	Verde	Cereja	Verde Cana	% Verdes
T1	375	2800	225	11,03%	T4	725	2100	350	22,83%	T7	250	2000	175	10,31%
T2	225	1400	50	13,43%	T5	425	1300	150	22,67%	T8	400	1300	100	22,22%
T3	200	1600	50	10,81%	T6	350	1000	50	25,00%	T9	350	1850	50	15,56%
			Média	11,76%				Média	23,50%				Média	16,03%
			Desvio	1%				Desvio	1%				Desvio	6%
Amplitude 23,7 mm														
Frequência (22,5 Hz)					Frequência (25,57 Hz)					Frequência (27,93 Hz)				
Amostra	Verde	Cereja	Verde Cana	% Verdes	Amostra	Verde	Cereja	Verde Cana	% Verdes	Amostra	Verde	Cereja	Verde Cana	% Verdes
T10	650	2500	200	19,40%	T13	500	1850	150	20,00%	T16	775	1250	200	34,83%
T11	1150	3200	250	25,00%	T14	700	3300	500	15,56%	T17	800	2800	25	22,07%
T12	450	900	100	31,03%	T15	1150	3250	175	25,14%	T18	820	2750	200	21,75%
			Média	25,15%				Média	20,23%				Média	26,22%
			Desvio	6%				Desvio	5%				Desvio	7%

De acordo com os dados obtidos, foi possível evidenciar o funcionamento do sistema de derriça seletiva semimecanizada, utilizando o controle da frequência, graças à diferença de força de desprendimento do grão, em seu estágio de maturação funciona, segundo Coelho et al. (2015), as frequências naturais reduzem, a medida do avanço do estágio de maturação do fruto.

Os testes foram executados em uma lavoura com a proporção de 54% de frutos verdes para 46% de frutos cereja, conforme desejado para colheita seletiva. Constatou-se que há uma diferença mínima de força de desprendimento de 1,5 N o que é recomendado por Silva (2008), mas o mínimo seria de 50% de frutos verdes para colheita seletiva mecanizada. Para amplitude de 9,4mm, mesmo na frequência mais alta, 33,4Hz, que corresponde à posição 10 do potenciômetro do sistema de controle, não se deu como seletiva. Para as amplitudes de 16,5mm e 23,7mm, a eficiência se deu, nas frequências 22,5Hz, 25,57Hz e 27,93Hz; na frequência 33,4Hz, a colheita se tornou plena o que comprova que, segundo Coelho et. al. (2015), a eficiência de derriça cresce com o aumento da frequência. O melhor resultado obtido foi de 10,31% de frutos verdes, na frequência de 27,57Hz e amplitude 16,5mm, seguida de 10,81% da frequência 22,04Hz e amplitude 16,5mm. O conjunto de repetições com menor desvio-padrão, ou seja, mais precisa, foi com uma média de 11,76% na amplitude de 16,5mm e frequência de 22,04Hz.

Segundo Villibor (2012), as maiores transmissibilidades de vibração, no sistema fruto-pedúnculo, são próximas a 20Hz. Neste trabalho seus melhores resultados foram, nas frequências de 22,04Hz a 27,93Hz, sendo que, em seu primeiro ensaio de campo, na Colômbia, seu melhor resultado foi 24,58Hz com 8% de frutos verdes colhidos, o que leva à reflexão de não existência de uma única frequência ideal e, sim, de uma faixa próxima a 25Hz, a qual varia, de acordo com cada lavoura e seu estágio de maturação.

6 CONCLUSÃO

Os dados comprovam a possibilidade da colheita seletiva semimecanizada e com percentual de verdes inferior a 20% conforme proposto.

A relação amplitude e frequência são os fatores relevantes para uma colheita seletiva e sua eficiência de colheita

Não existe uma frequência ideal, o importante é ajustar a relação amplitude e frequência.

Quanto maior a amplitude, menor será a frequência de início de seletividade.

A transmissão energética cinemática ideal aproxima-se da frequência de 25 Hz.

A frequência é o fator principal para eficiência de colheita seletiva e plena.

A força de desprendimento dos frutos maduros e verdes é um fator preponderante para a efetividade da colheita seletiva.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-FATTAH, H. M.; SHACKEL, K. A.; SLAUGHTER, D. C. Substantial vertical tree displacements occur during almond shaker harvesting. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 19, n. 2, p. 145-150, Mar. 2003.
- ABRAHÃO, S. A. **Qualidade da bebida e atividade antioxidante do café in vivo e in vitro**. 2007. 82 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.
- ALVES, E. A.; COSTA, J. N. M.; SANTOS, J. C. F. Procedimentos de colheita do café. In: MARCOLAN, A. L.; ESPINDULA, M. C. (Ed.). **Café na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. cap. 15, p. 345-358.
- AMIRANTE, P. et al. Vibration analysis of an olives mechanical harvesting system. **Agricultural Engineering International the CIGR Journal**, Bonn, v. 9, p. 1-10, jan. 2007.
- ARISTIZÁBAL, I. D.; OLIVEROS, C.; ALVAREZ, F. M. Mechanical harvest of coffee applying circular and multidirectional vibrations. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 46, n. 2, p. 205-209, Mar. 2003a.
- _____. Physical and mechanical properties of the coffee tree related to harvest mechanization. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 46, n. 2, p. 197-204, Mar. 2003b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO CAFÉ (ABIC). Consumo de café no Brasil deve crescer 3,6% em 2019. **ABIC**, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<http://abic.com.br/consumo-de-cafe-no-brasil-deve-crescer-36-em-2019/>>. Acesso em: 23 fev. 2019.
- _____. Consumo de Café no Brasil aumenta 4,80% e chega a 21 milhões de sacas. **ABIC**, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<http://abic.com.br/estatisticas/indicadores-da-industria/indicadores-da-industria-de-cafe-2018/>>. Acesso em: 9 mar. 2019.
- _____. O aumento do consumo em 2008. **ABIC**, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.abic.com.br/estatisticas.html#intro>>. Acesso em: 11 fev. 2019.
- BANDEIRA, G.; ABREU, G.; GIANELLI, R. **Vibração e ruído em manutenção preditiva**. 2010. 22 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Manutenção Industrial de Frotas) - Universidade Estadual “Julio de Mesquita Filho”, Bauru, 2010.
- BARBOSA, J. A.; SALVADOR, N.; SILVA, F. M. Desempenho operacional de derriçadoras mecânicas portáteis, em diferentes condições de lavouras cafeeiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 129-132, jan./mar. 2005.
- BARROS, U. V. et al. Teste com a derriçadora agromática, na colheita de café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 21, 1995, Curitiba. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC, 1995. p. 124-125.

BÁRTHOLO, G. F.; GUIMARÃES, P. T. G. Cuidados na colheita e preparo do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 187, p. 33-42, 1997.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Alice Web. **Guia do Comércio Exterior e Investimento**, Brasília, 2012. Disponível em: <<http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br>>. Acesso em: 4 fev. 2018.

BREGAGNOLI, M.; RIBEIRO NETO, J. F. (Org.). **Café nas montanhas**: caracterização da cafeicultura na área de atuação da Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé. Pouso Alegre: IFSUL de Minas, 2017. 172 p.

CASTRO-GARCIA, S. et al. Dynamic analysis of olive trees in intensive orchards under forced vibration. **Trees**, Santa Mônica, n. 22, p. 795-802, 2008.

CASTRO-GARCÍA, S. et al. Frequency response of Pinus Pinea L. for selective cone harvesting by vibration, **Trees**, v. 25, n. 5, p. 801-808, Oct. 2011.

CHALFOUN, S. M.; CARVALHO, V. D. **Colheita e preparo do café**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 49 p.

CHAVES, J. C. D. **Manejo do solo, adubação e calagem, antes e após a implantação da lavoura cafeeira**. Londrina: IAPAR, 2002. 36 p.

CHOI, H.-S. et al. Structural dynamic displacement vision system using digital image processing. **NDT & E International**, London, v. 44, n. 7, p. 597-608, Dec. 2011.

CISMASIU, C. **Apontamentos de vibrações mecânicas**. 2010. 54p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.

COELHO, A. L.F. et al. Detachment efficiency of fruits from coffee plants subjected to mechanical vibrations. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 4, p. 406-412, out./dez. 2015.

COOPERATIVA CASUL. Cooperado inicia colheita mecanizada de Café. **Cooperativa Agropecuária de Parapuã**, Parapuã, jun. 2010. Disponível em: <<https://www.casul.com.br/galeria-de-fotos/cooperado-inicia-colheita-mecanizada-de-cafe/>>. Acesso em: 18 mar. 2019.

CRISOSTO, C. H.; NAGAO, M. A. Evaluation of fruit removal force of coffee cultivars. **HortiScience**, United States, v. 26, n. 2, p. 210-230, Feb. 1991.

EMBRAPA. Dia de Campo Especial. **Dia de Campo na TV**, Brasília, dez. 2004. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/dia-de-campo-na-tv/2004>>. Acesso em: 18 mar. 2019.

_____. **Impactos socioeconômicos do sistema de derrça mecanizado portátil na colheita de café de montanha no Brasil**. São Carlos: Embrapa, 2012. 30 p.

FAGANELLO, L. R. **Fatores que influenciam a qualidade do café no Paraná**. Santa Terezinha de Itaipu: Emater, 2018. 41 p.

FERRAZ, G. A. S. et al. Variabilidade espacial da força de desprendimento de frutos do cafeeiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 6, p. 1210-1223, nov./dez. 2014.

FERREIRA JÚNIOR, L. G. **Análise de vibração das hastes de uma colhedora de café**. 2014. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

_____. et al. Recomendação para colheita mecânica do café baseado no comportamento de vibração das hastes derriçadoras. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 2, p. 273-278, out. 2015.

FIGUEIREDO, D. M. **Consumo de café e seus efeitos sobre parâmetros bioquímicos, fisiológicos e antropométricos em indivíduos adultos portadores de diabetes mellitus tipo II**. 2010. 142 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

FILGUEIRAS, W. H. **Modelagem da planta de café por elementos finitos para estudos de colheita por vibração**. 2001. 81 p. Dissertação (Mestrado em Mecanização Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

GARCÍA-URIBE, F.; OLIVEROS-TASCÓN, C. E. Design of a shaker-clamp system for inertial shaker of coffee trees. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ (CENICAFÉ), 2003, Las Vegas. **Proceedings...** Las Vegas: ASAE, 2003. p. 1-12.

GOMES, E. Q. **Influência do impacto das hastes rígidas no processo de colheita do café por vibrações**. 2017. 78 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017a.

GOMES, E. Q.; SANTOS, F. L.; JESUS, V. A. M. Influence of the impact of a rigid rod on the coffee fruits detachment by mechanical vibrations. **Resista Agrarian**, Dourados, v. 9, n. 32, p. 172-181, 2016.

GOMES, J. B. **Avaliação do desprendimento do fruto do cafeeiro por vibração: um estudo de caso**. 2017. 117 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017b.

HARRIS, C. M.; PIERSOL, A. G. **Harris' shock and vibration handbook**. 5nd ed. New York: McGraw-Hill, 2002. 1168 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário**. Brasília: IBGE, 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>>. Acesso em: 20 jan. 2019.

_____. **Produção Agrícola Municipal, vários anos**. Brasília: IBGE, 2009. Disponível em: <www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2009/PAM2009_Publicacao_completa.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2019.

JACTO. Linha do Tempo. **Jacto**, Pompéia, [201-]. Disponível em: <<https://www.jacto.com/brasil/company/linha-do-tempo>>. Acesso em: 6 mar. 2019.

JAMES, K. R.; HARITOS, N.; ADES, P. K. Mechanical stability of trees under dynamic loads. **American Journal of Botany**, United States, v. 93, n. 10, p. 1522-1530, Oct. 2006.

LIMA, A. R. **Efeito da descafeinação do café sobre a atividade antioxidante e prevenção de lesão hepática em ratos**. 2008. 90 p. (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

MARCOMINI, G. R. **Aspectos econômico-financeiros da produção de café convencional e café especial**. 2008. 93 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Sistemas de Produção na Agropecuária) - Universidade José do Rosário Vellano, Alfenas, 2008.

MEIROVITCH, L. **Fundamental of vibrations**. New York: McGraw Hill, 2001. 806 p.

MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, R. J. **Economia cafeeira: o agronegócio**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2000. 42 p.

MESQUITA, C. M. et al. **Manual do café: colheita e preparo (Coffea arábica L.)**. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2016. 52 p.

OLIVEIRA, E. **Colheita mecanizada do café em maiores velocidades operacionais**. 2006. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

OLIVEIRA, E. et al. Custos operacionais da colheita mecanizada do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 827-831, jun. 2007a.

_____. Influência da vibração das hastes e da velocidade de deslocamento da colhedora no processo de colheita mecanizada do café. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 714-721, set./dez. 2007.

OLIVEIRA, M. V. M. **Desenvolvimento e avaliação de um dispositivo para derriza de café**. 2009. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

ORMOND, J. G. P.; PAULA, S. R. L.; FAVERET FILHO, P. Café: (re)conquista dos mercados. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 10, p. 3-56, set. 1999.

PARCHOMCHUK, P.; COOKE, J. R. Vibratory fruit harvesting: an experimental analysis of fruit-stem dynamics. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 15, n. 4, p. 598-603, 1971.

PEZZY, F.; CAPRARA, C. Mechanical grape harvesting: investigation of the transmission of vibrations. **Biosystems Engineering**, London, v. 1, n. 3, p. 281-286, 2009.

RAMÍREZ, C. M. et al. Evaluación de un cosechador de café por vibración circular al tallo. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, Medellín, v. 56, n. 1, p. 1789-1803, 2003.

RAO, S. S. **Vibrações mecânicas**. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. 424 p.

_____. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. 448 p. 2008.

RIBEIRO, J. N. **O trabalho rural e a sazonalidade do café: um estudo sobre assalariados do município de Campo Belo - MG.** 2014. 175 p. Tese (Doutorado em Serviço Social) - Universidade Estadual Paulista "Júlio De Mesquita Filho", Franca, 2014.

RIGHINI, G. et al. Fiber and integrated optics sensors: fundamentals and applications. In: RIGHINI, G. **An introduction to optoelectronic sensors.** New York: World Scientific, 2009., p. 1-33.

RIPPER, G. P. **Padronização primária em metrologia de vibrações.** 2005. 219 p. Tese (Doutorado em Ciências de Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

SAMPAIO, C. P. et al. Determinação da força requerida para o desprendimento dos frutos de café em diferentes estádios de maturação. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 8., 2000, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: Embrapa Café, 2000. p. 98-100.

SANTIN, M. R. et al. Ciclo de maturação e força de desprendimento dos frutos de café Conilon em cultivo irrigado no cerrado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 9., 2015, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2015. p. 1-5.

SANTINATO, F. **Colheita mecanizada do café utilizando repetidas operações da colhedora.** 2014. 72 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba, 2014.

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

SANTOS, F. L. et al. Efeito da frequência e amplitude de vibração sobre a derriça de frutos de café. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 425-431, abr. 2010.

_____. **Simulação e avaliação do comportamento dinâmico de frutos do cafeeiro na derriça.** 2008. 136 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

SANTOS, J. C. F. Prática da colheita manual do café. **Revista Cafeicultura**, Rio Paranaíba, dez. 2005. Disponível em: <<http://revistacafeicultura.com.br/?mat=3697>>. Acesso em: 25 fev. 2019.

SESSIZ, A.; ÖZCAN, M. T. Olive removal with pneumatic branch shaker and abscission chemical. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 76, n. 2, p. 148-153, Sept. 2006.

SILVA, C. A. R.; TEODORO, E. F.; MELO, B. Produtividade e rendimento do cafeeiro submetido a lâminas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 387-394, mar. 2008.

SILVA, C. S. et al. Comportamento da força de desprendimento de frutos de cafeeiros ao longo do período de colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 468-474, mar./abr. 2010.

SILVA, D. A. **Diagnóstico de equipamentos de propulsão naval através de análise de vibração**. 2006. 135 p. Dissertação (Mestrado Ciências em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SILVA, F. C. **Efeito da força de desprendimento e da maturação dos frutos de cafeeiros na colheita mecanizada**. 2008. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

SILVA, F. C. et al. **Colheita do café mecanizada e semimecanizada**. Lavras: Ed. UFLA, 2019. 81 p.

_____. Desempenho operacional da colheita mecanizada e seletiva do café em função da força de desprendimento dos frutos. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 53-60, jan./mar. 2013a.

_____. Efficiency of coffee mechanical and selective harvesting in different vibration during harvest time. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 56 - 64, jan./mar. 2015.

SILVA, F. C. **Influências de variáveis meteorológicas do solo e nutricionais na força de desprendimento dos frutos do café**. 2013. 71 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

SILVA, F. C. **Influências de variáveis meteorológicas do solo e nutricionais na força de desprendimento dos frutos do café**. 2013. 71 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

SILVA, F. M. **Colheita mecanizada e seletiva do café: cafeicultura empresarial: produtividade e qualidade**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 75 p.

_____. et al. Avaliação da colheita do café totalmente mecanizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 309-315, maio/ago. 2003.

SILVA, F. M. et al. Desempenho da operação mecanizada de derriça do café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 23., 1997, Manhauçú. **Anais...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 1997. p. 174-176.

_____. Desempenho operacional da colhedora automotriz de café na região do sul de Minas. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 24., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Rio de Janeiro: MAA/PROCAFÉ, 1998. p. 232-234.

_____. Influência da colheita mecanizada com distintas passadas da colhedora na qualidade do café. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 27., 2001, Uberaba. **Anais...** Rio de Janeiro: MAA/PROCAFÉ, 2001. p. 213-215.

_____. Influência da força de desprendimento dos frutos do cafeeiro em diferentes estádios de maturação ao longo da colheita. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007, Bonito. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2007. 1 CD ROM.

SILVA, F. M.; SALVADOR, N. **Mecanização da lavoura cafeeira: colheita**. Lavras: UFLA/DEG, 1998. 55 p.

SOUZA, C. M. A. **Desenvolvimento e modelagem de sistemas de derricha e de abanação de frutos do cafeeiro**. 2004. 123 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

SOUZA, C. M. A. et al. Comparação entre derricha manual e mecânica de frutos de cafeeiro. **Ceres**, Viçosa, v. 53, n. 305, p. 39-43, 2006.

_____. Desenvolvimento de uma máquina vibradora para estudo do desprendimento de frutos do cafeeiro. **Engenharia Agrícola**, Viçosa, v. 13, n. 1, p. 7-18. jan./mar. 2005.

SOUZA, C. M. A.; QUEIROZ, D. M.; RAFULL, L. Z. L. Derrichadora portátil na colheita total e seletiva de frutos do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 11, p. 1637-1642, 2006.

SOUZA, F. F.; SANTOS, M. M.; VENEZIANO, W. Análise da qualidade de frutos em duas variedades de café Robusta, preparados por via seca com diferentes percentuais de maturação à colheita. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2005, Londrina. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2005. CD ROM.

STALMACH, A. et al. On-line HPLC analysis of the antioxidant activity of phenolic compounds in brewed, paper-filtered coffee. **Brazilian Journal Plant of Physiology**, Londrina, v. 18, n. 1, p. 253-262, jan./mar. 2006.

TASCÓN, C. E. O. et al. Cosecha del café con vibradores portátiles del tallo. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, Medellín, v. 58, n. 1, p. 2697-2708, 2005.

TAVARES, E. L. A. **A questão do café Commodity e sua precificação: o “C Market” e a classificação, remuneração e qualidade do café**. 1998. 225 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

TAVARES, J. M. R. S. et al. Computer analysis of objects' movement in image sequences methods and applications. In: CONFERÊNCIA NACIONAL DE DINÂMICA DE SISTEMAS MULTICORPO, 2007, Guimarães. **Actas...** Guimarães: [s.n.], 2007. p. 33-40.

THORODDSEN, S. T.; ETOH, T. G. TAKEHARA, K. High-speed imaging of drops and bubbles. **Annual Review of Fluid Mechanics**, Palo Alto, n. 40, p. 257-285, 2008.

VELOSO, G. V. **Automação do sistema de direção de colhedora de café**. 2013. 62 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

VENTURELLI, I. R. et al. Comparação de custos entre a colheita mecanizada e semi-

mecanizada de café: um estudo de caso em uma propriedade no município de Andradas - MG. **Revista de Administração**, Espírito Santo do Pinhal, v. 16, n. 20, p. 93-104, jan./dez. 2016.

VIANA, A. S.; SOUZA, T. Efeito do tempo de permanência do café derrçado na lavoura, com e sem previa varrição, na qualidade final do produto. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 28., 2002, Caxambu. **Anais...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2002. p. 65-67.

VILLIBOR, G. P. et al. Determination of modal properties of the coffee fruit-stem system using high speed digital video and digital image processing. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 38, n. 1, p. 41-48, jan. 2016.

_____. Effect of frequencies and low amplitudes of vibration on coffee fruit harvesting efficiency. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING, 2010, Clermont-Ferrand. **Proceedings...** Clermont-Ferrand: AgEng, 2010. 1 CD ROM.

VILLIBOR, G. P. **Modelagem do sistema fruto-pedúnculo no processo de derriça de café**. 2012. 161 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.