

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
JONATHAN MENEGUCI XAVIER**

**ANÁLISE DO CONJUNTO DE VIBRAÇÃO DE
UMA COLHEDORA DE CAFÉ VIA ANÁLISE DE VIBRAÇÕES**

**Varginha
2019**

JONATHAN MENEGUCI XAVIER

**ANÁLISE DO CONJUNTO DE VIBRAÇÃO DE
UMA COLHEDORA DE CAFÉ VIA ANÁLISE DE VIBRAÇÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção de grau de bacharel, sob orientação do Prof. Msc. Jonathan Oliveira Nery e coorientação de Tácio Peres da Silva.

**Varginha
2019**

JONATHAN MENEGUCI XAVIER

**ANÁLISE DO CONJUNTO DE VIBRAÇÃO DE
UMA COLHEDORA DE CAFÉ VIA ANÁLISE DE VIBRAÇÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção de grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: / /

Professor (a)

Professor (a)

Professor (a)

OBS.:

Dedico este trabalho aos meus pais, Jose Maria e Neide, aos meus irmãos Jordana e Jordão, a minha noiva Kamilla e a todos os demais que contribuíram para sua realização.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar sabedoria e foco nesse objetivo. Agradeço a minha família, por acreditar no meu potencial e sempre me ajudar nas horas que mais precisei. Agradeço aos meus professores pelo conhecimento passado, especialmente a professora Luciene, pela ajuda e paciência na construção deste trabalho. Agradeço ao meu orientador Jonathan Nery pela orientação e também ao meu coorientador Tácio pela ajuda nas dúvidas que foram surgindo no decorrer deste trabalho. Por fim, quero agradecer aos meus amigos pela ajuda e apoio nas dificuldades que surgiram durante todo o ciclo de estudos.

“Não confunda jamais conhecimento com sabedoria. Um o ajuda a ganhar a vida, o outro a construir uma vida.”

Sandra Carey

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise do conjunto de vibração de uma colhedora de café. Tal abordagem se justifica, devido ao aumento na demanda deste equipamento para mecanização da colheita de café. O interesse por esse estudo surgiu mediante ao grande fluxo de utilização das colhedoras de café, e também, devido às dúvidas quanto ao acompanhamento do equipamento no ambiente de trabalho. O propósito deste trabalho é analisar as varetas de derriça de uma colhedora de café, via análise de vibrações, a fim de conhecer o comportamento dinâmico em termos de amplitude e frequência de vibração e os efeitos sobre a colheita, visando produtividade. Com base nessas informações, visa-se aprimorar o conhecimento com relação a todo o seu funcionamento e buscar informações e dados que possam aumentar a produtividade sem causar danos à planta. Este propósito será alcançado através de pesquisas bibliográficas em artigos, teses e dissertações que expliquem sobre o assunto e dados experimentais. Os testes em campo foram realizados na cidade de Varginha, Minas Gerais, com utilização de uma colhedora de café automotriz, modelo JX2000, fabricada pela empresa Jaguar Máquinas.

Palavras-chave: Vibrações Mecânicas. Produtividade. Colhedora de Café.

ABSTRACT

This paper presents an analysis of the vibration set of a coffee harvester. Such an approach is justified due to the increased demand for this equipment to mechanize coffee harvesting. Interest in this study arose from the large flow of use of coffee harvesters, and also, due to doubts about the monitoring of the equipment in the workplace. The purpose of this work is to analyze the melting rods of a coffee harvester, via vibration analysis, in order to know the dynamic behavior in terms of amplitude and frequency of vibration and the effects on the harvest, aiming productivity. Based on this information, we aim to improve knowledge regarding its entire operation and seek information and data that can increase productivity without causing damage to the plant. This purpose will be achieved through bibliographic research in articles, theses and dissertations that explain the subject and experimental data. The field tests were performed in the city of Varginha, Minas Gerais, using a self-propelled coffee harvester, model JX2000, manufactured by the company Jaguar Machinery.

Keywords: *Mechanical Vibrations. Productivity. Coffee harvester.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ilustração de uma colhedora de café modelo de arrasto.	16
Figura 2 - Ilustração de uma colhedora de café modelo automotriz.	17
Figura 3 - Componentes de uma colhedora automotriz.....	19
Figura 4 - Visão frontal da Colhedora Automotriz.....	20
Figura 5 - Vista Posterior da Colhedora Automotriz.....	21
Figura 6 - Vista lateral esquerda da colhedora automotriz.....	22
Figura 7 - Vista Lateral Esquerda da Colhedora Automotriz.....	23
Figura 8 - Vista Superior da Colhedora Automotriz.	24
Figura 9 - Sistema de vibração das varetas de uma colhedora de café.....	26
Figura 10 - Esquema de funcionamento de um Freio de Vibração.	27
Figura 11 - Coleta da Frequência Natural na árvore da colhedora.	30
Figura 12 - Coleta da Frequência natural nas varetas da colhedora.	31
Figura 13 - Coleta das medidas de vibração.....	32
Figura 14 - Processos dos testes em campo.....	33
Figura 15 - Dados coletados a 0° em relação a correia do freio.	34
Figura 16 - Dados coletados a 90° em relação a correia do freio.	35
Figura 17 - Dados coletados da vareta danificada.....	36
Figura 18 - Dados coletados da vareta nova.....	36
Figura 19 - Dados coletados dos espectros medidos para rotações de 800, 900, 950 e 1000. .	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 COLHEDORAS DE CAFÉ	13
3 MODELOS DE COLHEDORAS DE CAFÉ	15
3.1 Colhedora de Arrasto.....	15
3.2 Colhedora Automotriz	16
4 FUNCIONAMENTO E COMPONENTES DE UMA COLHEDORA DE CAFÉ.....	18
4.1 Funcionamento da colhedora de café	18
4.2 Componentes de uma colhedora de café	18
4.2.1 Visão Geral da Colhedora Automotriz	18
4.2.2 Vista Frontal da Colhedora Automotriz	19
4.2.3 Vista Posterior da Colhedora Automotriz	21
4.2.4 Vista Lateral Esquerda da Colhedora Automotriz.....	22
4.2.5 Vista Lateral Esquerda da Colhedora Automotriz.....	23
4.2.6 Vista Superior da Colhedora Automotriz	23
5 VIBRAÇÃO NA COLHEITA DE CAFÉ.....	25
5.1 Vibrações nas varetas da colhedora de café	26
5.1.1 Freio das Vibrações	27
5.1.2 Transmissibilidade.....	27
5.1.3 Frequência Natural	28
5.1.4 Teste de Impacto.....	28
6 METODOLOGIA.....	29
6.1 Técnicas de Pesquisa	29
6.2 Coleta dos dados vibracionais	29
6.2.1 Frequência natural da árvore	30
6.2.2 Frequência natural nas varetas.....	31
6.2.3 Medidas de variação de amplitude vibração com alteração da frequência de operação .	31
6.3 Testes em campo	32
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34

7.1 Dados vibracionais coletados na frequência natural da árvore.....	34
7.2 Dados vibracionais coletados na frequência natural da vareta	35
7.3 Dados vibracionais coletados da amplitude de vibração com alteração da frequência de operação.....	37
7.4 Dados coletados nos ensaio em campo.....	38
8 CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

A colheita mecanizada dos frutos do cafeeiro tem sido realizada por meio de vibrações mecânicas. Este processo resume na ação de varetas rígidas vibrando que impactam e induzem vibração aos frutos e ramos da planta. Desta forma, quando se utiliza energia vibracional para remover frutos, a associação de variáveis como frequência e amplitude de vibração são primordiais para um processo eficaz.

Com intuito de obter conhecimento do sistema e comportamento dinâmico dos componentes mecânicos responsáveis pela transmissão da vibração aos frutos do café, o tema proposto engloba a regulagem do freio dos cilindros vibradores, frequência, amplitude de vibração de diferentes modelos de varetas vibratórias das colhedoras de café. Todos esses aspectos levam-se a um melhor desempenho e eficiência na colhedora, bem como o aumento da produtividade.

Visando uma colheita eficiente deve-se proceder à regulagem correta da vibração das varetas através da frequência, amplitude, regulagem dos freios dos cilindros vibradores, rotação das caixas de vibrações e velocidade de trabalho da máquina. Com esses parâmetros estabilizados resulta-se numa redução de custos com repasse, mão-de-obra e danos nas plantas. Alinhando esses aspectos, os benefícios ao cafeicultor e as indústrias de máquinas agrícolas, se tornam satisfatório, tendo como base essas informações para a confecção de seus projetos.

Mediante aos fatos, o objetivo geral deste projeto será analisar a vibração das varetas de derriça de uma colhedora de café, a fim de conhecer o comportamento dinâmico em termos de amplitude e frequência de vibração e os efeitos sobre a colheita, visando produtividade.

Outros objetivos deste trabalho serão apresentar um estudo sobre o comportamento de vibração das varetas de uma colhedora de café, mapeando a trajetória percorrida pela mesma, com o auxílio de aparelhos eletrônicos. Outro objetivo muito importante que será a correlação dos efeitos dinâmicos das varetas sobre a eficiência de derriça do café, sempre visando a produtividade, como um todo.

O interesse por esse estudo, surgiu mediante as dúvidas devido ao acompanhamento do equipamento em trabalho, com intuito de aprimorar conhecimento, e afim de utilizar a análise como documentação da empresa Jaguar Máquinas e demais empresas de colhedoras do ramo.

A seguir, será apresentada uma pesquisa bibliográfica sobre o assunto, realizada em materiais do gênero. As análises complementares do projeto serão realizadas através de testes

realizados em campo, com o auxílio de aparelhos eletrônicos que medem a vibração das varetas da colhedora de café.

Para o início da pesquisa, se fez necessário obter algumas informações sobre as colhedoras de café, bem como a sua importância no meio de trabalho.

2 COLHEDORAS DE CAFÉ

A cafeicultura se destaca mundialmente pela sua importância socioeconômica, principalmente no estado de Minas Gerais, onde atua direta ou indiretamente nos mais diversos setores. Para o cafeicultor atender à demanda e manter-se competitivo no mercado, é necessário reduzir custos de produção, o que levou a utilização da mecanização na cafeicultura, como é o caso da colheita do café, que é um processo que demanda um elevado custo com mão de obra, pela qual está cada vez mais escassa em toda região. O processo de mudança da colheita manual para a colheita automatizada fez surgir novas tecnologias e diversos modelos de colhedoras. Essas colhedoras possuem regulagens que influenciam diretamente na eficiência de derriça, bem como a produtividade dos grãos. Porém, entender o comportamento dinâmico e vibracional dos componentes e sistemas das colhedoras de café, é de extrema importância para o desenvolvimento de novos produtos, recomendações de regulagem e operação (FERREIRA JÚNIOR, 2014).

De acordo com Souza (2017, p. 19)

O desenvolvimento da primeira colhedora de café de que se tem conhecimento, aconteceu, ao final da década de 70, a partir da invenção do imigrante japonês Shunji Nishimura, que criou uma máquina que revolucionou a colheita de café e fez com que o Brasil se transformasse no maior produtor mundial de café.

Atualmente, existem vários estudos a respeito da eficiência operacional da colheita mecanizada do café, no entanto existem poucas informações ou análises sobre a influência da vibração das hastes e a velocidade de deslocamento da colhedora nesse processo. Comparativamente a outras culturas, a colheita do café é mais difícil de ser executada, em razão do formato da planta, da desuniformidade de maturação e do elevado teor de água dos frutos, o que prejudica a mecanização das operações (OLIVEIRA; SILVA; SALVADOR; FIGUEIREDO, 2007).

As colhedoras de café podem ser automotrizes ou tracionadas. Essas máquinas, através de sistemas hidráulicos, com varetas vibratórias, fazem o trabalho de derriça, recolhimento, abanação e descarga do café na forma ensacada ou a granel (MESQUITA, 2016).

De acordo com Tavares (2016, p.18) a colhedora de café, foi inventada e muito estudada e melhorada antes de se tornar comumente usual nas propriedades agrícolas nos dias de hoje.

De acordo com Custódio (2012, p. 01) “A utilização de colhedoras requer regulagens adequadas e o controle da qualidade do processo de colheita do café é fundamental para a redução das perdas e danos na lavoura”.

Segundo Santos (2008, p. 28):

A colheita mecanizada dos frutos do cafeeiro tem sido realizada por meio de vibrações mecânicas. A partir da associação de fatores como frequência e amplitude de vibração, pode-se transferir energia vibracional suficiente para o desprendimento dos frutos. Desta forma, a partir do conhecimento das propriedades modais do sistema frutopedúnculo, pode-se empregar níveis de frequência e amplitude adequados para a realização da colheita seletiva dos frutos.

A colheita do café é uma das operações mais complexas e importantes, tendo em vista que, o mesmo é um dos produtos agrícolas que tem seu preço baseado em parâmetros qualitativos. Dentre os maiores benefícios da colheita mecanizada, pode-se destacar a rapidez e a eficiência da operação, tendo como resultado uma maior qualidade e redução de perdas no processo, diminuindo consideravelmente o custo de produção da saca de café. Atualmente, diferentes sistemas de colheita são empregados na cafeicultura, e sua adoção depende de inúmeros fatores, dentre eles o nível tecnológico do produtor, as características das plantas e a topografia das áreas. Dessa maneira, a colheita do café pode ser realizada de diferentes formas, sendo os três tipos principais: a colheita manual, a manual-mecânica e a colheita mecanizada (OLIVEIRA, 2007).

De acordo com Sales (2015, p. 15) “A mecanização da colheita do café já é uma realidade em grande parte dos cafezais do Brasil, sendo que os benefícios técnicos e econômicos se comprovam a cada safra”.

Silva (2018) destaca que um critério importante que afeta decisões sobre o gerenciamento de um projeto de uma colhedora é baseado no seu desempenho relativo à sua função com eficiência, trabalhando em ambientes diversos.

No mercado existem alguns modelos de colhedoras de café, esses modelos influenciam tanto na qualidade como na produtividade da colheita, a seguir podem-se analisar esses modelos e suas disposições mediante aos aspectos estudados.

3 MODELOS DE COLHEDORAS DE CAFÉ

Se tratando da colheita de café, existem alguns equipamentos que podem ser empregados no meio produtivo, por meio da vibração. Podem ser destacadas as colhedoras automotrizes e as colhedoras de arrasto, essas máquinas empregam hastes vibratórias na transferência de energia para o sistema de derriça do fruto cafeeiro (OLIVEIRA, 2007).

De acordo com De Souza (2004, p. 66)

Nos últimos anos, têm sido introduzidas colhedoras apropriadas para pequenos e médios produtores de café. Essas máquinas se apresentam com diversos princípios de acionamento (pneumático, elétrico, motor de combustão interna) e de funcionamento (vibração e/ou impacto).

Atualmente os modelos passaram a apresentar maiores dimensões em virtude da grande variedade de plantas de café. A seguir, pode-se verificar cada um desses modelos e suas principais características em relação ao seu funcionamento.

3.1 Colhedora de Arrasto

A colhedora de arrasto opera a cavaleiro (em torno das linhas das plantas), fazendo a derriça no chão, tracionada por trator, sendo fixada nos três pontos e acionada pela tomada de potência. Seus dois conjuntos, com dezenas de hastes vibratórias, entram em contato com os ramos dos cafeeiros para derriçar os grãos e são acionados pelo sistema hidráulico. Graças a um sistema independente das rodas, a colhedora de arrasto pode ser operada em terrenos com desnível lateral. Este tipo de colhedora apresenta sistema independente do trator para comandos, regulagens e altura de colheita e vibração, que são executados por um operador auxiliar, situado na parte superior do pórtico (SOUZA, 2017).

Manteufel (2012, p. 11) complementa que a colhedora que tiver um motor auxiliar independente ou for acionada pela tomada de potência de um trator, sendo tracionada pelo mesmo através da barra de tração, a colhedora é de arrasto. A figura 01 mostra como seria o modelo de uma colhedora de arrasto ou tracionada.

A colhedora de arrasto que opera a cavaleiro faz a derriça no chão, é tracionada pelo trator, é acoplada nos três pontos e acionada pela tomada de potência. Seus dois conjuntos, com dezenas de hastes vibratórias, entram em contato com os galhos dos cafeeiros para derriçar os grãos e são acionados pelo sistema hidráulico (SILVA, 2018).

Figura 1 - Ilustração de uma colhedora de café modelo de arrasto.



Fonte: O autor (2019).

De acordo com a figura 01, pode-se perceber que a colhedora necessita de um trator para que a mesma possa se locomover diante da lavoura de café.

3.2 Colhedora Automotriz

A colheita mecanizada de café é feita por derriçadoras tratorizadas ou automotrizas com estrutura pórtico operando a cavaleiro. Esse tipo de colhedora é constituído de cilindros vibratórios com varetas que tocam lateralmente a planta de café derriçando os frutos por meio de vibração e impacto. Tanto em colhedoras automotrizas quanto nas portáteis é comum utilizar mecanismos de vibração para derriça de café (DE OLIVEIRA, 2013).

Mesquita (2016) destaca que as colhedoras automotrizas, como o nome sugere, tem propulsão própria e as tracionadas necessitam ser acopladas a um trator através da barra de tração e da tomada de força.

Na figura 02 pode-se observar que existem algumas diferenças entre a colhedora de arrasto (figura 01) e a colhedora automotriz, essas diferenças podem afetar tanto na produtividade quanto em questão de manutenção.

Figura 2 - Ilustração de uma colhedora de café modelo automotriz.



Fonte: O autor (2019).

Na colhedora automotriz há um envolvimento de toda a planta pela máquina, caminhamento contínuo e vibração dos ramos do cafeeiro, visando à derrixa e seu posterior recolhimento, limpeza e ensacamento. Acionada por um motor diesel colocado na lateral esquerda da estrutura assemelha-se a um trator de grande altura, com os componentes de colheita instalados no interior do seu pórtico. A máquina opera a cavaleiro sobre a linha das plantas, envolvendo-as totalmente (SILVA, 2018).

Como pôde ser visto, as colhedoras de café possuem modelos que se adaptam mediante a necessidade que o cliente necessita um ponto muito importante a ser citado é a necessidade que o mesmo possui em relação à declividade do terreno.

Para dar continuidade ao trabalho, faz-se necessário aprofundar os estudos a respeito das colhedoras de café, mostrando os componentes que a mesma possui. Pode-se observar que o modelo em estudo, à automotriz, possui componentes particulares que podem ser vistos somente no modelo.

4 FUNCIONAMENTO E COMPONENTES DE UMA COLHEDORA DE CAFÉ

O conjunto de uma colhedora de café é provido de itens que são necessários para seu funcionamento, assim, cada item designa uma função desde o funcionamento, colheita e armazenamento do fruto cafeeiro.

4.1 Funcionamento da colhedora de café

A Colhedora de Café Jaguar JX 2000, máquina Auto propelida, funciona com motor diesel para acionar todas suas funções, através de bombas, motores e redutores hidráulicos, e possui o sistema elétrico de 12 volts para energizar toda sua parte elétrica e eletrônica, onde a mesma controla todas as funções e acionamento de dentro da cabine do operador. No modo de colheita, a colhedora trabalha a cavaleiro sobre a linha das plantas, possuindo duas árvores derrificadoras com varetas vibratórias que envolvem os cafeeiros, derruçando os frutos pelo efeito da vibração. Após a derruçã, os frutos caem sobre os recolhedores e são transportados até e elevador. O elevador transporta verticalmente o fruto e suas impurezas da derruçã até a ventilação, onde a mesma faz a separação e o fruto puro segue para o recolhedor transversal. A finalidade do recolhedor transversal é transportar os grãos dos elevadores até a descarga lateral pelo lado esquerdo a fim de descarregar no trator que segue no carreador paralelo com a máquina em trabalho, ou para o reservatório pelo lado direito, armazenando o fruto no equipamento e assim que mesmo estiver cheio, realizar a descarga com a máquina parada basculhando o reservatório (JAGUAR, 2019).

4.2 Componentes de uma colhedora de café

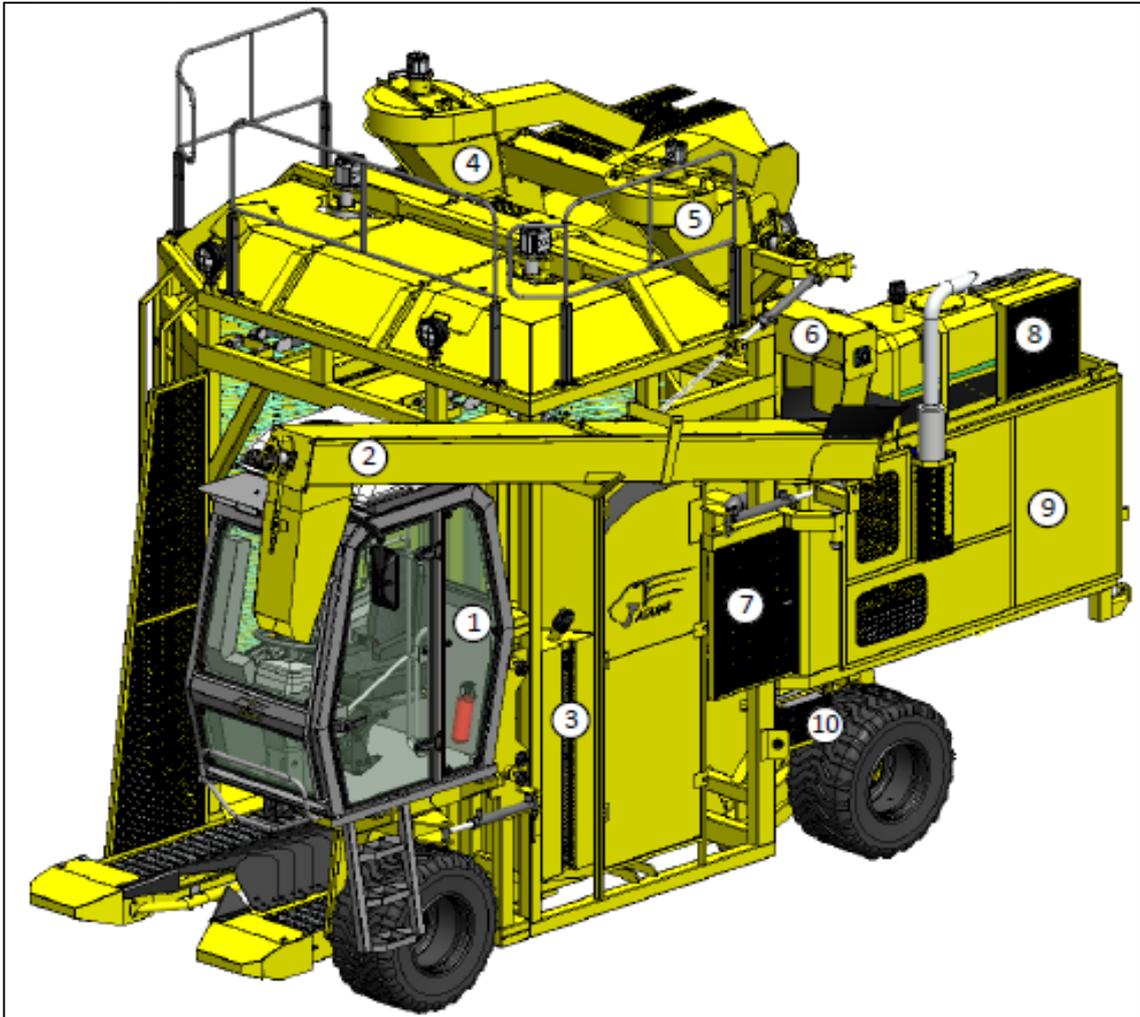
Levando-se em consideração que a colheitadeira utilizada para os testes e análises em campo, foi à colhedora de modelo automotriz, os tópicos a seguir identificam os principais componentes que a mesma possui em diferentes vistas.

4.2.1 Visão Geral da Colhedora Automotriz

Na figura 03, pode-se observar a colhedora automotriz numa visão ampla, onde são identificados os principais componentes da mesma. Como pontos principais deste modelo de colhedora, podem-se destacar o motor a diesel, que tem a função de movimentar o

equipamento, dispensando a necessidade da utilização de um trator para a locomoção da mesma.

Figura 3 - Componentes de uma colhedora automotriz.



Fonte: O autor (2019). Legenda: 1) Cabine; 2) Descarga Lateral; 3) Tanque de Combustível; 4) Ventilador de sucção direito; 5) Ventilador de sucção esquerdo; 6) Descarga Transversal; 7) Filtro de ar do motor diesel; 8) Filtro do trocador de calor; 9) Motor diesel; 10) Bateria.

4.2.2 Vista Frontal da Colhedora Automotriz

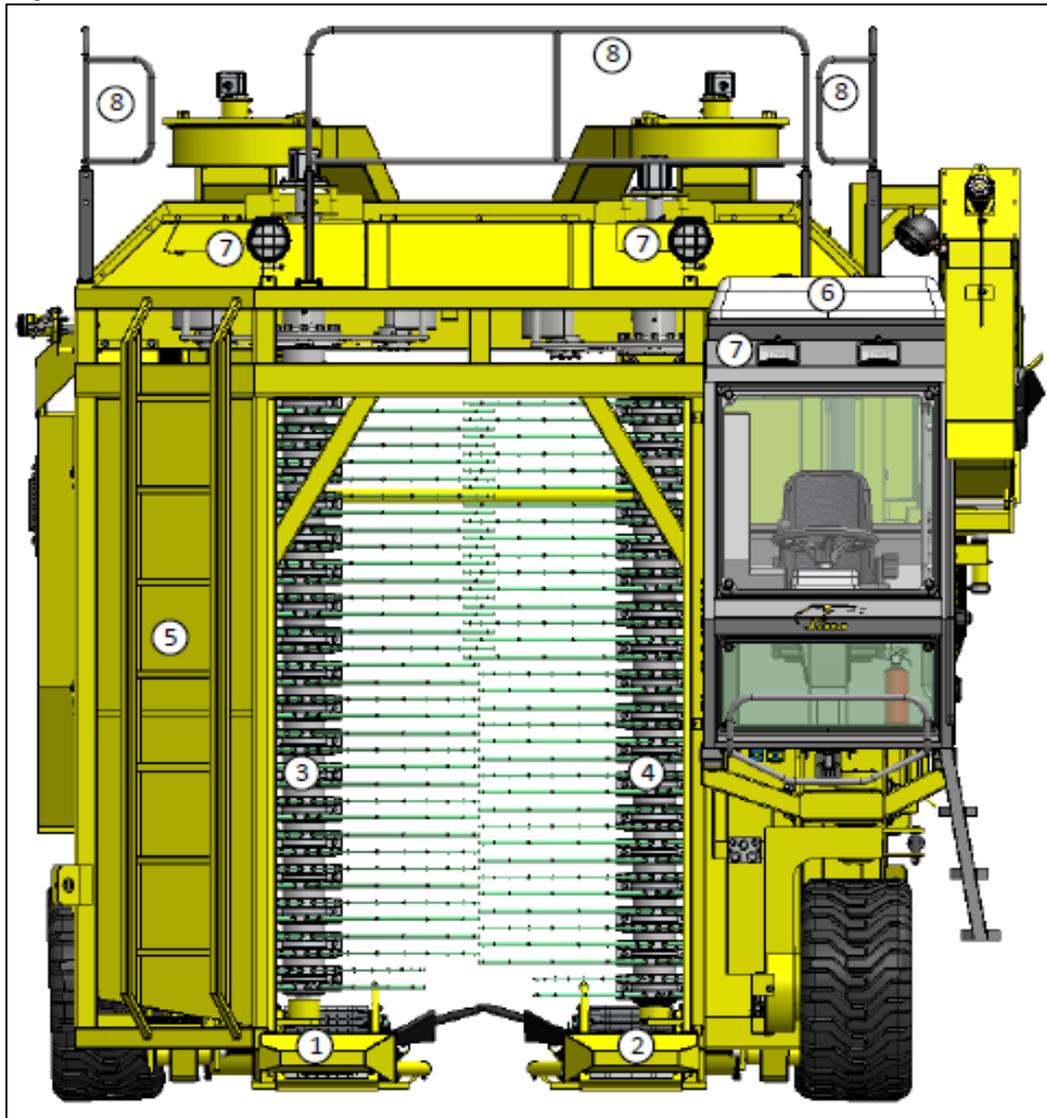
Na vista frontal, podem-se observar alguns componentes importantes como, por exemplo, os recolhedores esquerdos e direito, os recolhedores tem a função de recolher o fruto cafeeiro proveniente da vibração das varetas que se encontram nas árvores. Esse componente é composto por esteiras com taliscas que ajudam na separação da sujeira dos grãos de café (JAGUAR, 2019).

Outro componente de extrema importância para colhedora são as árvores que contém as varetas, as mesmas têm como função derrubar o fruto do cafeeiro do pé de café através do

princípio da vibração mecânica. As árvores são compostas por varetas fixadas em suportes, na qual esses suportes são fixados na árvore posicionando o rasgo da chaveta dos suportes, com as chavetas das arvores. Cada árvore possui na parte inferior, mancal e base deslizante. Essa base deslizante tem a função de regular a inclinação da árvore de acordo com o perfil do cafeeiro. A regulagem é feita através de tirante e porca, que podem ser manuseados pelo lado externa de cada lado da máquina (JAGUAR, 2019).

As varetas das árvores têm a função de derrubar os grãos de café e estão diretamente em contato com o cafeeiro. Sendo assim, ocorre o desgaste ou até mesmo quebra das varetas, se necessário à substituição para obter uma melhor derricha. A substituição é feita através do dispositivo saca varetas, localizado na parte traseira da máquina (JAGUAR, 2019).

Figura 4 - Visão frontal da Colhedora Automotriz.

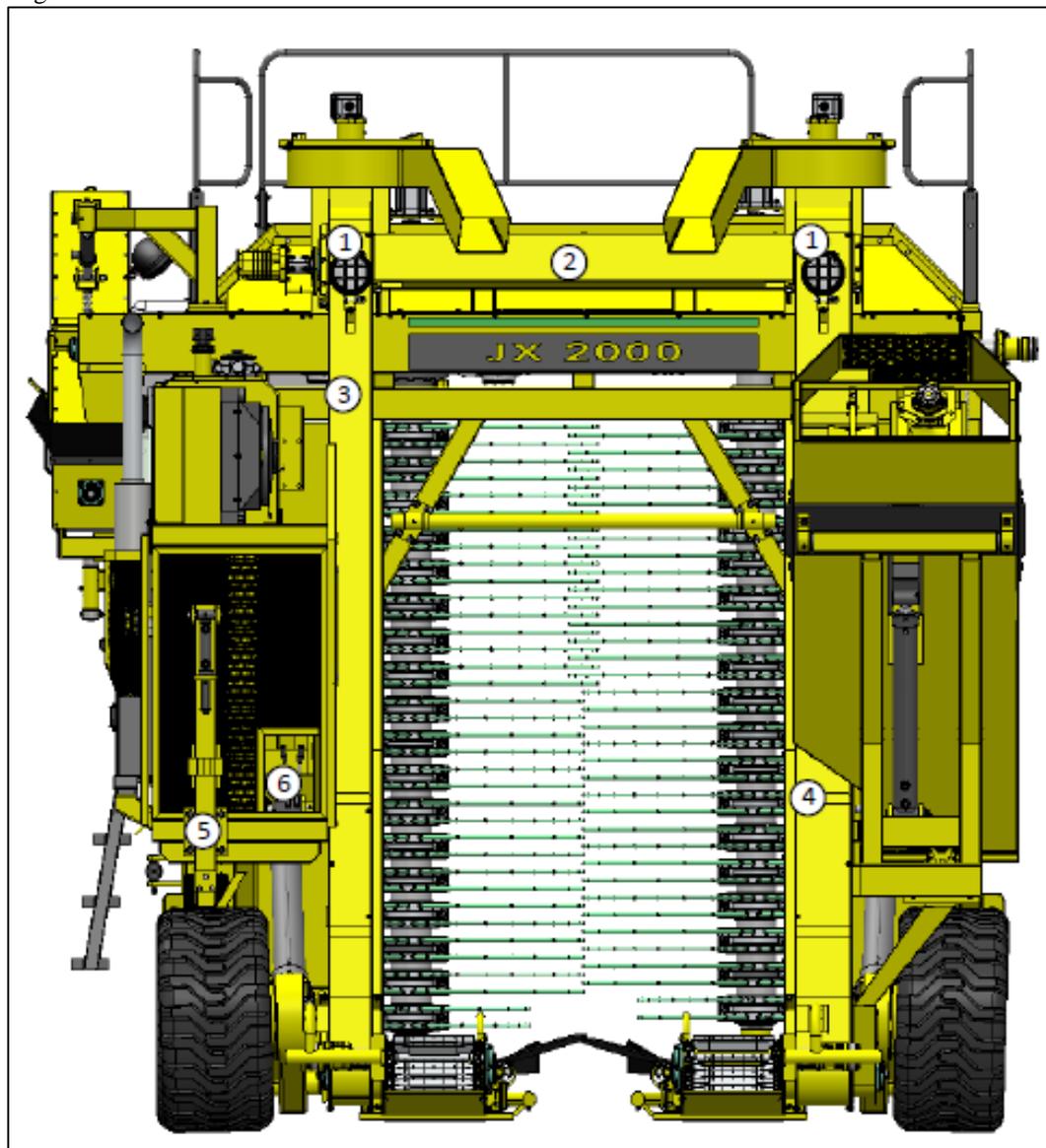


Fonte: O autor (2019). Legenda: 1) Recolhedor direito; 2) Recolhedor esquerdo; 3) Árvore direita
4) Árvore esquerda; 5) Escada; 6) Ar condicionado; 7) Faróis; 8) Corrimãos;

4.2.3 Vista Posterior da Colhedora Automotriz

Nesta vista podem-se identificar como componentes principais os elevadores direito e esquerdo, que tem a função transportar os grãos dos recolhedores até a descarga transversal através de taliscas fixadas em correntes. E também o saca varetas que é um dispositivo que permite ao operador, realizar a manutenção das varetas fixadas nas árvores através de seus suportes. Sua função é sacar e prensar as varetas nos suportes através de seus pinos intercambiáveis (JAGUAR, 2019).

Figura 5 - Vista Posterior da Colhedora Automotriz.



Fonte: O autor (2019). Legenda: 1) Faróis; 2) Cardan dos elevadores; 3) Elevador esquerdo; 4) Elevador direito; 5) Saca Varetas; 6) Alavancas comando do saca varetas e reservatório;

4.2.4 Vista Lateral Esquerda da Colhedora Automotriz

Nesta vista podem-se identificar como componentes principais da colhedora, o reservatório, este componente possui uma capacidade de 2000 litros, onde seu descarregamento pode ser basculante ou pela terceira descarga que é uma função que fica situada no seu inferior descarregando o fluxo no elevador e direcionando para descarga lateral onde permite que o reservatório se descarregue com a máquina em trabalho (JAGUAR, 2019).

Outro componente de extrema importância é o conjunto de suspensões, eles têm a função nivelar o equipamento em terrenos que possuam um declive muito acentuado. A máquina utilizada nos testes em campo é provida de três suspensões independentes para o melhor ajuste com segurança em terrenos de até 30% de declividade (JAGUAR, 2019).

Figura 6 - Vista lateral esquerda da colhedora automotriz.

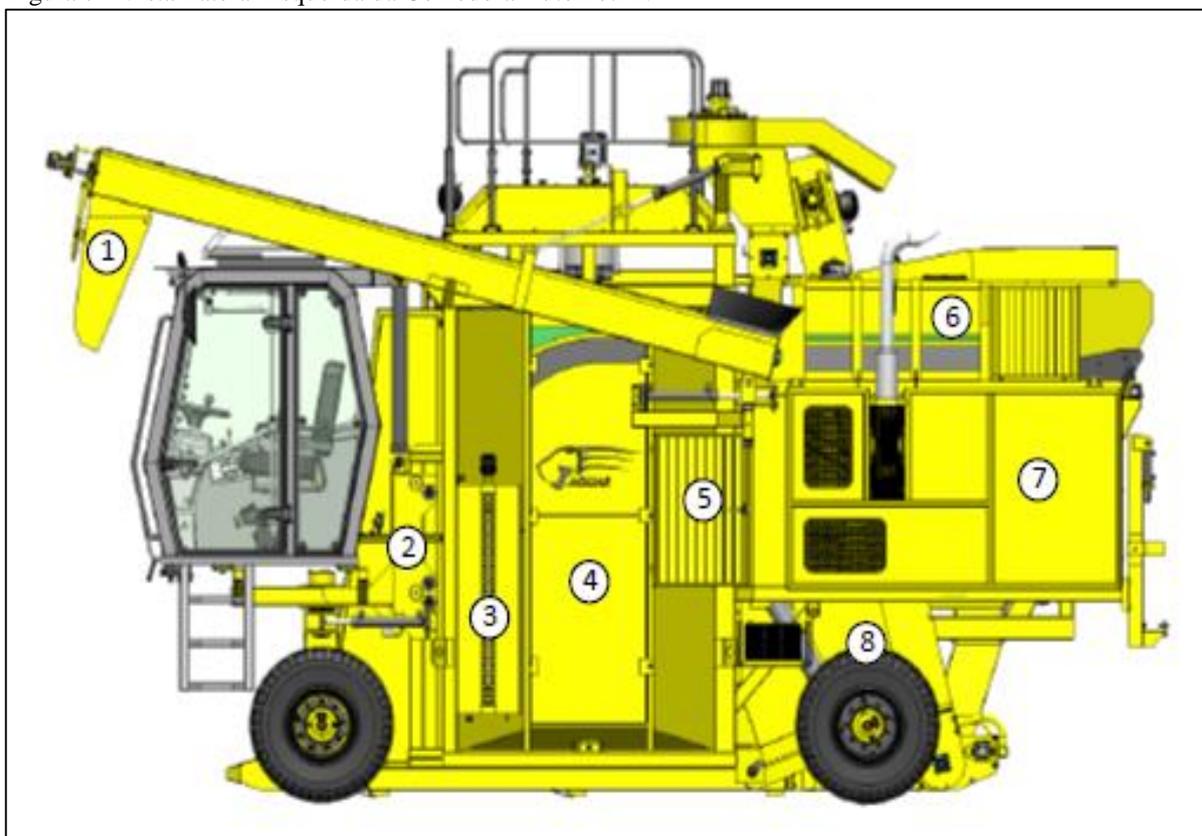


Fonte: O autor (2019). Legenda: 1) Reservatório; 2) Descarga do reservatório; 3) Suspensão traseira direita; 4) Porta lateral direita; 5) Escada; 6) Farol.

4.2.5 Vista Lateral Esquerda da Colhedora Automotriz

Neste tópico podem-se destacar o tanque hidráulico que tem a função de armazenar o óleo hidráulico que passa pela bomba hidráulica, e também o motor diesel que é responsável pelo funcionamento do equipamento, bem como a sua locomoção pelo trajeto a ser percorrido, descartando a necessidade da utilização de um trator, como no modelo da colhedora de arrasto. Para o funcionamento do motor, a colhedora utiliza um motor MWM 229-4 com potência de 67cv a diesel, associado longitudinal com o radiador paralelo a sua face com fácil manutenção (JAGUAR, 2019).

Figura 7 - Vista Lateral Esquerda da Colhedora Automotriz.



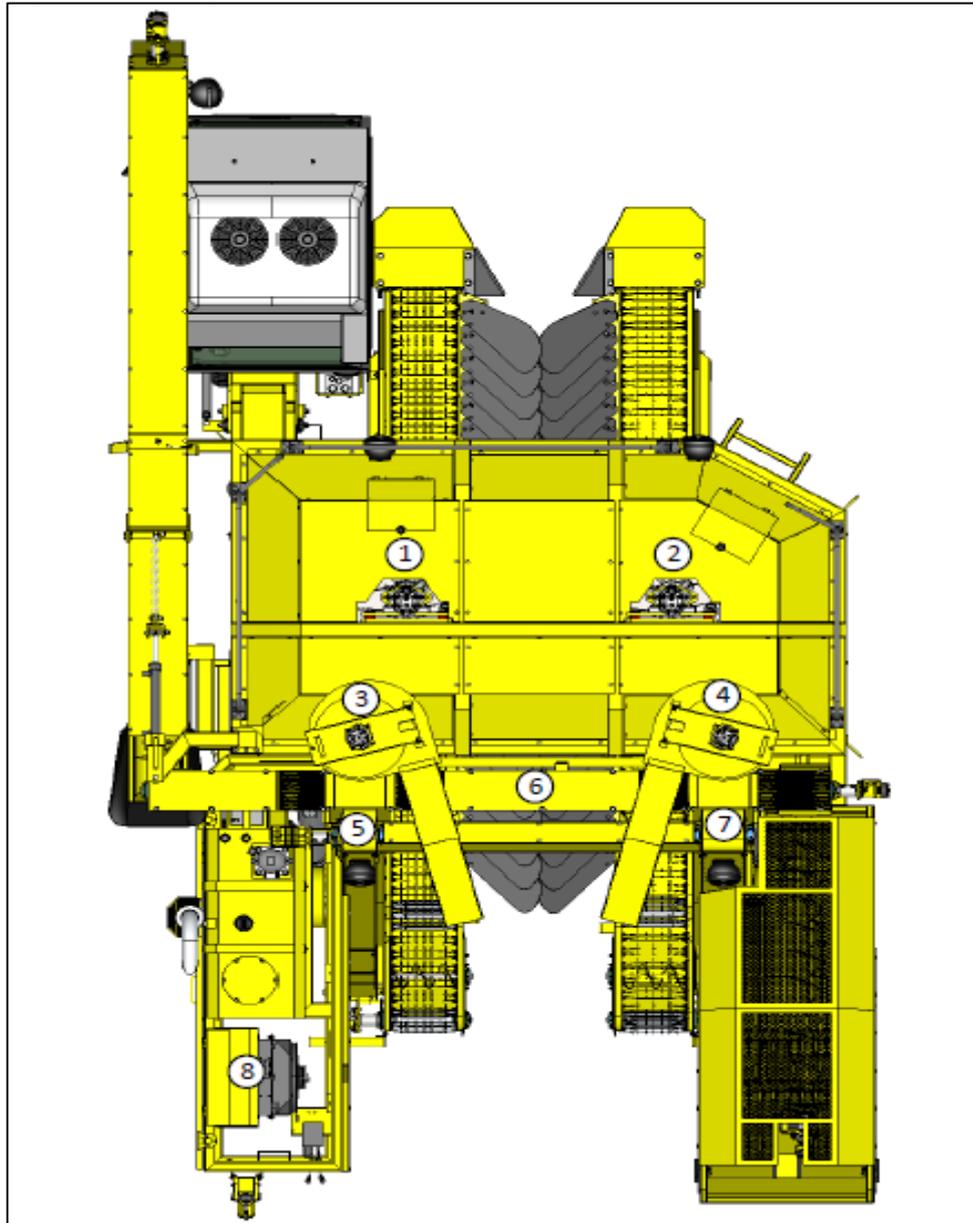
Fonte: O autor (2019). Legenda: 1) Bico da descarga lateral; 2) Suspensão dianteira; 3) Tanque de combustível; 4) Porta da lateral esquerda; 5) Filtro de ar motor diesel; 6) Tanque hidráulico; 7) Motor Diesel; 8) Suspensão traseira esquerda.

4.2.6 Vista Superior da Colhedora Automotriz

Nesta última vista podem-se destacar como componentes principais os vibradores direito e esquerdo, eles tem a função de vibrar as varetas acopladas na árvore a fim de derrubar o fruto cafeeiro da planta. Esse componente tem a função de vibrar as varetas fixadas na árvore, composta por eixos, mancais, rolamentos, entre outras peças. É um conjunto de

extrema importância na derrixa do café, pois através desse processo que o fruto cafeeiro é colhido. Na figura 08 pode-se observar esse componente, que possui uma função extremamente importante para a colhedora de café (JAGUAR, 2019).

Figura 8 - Vista Superior da Colhedora Automotriz.



Fonte: O autor (2019). Legenda: 1) Vibração esquerda; 2) Vibração direita; 3) Ventilador de sucção esquerdo; 4) Ventilador de sucção direito; 5) Elevador esquerdo; 6) Descarga transversal; 7) Elevador direito; 8) Trocador de calor do óleo hidráulico.

Sua velocidade deve ser 700 a 1000 rpm. Ao trabalhar com o rpm acima de 1000, o conjunto sofre desgaste em um menor tempo, podendo trazer danos ao equipamento e custos elevados na sua manutenção.

5 VIBRAÇÃO NA COLHEITA DE CAFÉ

A vibração mecânica é um dos princípios mais utilizados em máquinas para colheita mecânica de frutos. Equipamentos que utilizam esse princípio fazem a remoção dos frutos, por meio da associação adequada entre frequência e amplitude de vibração. Dentre os equipamentos empregados na colheita de café por vibração, destacam-se as colhedoras automotrizes ou tracionadas por trator e as derrçadoras portáteis. Essas máquinas empregam hastes vibratórias na transferência de energia para os sistemas frutopedúnculo. (FERREIRA JUNIOR, 2014).

A colheita mecanizada dos frutos de café tem sido acompanhada e realizada de forma eficiente, por meio de vibrações mecânicas. Tal princípio se baseia na transferência de energia vibracional para o sistema frutopedúnculo, a qual promove o desprendimento dos frutos do cafeeiro. As colhedoras de café, que utilizam o princípio de vibrações mecânicas, apresentam desempenho operacional superior ao obtido pela colheita manual de café. Esses modelos de máquinas que utilizam vibrações mecânicas como princípio de funcionamento, podem ser empregados na colheita seletiva de frutos e, desta forma, o conhecimento do comportamento dinâmico sobre esses sistemas é fundamental para o sucesso de tal procedimento. Dentre as principais características dinâmicas se destacam as frequências e amplitudes de vibrações forçadas mais adequadas ao processo de derriça dos frutos (DE SOUZA, 2004; BARBOSA, 2005).

De acordo com Ortiz-Cañavate (1996) a vibração e/ou, o impacto têm-se revelados métodos eficientes de colheita de diversos produtos agrícolas, tais como, azeitona, citros e nozes. De acordo com Sá (2018) a derriça dos frutos pela máquina é realizada pelo mecanismo de vibrações mecânicas das hastes, ou varetas, sustentadas por dois cilindros laterais que envolvem as plantas.

A colheita mecanizada do café está se difundindo rapidamente nas várias regiões produtoras, principalmente naquelas em que as lavouras são novas, planejadas e plantadas em espaçamento que permita o tráfego de máquinas e em topografia favorável para a realização da colheita mecanizada. A Colhedora de café pode-se adaptar em diferentes tipos de topografia, tendo uma melhor produtividade em locais planos, onde a lavoura foi planejada para receber esse tipo de trabalho (FERREIRA JUNIOR, 2014).

As colhedoras que realizam a colheita mecanizada de produtos como os frutos dos cafeeiros, por meio de vibração mecânica vêm sendo estudada por diversos pesquisadores com o passar dos tempos. Um dos fatores estudados e de extrema importância no

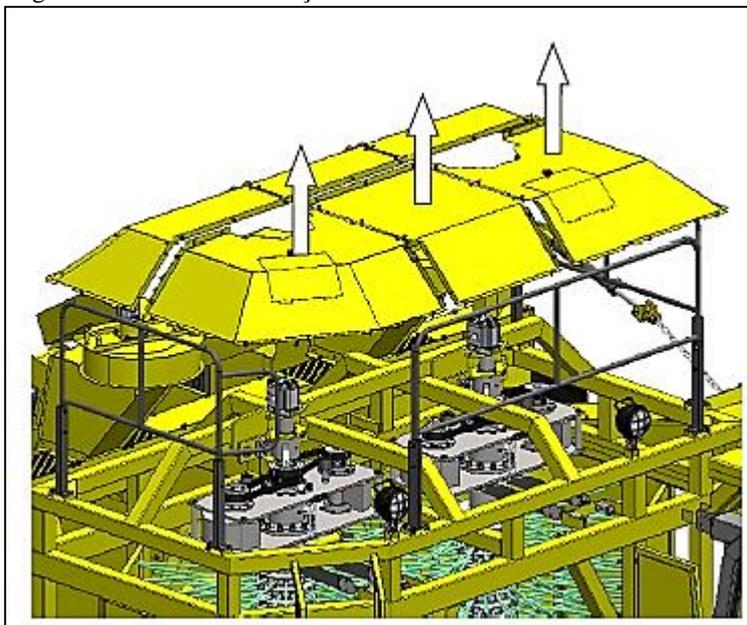
desenvolvimento de máquinas de colheita por vibração é a determinação das frequências naturais do pedúnculo do fruto do cafeeiro. A utilização de frequências de vibração iguais às frequências naturais possibilita o desprendimento dos frutos (SAMPAIO, 2000).

Se tratando de vibrações, existem alguns conceitos que devem ser analisados, tendo em vista que, os mesmos são de extrema importância para o processo de análise das hastes de uma colhedora de café.

5.1 Vibrações nas varetas da colhedora de café

As varetas da colhedora de café tem como princípio de funcionamento, a vibração mecânica, as mesmas tem a função de derrubar o fruto cafeeiro e se encontram fixadas na árvore. Essa árvore é composta por eixos, mancais, rolamentos, entre outras peças. É um conjunto de extrema importância na derrida do café. Sua velocidade deve ser 700 a 1000 rpm. Ao trabalhar com o rpm acima de 1000, o conjunto sofre desgaste em um menor tempo, podendo trazer danos ao equipamento (JAGUAR, 2019).

Figura 9 - Sistema de vibração das varetas de uma colhedora de café.



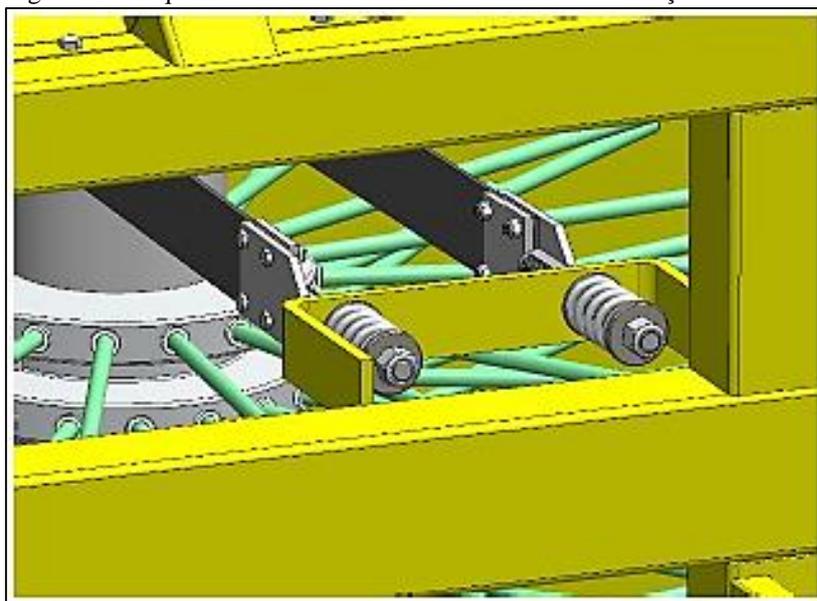
Fonte: Jaguar (2019).

Como visto na figura 09, o sistema vibracional da máquina conduz todo o processo de vibração da árvore, a mesma contém as varetas que possuem a função de derrubar o fruto do cafeeiro. Um componente de extrema importância para controlar essa vibração, são os freios de vibração, seu funcionamento pode ser visto a seguir.

5.1.1 Freio das Vibrações

Os freios de vibração são compostos por tirantes e cintas que permitem a regulação das vibrações, fazendo um ajuste da árvore de acordo com a derriça dos grãos. Sua regulação deve ser feita com a máquina desligada, soltando ou apertando as porcas de ajuste. Essa regulação está relacionada com a velocidade da máquina e com a rotação dos motores das vibrações (JAGUAR, 2019).

Figura 10 - Esquema de funcionamento de um Freio de Vibração.



Fonte: Jaguar (2019).

5.1.2 Transmissibilidade

Em sistemas dinâmicos, o desbalanceamento gera uma força aplicada harmonicamente que é indesejada. O efeito dessa força normalmente é transmitido para outras partes da estrutura, até mesmo amplificando o seu valor, o que leva ao aumento do deslocamento dos componentes envolvidos, caracterizando o fenômeno chamado transmissibilidade. A razão entre as amplitudes de resposta, medidas na estrutura que recebe a transmissão da força de excitação e medidas na estrutura que transmite a força é chamada de transmissibilidade (MILANI, 2018). Ferreira Junior (2014) complementa que quanto maior o deslocamento vertical das hastes, maior será a “varredura” das hastes na planta, aumentando as chances de contato entre as hastes e os frutos e de maior transmissibilidade de vibração das hastes para os ramos.

5.1.3 Frequência Natural

De acordo com Milani (2018) a frequência natural de um sistema é a frequência na qual um sistema vibra em resposta a um distúrbio, livre de forças externas.

Ferreira Junior (2014) acrescenta dizendo que com base nos modos de vibração, que representam as configurações geométricas de deslocamento do sistema quando excitado em uma determinada frequência natural, pode-se escolher a frequência de excitação, a qual possibilitará uma maior eficiência de derriça.

5.1.4 Teste de Impacto

Testes de impacto objetivam gerar uma excitação no sistema similar a uma ampla faixa frequência de forma a obter respostas naturais do sistema (ruído branco). Este método experimental muito interessante é o teste de impacto (**Bump Test**), que consiste na aplicação de uma força externa, exercida por um martelo específico que excita a frequência natural da peça (MELLO, 2014).

6 METODOLOGIA

Nesse capítulo, serão informados quais métodos foram utilizados para a realização das pesquisas e testes em campo, bem como o desenvolvimento do trabalho.

6.1 Técnicas de Pesquisa

No referencial teórico, foi utilizada como método a pesquisa bibliográfica, contida em materiais já elaborados por outros autores sobre o assunto, como por exemplo, teses de doutorado, dissertações de mestrado, artigos científicos dentre outros.

No decorrer deste trabalho, serão apresentadas informações sobre a colhedora de café, bem como o seu funcionamento e seus componentes e também os modelos que existem no mercado.

O objetivo principal deste trabalho será apresentar uma análise da vibração das varetas de derriça de uma colhedora de café, a fim de conhecer o comportamento dinâmico em termos de amplitude e frequência de vibração e os efeitos sobre a colheita, visando produtividade. Com o aumento da demanda de colhedoras de café para mecanização de colheita, surgiu o interesse por esse estudo mediante a dúvidas devido ao acompanhamento do equipamento em trabalho, com intuito de aprimorar conhecimento, e a fim de utilizar a análise como documentação da empresa Jaguar Máquinas e demais empresas de colhedoras do ramo.

6.2 Coleta dos dados vibracionais

Conforme proposto, foram realizadas coletas de dados vibracionais em campo, a fim de se verificar o comportamento da amplitude e frequência natural do conjunto de vibração da colhedora em diferentes frequências de operação. Mediante aos testes realizados, foram definidos valores de referência que serão utilizados na colheita do cafeeiro.

Os ensaios foram realizados no Sítio Limoeiro, localizado no bairro da Vargem em Varginha, Minas Gerais, Brasil. Utilizou-se para a coleta de dados uma colhedora de café automotriz, modelo JX 2000, fabricada pela empresa Jaguar Máquinas no ano de 2009. O intuito da colheita de café por vibração é desprender o fruto da planta, rompendo o pedúnculo por ressonância ou pelo impacto direto das varetas vibratórias. Essas varetas entremeiam as plantas do cafeeiro, realizando a derriça dos frutos. Esse modelo de colhedora possui 648

varetas de fibra de vidro por árvore, com dimensões de 560 milímetros e diâmetro de 12,7 milímetros.

Na coleta de dados foram utilizados o aparelho coletor e analisador de vibrações o Vibexpert 2, da Pruftechnik, com dois canais, acompanhando do sensor acelerômetro com base magnética e o sensor de fase a laser para leitura de rotação, no quais os equipamento fazem as leituras de frequências naturais, medições dos níveis de vibrações que definem amplitudes em diferentes frequências.

6.2.1 Frequência natural da árvore

Com o acelerômetro de base magnética conectado ao Vibexpert 2, fixou-se o mesmo no cartucho de fixação da vareta localizado na árvore da vibração. Em seguida, com o auxílio de um martelo exercendo uma batida na face da vareta obteve-se uma vibração que gerou frequência captada pelo aparelho. A figura 11 a seguir mostra como o teste foi realizado.

Figura 11 - Coleta da Frequência Natural na árvore da colhedora.



Fonte: O autor (2019).

6.2.2 Frequência natural nas varetas

Com o auxílio de um acelerômetro de base magnética conectado ao Vibexpert 2, fixamos o mesmo no cartucho de fixação da vareta localizado na árvore da vibração. Com o acelerômetro no suporte da árvore e exercendo uma pressão horizontal puxando e soltando a vareta para simular o efeito da derriça, captou-se a frequência natural da vareta. Este procedimento pode ser analisado na figura 12.

Figura 12 - Coleta da Frequência natural nas varetas da colhedora.



Fonte: O autor (2019).

6.2.3 Medidas de variação de amplitude de vibração com alteração da frequência de operação

As medidas de variação de amplitude de vibração foram determinadas de acordo com a frequência de operação desejada. Portanto obteve-se os resultados utilizando o acelerômetro de base magnética fixado na vibração da máquina, e o sensor de fase a laser fixado na estrutura da máquina com a função de monitorar a rotação no eixo central da vibração, ambos os sensores conectados ao Vibexpert 2.

A figura 13 demonstra como foi feito o procedimento da coleta da amplitude de vibração com alteração da frequência de operação.

Figura 13 - Coleta das medidas de vibração.



Fonte: O autor (2019).

Com os sensores posicionados a vibração foi ligada em determinadas rotações (frequência de operação), assim obtendo os dados vibracionais do equipamento. Com a irregularidade do solo e demais vibrações causadas pelo movimento da máquina, a mesma permaneceu apoiada nas 3 rodas, com sua estrutura a 150 mm do nível do solo.

6.3 Testes em campo

Com a coleta dos dados vibracionais definiu-se os parâmetros a serem utilizados na colhedora. Os testes foram realizados numa lavoura de café Arábica Icatu, com idade de 19 anos, com 1010 metros de altitude e produção de 8 litros por pé.

Para a realização dos tratamentos na colheita foram utilizados:

- a) Duas frequências de rotação na vibração, sendo 800 e 950 rotações por minuto (RPM), correspondendo a 13,33 e 15,83 Hz.
- b) Três cargas controladas pelo freio na árvore, sendo 8, 10 e 12 Kg.
- c) Duas velocidades de deslocamento da colhedora, sendo 500 e 1000 m/h, correspondendo a 0,5 e 1,0 Km/h.

Para o presente trabalho, utilizou-se o delineamento inteiramente atualizado por parcelas subdivididas, com três repetições, obtendo um fatorial $2 \times 3 \times 2 \times 3$, sendo: frequências de rotação na vibração, freios das árvores, velocidade de trabalho do equipamento e repetições,

respectivamente, totalizando em 36 parcelas e 12 tratamentos. Cada tratamento contém 10 metros, que corresponde a 10 pés do cafeeiro, portanto, os testes foram realizados em três ruas por sorteio, para obter uma média devido à carga do cafeeiro que não é uniforme.

Utilizando-se a colhedora com a ventilação desligada e regulada com os dados de cada tratamento, a mesma realizou a colheita do fruto com todas as impurezas. Separando as impurezas, para o experimento utilizou-se o fruto e as folhas, na qual o fruto foi medido com um copo dosador de 1000ml, e as folhas pesadas em gramas com uma balança de mão digital, com a obtenção do resultado de fruto colhido e a desfolha do cafeeiro. A figura 14 exemplifica alguns dos processos descritos acima.

Figura 14 - Processos dos testes em campo.



Fonte: O autor (2019).

Os dados que foram coletados nos ensaios foram armazenados no computador em planilhas eletrônicas para a utilização dos dados na elaboração deste trabalho.

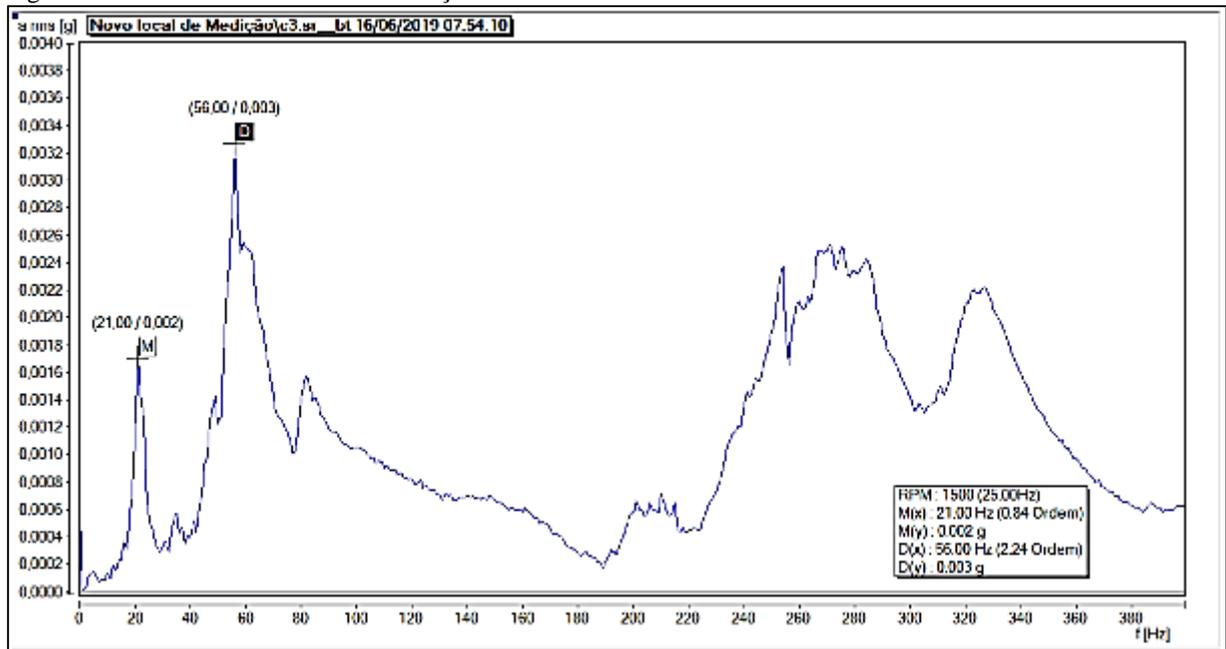
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão apresentados os resultados dos testes realizados em campo, mediante as coletas de dados vibracionais. Além disso, serão apresentados resultados dos experimentos que foram realizados na colhedora de café, tais como frequência de operação na colheita dos frutos e desfolha do cafeeiro, em relação à velocidade de trabalho do equipamento e regulação dos freios da árvore. Além do mais, serão apresentados alguns resultados mediante aos assuntos abordados no decorrer deste trabalho sobre a análise do conjunto de vibração de uma colhedora de café.

7.1 Dados vibracionais coletados na frequência natural da árvore

Os dados foram coletados de acordo com a posição da árvore. A figura 15 corresponde aos dados coletados a 0° em relação à correia do freio.

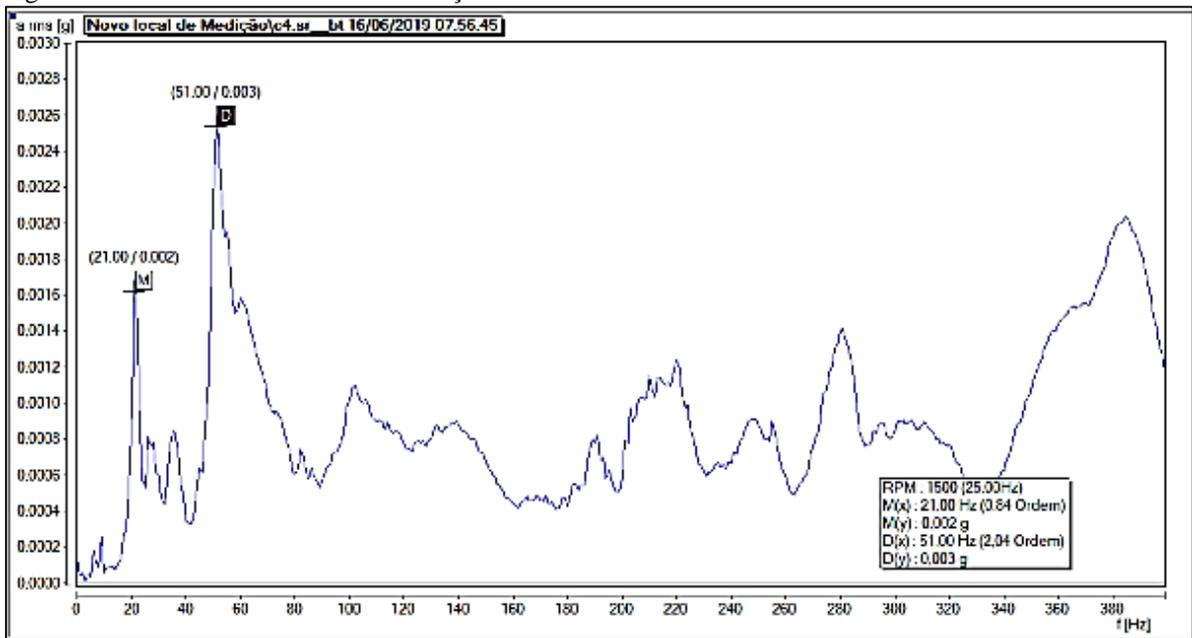
Figura 15 - Dados coletados a 0° em relação a correia do freio.



Fonte: O autor (2019).

De acordo com a figura 15 as frequências naturais ficaram na faixa de 21 Hz e 56 Hz, ou 1260 RPM e 3360 RPM, esses foram os pontos de destaque na figura acima. Continuando as análises, a figura 16 contempla os dados coletados a 90° em relação a correia do freio.

Figura 16 - Dados coletados a 90° em relação a correia do freio.



Fonte: O autor (2019).

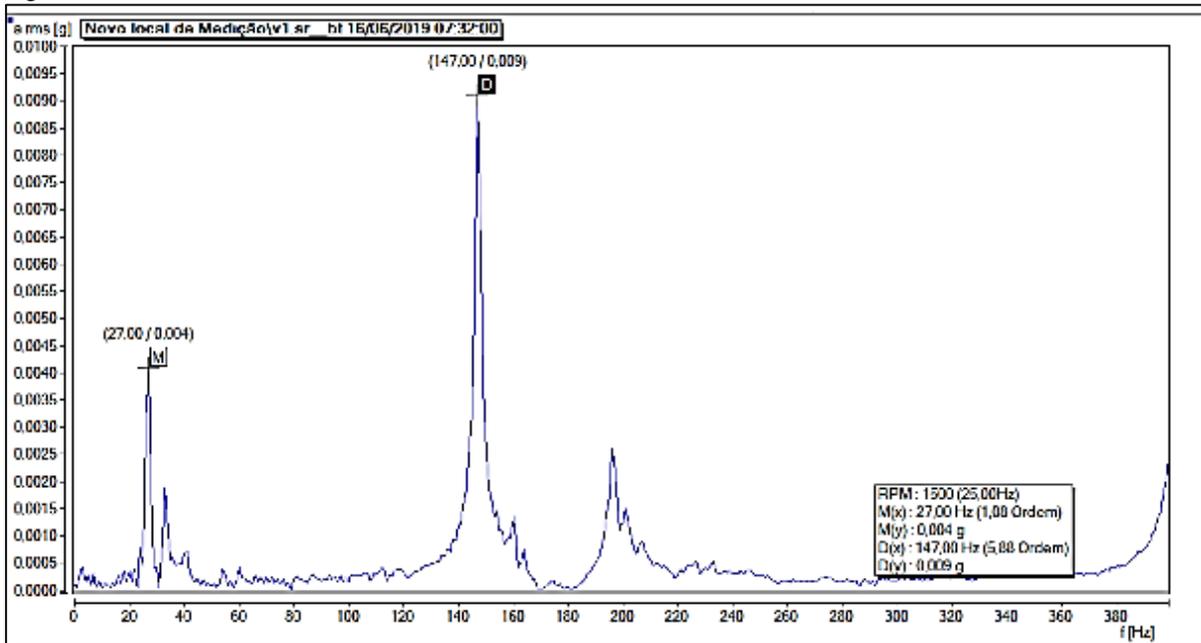
Como pode ser visto nas acima, no ponto D da figura 15, a frequência natural da árvore é maior na posição em 0° em relação à correia do freio exemplificada na figura 16. Portanto, nessas condições podem trazer benefícios ao equipamento, como por exemplo, um aumento na derriça do fruto.

Outro ponto de análise em relação a figura 16, são que as primeiras frequências naturais ficaram na faixa de 21 Hz e 51 Hz, ou 1260 RPM e 3.060 RPM, esses dados são os principais pontos a serem analisados.

7.2 Dados vibracionais coletados na frequência natural da vareta

Os dados da figura 17 foram coletados de uma vareta danificada, a mesma se encontra fixada a árvore.

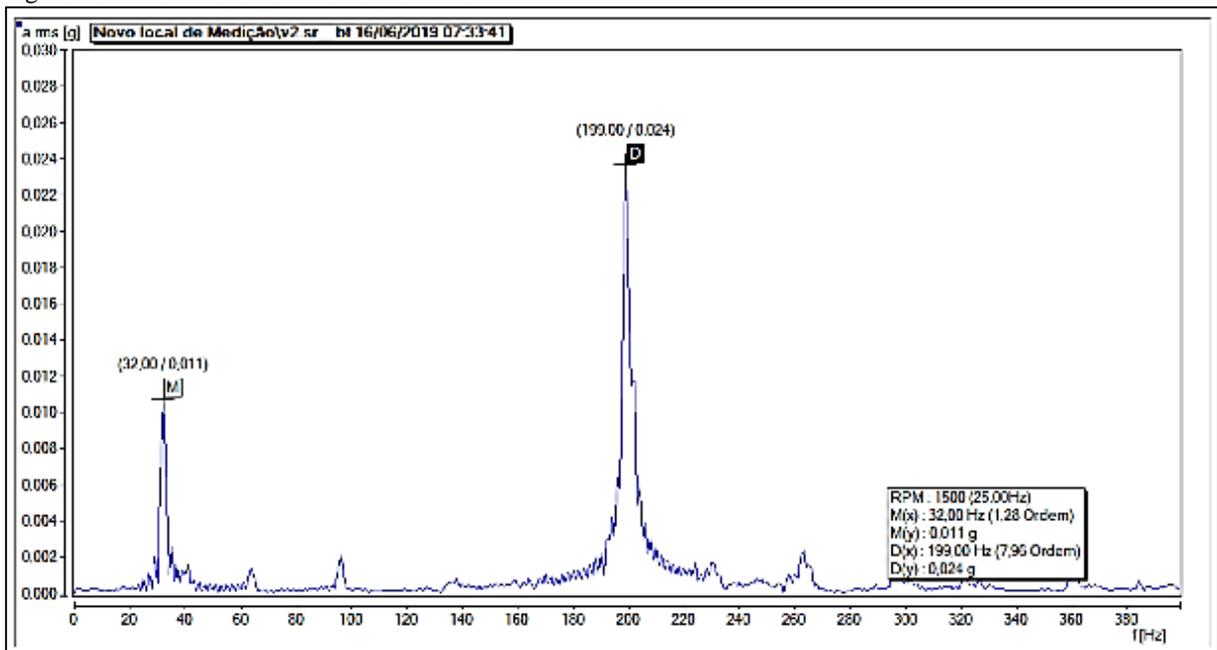
Figura 17 - Dados coletados da vareta danificada.



Fonte: O autor (2019).

Pode-se perceber que os picos no gráfico são resultantes das ações provocadas mediante ao toque na vareta para obter os resultados de vibração, onde o ponto M é a vareta e o ponto D é o conjunto de fixação da vareta na árvore do equipamento. Dando continuidade, a figura 18 apresenta os dados coletados de uma vareta nova.

Figura 18 - Dados coletados da vareta nova.



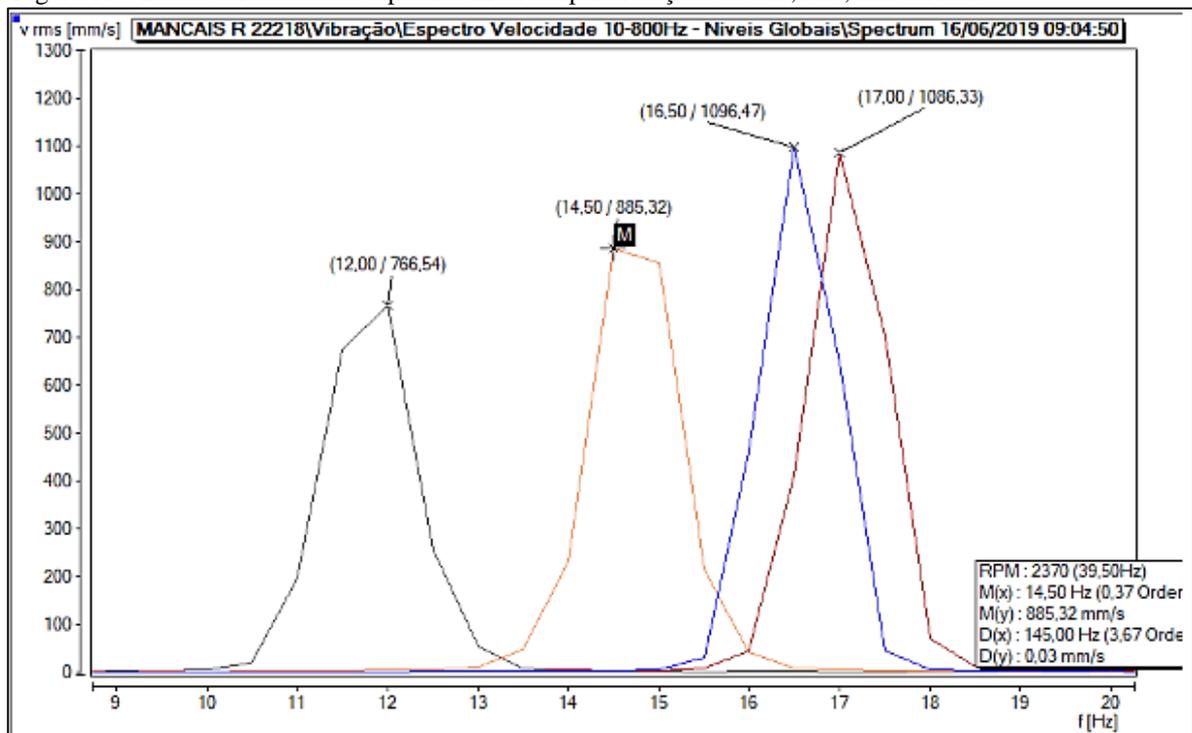
Fonte: O autor (2019).

Como pode ser observado nas figuras 17 e 18, no ponto M, que é a frequência natural da vareta, onde ocorreu o aumento de 27 Hz para 32 Hz de acordo com a condição da vareta. Conclui-se que, quanto melhor estiver a condição da vareta, melhor será a derriça, por conta do momento de inércia e a frequência natural. Outro ponto importante é que as frequências naturais das varetas são relativamente afastadas das frequências de vibração testadas, inclusive da frequência de rotação máxima da máquina.

7.3 Dados vibracionais coletados da amplitude de vibração com alteração da frequência de operação

Os dados foram coletados mediante 4 frequências de operação ou rotações por minuto (RPM) distintas, a fim de se verificar os espectros de vibração, bem como a frequência natural (Hz) e a amplitude (mm/s) da caixa de vibração da colhedora. A figura 19 apresenta os dados coletados no tacômetro localizado na cabine do equipamento, sendo as rotações de 800, 900, 950 e 1000 RPM, ou frequências de operações de 13.3, 15, 15.8 e 16.6 Hz. No qual as rotações reais na caixa de vibração são de 720, 870, 990 e 1020 RPM, ou frequências de operações de 12, 14.5, 16.50 e 17 Hz.

Figura 19 - Dados coletados dos espectros medidos para rotações de 800, 900, 950 e 1000.



Fonte: O autor (2019).

De acordo com a figura 19 conclui-se que, com o aumento da frequência de operação, a amplitude consequentemente aumentará, resultando num aumento na derriça do cafeeiro.

7.4 Dados coletados nos ensaio em campo

Para a realização dos testes, foram considerados alguns fatores para a coleta dos dados. Como por exemplo, a rotação das vibrações, velocidade da colhedora e a regulagem dos freios das árvores. Essa tabela tem como intuito exemplificar a quantidade de fruto colhido e a desfolha do cafeeiro. Os dados coletados podem ser compreendidos e analisados na Tabela 01.

Tabela 01 – Dados coletados nos testes em colheita.

DADOS COLETADOS NOS TESTES EM COLHEITA						
Tratamento	Rpm vibração (rpm)	Regulagem do freio (kg)	Velocidade de trabalho da colhedora (m/h)	Número de pés colhidos	Frutos colhidos (Lts)	Desfolha do cafeeiro (g)
1	800	8	500	10	35	1800
2	950	8	500	10	66	1980
3	800	10	500	10	36	1880
4	950	10	500	10	67	2100
5	800	12	500	10	38	1960
6	950	12	500	10	72	2500
7	800	8	1000	10	30	1370
8	950	8	1000	10	37	1700
9	800	10	1000	10	28	1490
10	950	10	1000	10	39	1785
11	800	12	1000	10	30	1600
12	950	12	1000	10	44	1850

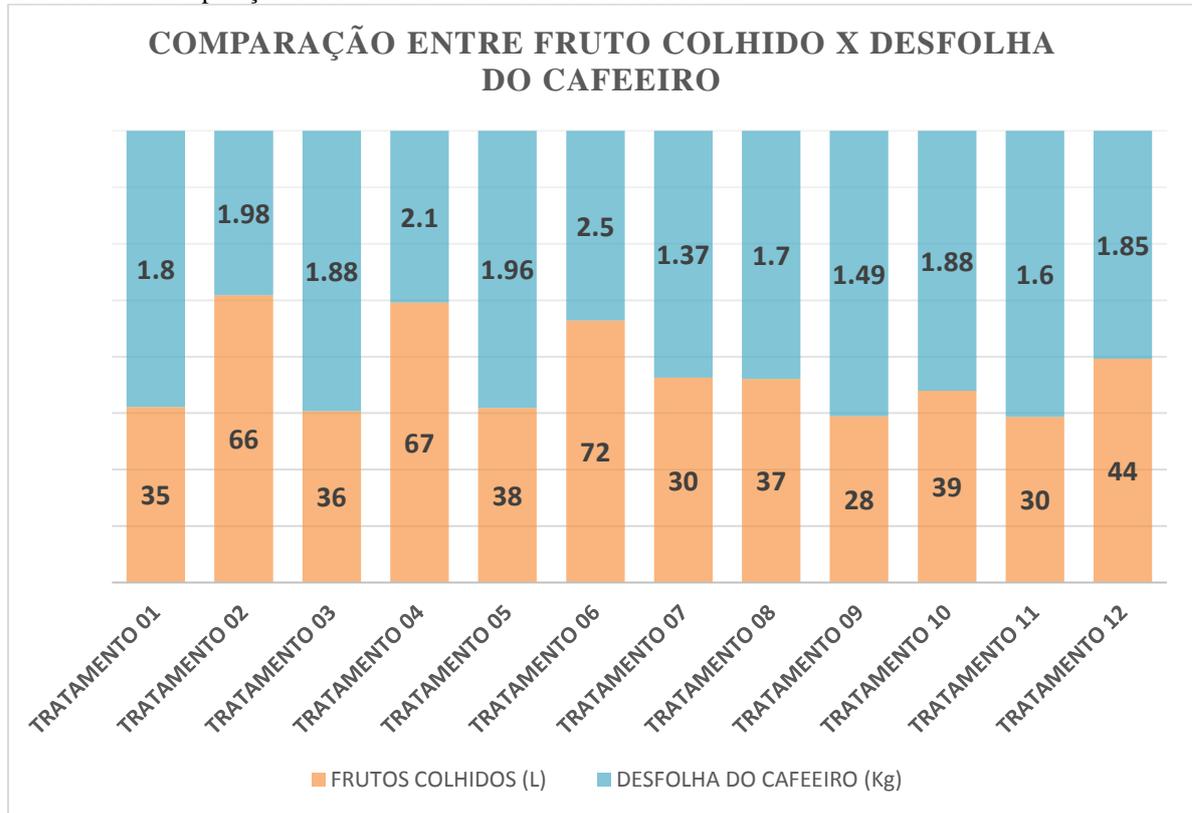
Fonte: O autor (2019).

Como pode ser observado na tabela, cada tratamento possui um resultado distinto em relação a quantidade de frutos colhidos, bem como a desfolha do cafeeiro. Portanto, conclui-se que, quanto maior a rotação, maior peso e menor velocidade da colhedora, a quantidade de frutos colhidos é maior, porém a quantidade de desfolha do cafeeiro é maior.

Outro ponto seria a diferença entre a colheita na velocidade de 500 m/h é muito maior com aumento da rotação, quando comparado com a velocidade de 1000 m/h. Contudo, deve-se avaliar outros fatores como consumo de tempo e combustível, antes de estabelecer o setup ótimo.

Para ajudar na compreensão dos dados da tabela, pode-se observar o Gráfico 01, no qual se demonstra a quantidade de frutos colhidos versus a desfolha do cafeeiro, tendo como base as informações da Tabela 01.

Gráfico 01 – Comparação entre fruto colhido x desfolha do cafeeiro.



Fonte: O autor (2019).

Com base nas informações do gráfico 01, conforme se aumenta a quantidade de fruto colhido, a quantidade de desfolha do cafeeiro aumenta.

8 CONCLUSÃO

Este trabalho possibilitou analisar através de testes realizados em campo e material teórico, a análise do conjunto de vibração de uma colhedora de café. Tal análise se justifica devido ao aumento da demanda de colhedoras de café para mecanização da colheita. O interesse por esse estudo surgiu mediante as dúvidas devido ao acompanhamento do equipamento em trabalho, com intuito de aprimorar conhecimento, bem como realizar melhorias no equipamento.

Os resultados obtidos através dos testes realizados em campo e de acordo com os materiais teóricos provam que de acordo com a regulação aplicada à colhedora, os índices de produtividade se alteram, tanto na colheita do fruto cafeeiro quanto da desfolha do mesmo.

Uma hipótese para continuar os estudos e pesquisas futuramente, seria analisar possíveis alterações no equipamento a fim de minimizar a desfolha com o aumento da derrça do fruto cafeeiro. Outro ponto para continuar os estudos, seria a utilização de varetas menos rígidas nas colhedoras, a fim de proporcionar frequências naturais próximas da frequência de vibração da árvore.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, Jackson; SALVADOR, Nilson; SILVA, Fabio. Desempenho operacional de derrçadoras mecânicas para diferentes condições de lavouras cafeeiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 129-132, 2005.
- CUSTÓDIO, Anselmo Augusto de Paiva. CONTROLE ESTATÍSTICO APLICADO DA COLHEITA MECANIZADA DE CAFEEIROS IRRIGADOS. **Revista de Agricultura**, v. 87, n. 3, p. 172-180, 2012.
- DE OLIVEIRA, Marcus Vinícius Moraes. **Desenvolvimento e avaliação de uma colhedora automotriz de café para regiões montanhosas**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- DE SOUZA, Cristiano Marcio Alves. **Desenvolvimento e modelagem de sistemas de derrça e de abanação de frutos do cafeeiro**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- JAGUAR. Colheitadeira automotriz JX 2000: manual de instruções e catálogos de peças. Varginha, 2019.
- FERREIRA JÚNIOR, Luiz de Gonzaga. **Análise de vibração das hastes de uma colhedora de café**. 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- MANTEUFEL, Marcos Alessandro. **Avaliação de desempenho de duas plataformas de corte para colhedoras de grãos**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade de Horizontina, Horizontina.
- MELLO, Felipe de carvalho. **Métodos de testes de vibração para análise modal na monitoração e diagnóstico de problemas em máquinas em navios e plataformas**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MESQUITA, Carlos Magno et al. Manual do café: colheita e preparo (Coffea arábica L.). Belo Horizonte: EMATER-MG, 2016. 52 p. il.
- MILANI, Augusto Pierdoná. **Implementação de ensaios de transmissibilidade em uma bancada experimental**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- OLIVEIRA, Ezequiel de. **Custos operacionais da colheita mecanizada do cafeeiro**. 2007. Artigo Científico. Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- OLIVEIRA, Ezequiel de; SILVA, Fábio M.; SALAVADOR, Nilson; FIGUEIREDO, Carlos A. P. **Influência da vibração das hastes e da velocidade de deslocamento da colhedora no processo de colheita mecanizada do café**. 2007. Artigo Científico. Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- ORTIZ-CAÑAVATE, Jaima. Cosecha mecanizada de fruta por el metodo de vibraciones forzadas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Habana, v.6, n.1, p.76-84, 1996.

SÁ, Gabriela Cristina de. **Estimativa de perdas na colheita mecanizada de café em diferentes rotações do cilindro derriçador**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo.

SALES, Ronan Souza. **Ajuste do freio dos vibradores na colheita mecanizada do café em lavouras com diferentes manejos**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SAMPAIO, Cristiane Pires. **Determinação da força requerida para o desprendimento de frutos de café em diferentes estádios de maturação**. 2000. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SANTOS, Fábio Lúcio. **Simulação e avaliação do comportamento dinâmico de frutos do cafeeiro na derriça**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, Evandro Pereira da. **Projeto estrutural de uma colhedora de café operando em terrenos declivosos**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SOUZA, Victor Hugo Silva. **Investigação da interação entre a haste de uma colhedora e o ramo de um cafeeiro utilizando simulação numérica**. 2017. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, Lavras.

TAVARES, Tiago de Oliveira. **Recolhimento mecanizado do café em função do manejo do solo e da declividade do terreno**. 2016. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal.