

Displacement Tracking of Harvester Rods of a Coffee Harvester

L. G. Ferreira Júnior, F. M. Silva and D. D. Ferreira

Abstract— There is a certain difficulty by grower to properly regulate the coffee harvester for a specific condition of each harvest. To know the vibratory motion of the harvester rods during harvesting is the first step to find the best machine settings. This study aimed to track the trajectory performed by the rods in terms of amplitude and vibration frequency using instrumentation and signal processing techniques. For this, a low cost system composed of an open-source electronic prototyping platform Arduino and an accelerometer was proposed. With the proposed system, vibration signals were collected and processed via MatLab. The results showed the complete two-dimensional trajectory performed by the rods in different settings. From the achieved trajectories it is possible to better understand the harvesting rods behavior and extract important features like the maximum displacement in both vertical and horizontal motion, which can be very useful to define the best harvesting settings.

Keywords— coffee harvesting, signal processing, vibration.

I. INTRODUÇÃO

A MECANIZAÇÃO da cafeicultura proporcionou o surgimento de novas tecnologias e de diversos modelos de colhedoras, favorecendo a redução de custos durante o processo de colheita e, conseqüentemente, tornando o cafeicultor mais competitivo no mercado agrícola.

A mecanização das operações de cultivo e colheita assume um papel que vem dando fôlego aos cafeicultores em épocas de crise, por meio da redução dos custos operacionais [1], [2].

Segundo [3], a colheita do café é mais difícil de estudar do que das culturas como cereais devido a características tais como a forma da planta, a maturação não uniforme dos frutos e a alta umidade destes. O mesmo autor afirma também que além de ser um arbusto perene, cada planta de café pode ter forma diferente, com diferenças de altura, comprimento e largura.

A colheita 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. Dessa forma, a partir do conhecimento das propriedades modais do sistema fruto-pedúnculo, podem-se empregar níveis de frequência e amplitude adequados para a realização da colheita seletiva ou total dos frutos [4].

Para [5], para o aperfeiçoamento de máquinas destinadas à colheita do café é necessário o conhecimento prévio de detalhes relativos às propriedades mecânicas, geométricas e dinâmicas dos frutos e da planta.

O mesmo autor afirma também que a realização de testes experimentais em laboratório utilizando máquinas apropriadas para analisar o comportamento do sistema fruto-pedúnculo-ramo pode auxiliar o dimensionamento e o projeto de máquinas de colheita.

Segundo [6], o desenvolvimento de tecnologias computacionais na área agrícola não é algo novo, mas um desafio evolutivo diário, pois todos os anos surgem novas tecnologias aplicadas nesta área com o objetivo de obter melhorias no processo de produção agrícola e redução de custos operacionais inerentes ao mesmo processo.

As colhedoras de café existem há mais de quatro décadas, porém, ainda há uma carência de informações sobre sua relação dinâmica com o cafeeiro.

Buscando entender o comportamento mecânico da planta de café através de análise de elementos finitos, [7] simulou a árvore do café em sistema tridimensional e comparou com o comportamento de uma planta real sob carga estática, validando a metodologia para estudos de prevenção de problemas estruturais durante a colheita mecânica do café. Já [8] observou que com a progressão da maturação dos frutos, estes perdem a sua capacidade elástica.

Determinando as frequências naturais e os modos de vibração, [9] constatou que essas frequências reduzem na medida em que se aumenta a massa total do sistema, dado pelo maior número de frutos solidários ao pedúnculo. Já [10] utilizou técnicas de processamento de imagens, encontrando frequências naturais de 11,62 e 13,29 Hz para os estádios de maturação vermelho e verde, respectivamente.

Assim como é importante na maioria dos estudos apresentados sobre colheita mecânica do café por vibração, o estudo da frequência, a amplitude, a regulagem do freio dos cilindros osciladores, as forças de desprendimento dos frutos, as propriedades mecânicas, geométricas e dinâmicas dos frutos, é também necessário um maior estudo e conhecimento do comportamento dinâmico dos componentes mecânicos responsáveis pela transmissão da vibração aos ramos e frutos do cafeeiro.

Conhecer a frequência e amplitude de vibração das hastes vibratórias das colhedoras em diferentes regulagens e seus efeitos pode possibilitar uma melhor recomendação de regulagem para a colheita, levar a um melhor desempenho na eficiência de colheita, redução do repasse de mão, possibilitar uma melhor colheita seletiva e com menos danos às plantas. Todos esses fatores favorecem na redução de custos do processo de colheita, o que é de grande interesse do cafeicultor e das indústrias de máquinas agrícolas, que terão

L. G. Ferreira Júnior, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais, Brasil, luizdgfj@gmail.com

F. M. Silva, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais, Brasil, famsilva@ufla.br

D. D. Ferreira, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais, Brasil, danton@deg.ufla.br

como bases essas informações para a confecção de seus projetos.

O presente trabalho objetivou, com o auxílio de técnicas de processamento de sinais e da instrumentação, mapear o comportamento de vibração das hastes derriçadoras de uma colhedora de café automotriz, em termos de frequência e amplitude de vibração, a fim de levantar o perfil de deslocamento, ou seja, a trajetória dessas hastes em diferentes regulagens recomendadas para a colheita.

II. SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PROPOSTO

Os ensaios foram desenvolvidos no Departamento de Engenharia, setor de Máquinas e Mecanização da Universidade Federal de Lavras, município de Lavras, estado de Minas Gerais, Brasil. Utilizou-se neste trabalho uma colhedora de café automotriz, modelo K-3 Advance, fabricada pela empresa brasileira Máquinas Agrícolas Jacto S/A.

A instrumentação da colhedora foi realizada através da fixação de um sensor na ponta da haste derriçadora, sendo três tamanhos de hastes: 570, 600 e 640 mm. Cada cilindro oscilador é composto por 36 flanges e cada flange compõe 18 hastes. Para os ensaios, manteve-se uma das configurações de distribuição de hastes no cilindro oscilador, geralmente utilizada para colheita: da 1ª a 15ª flange com hastes de 13 x 570 mm; da 16ª a 30ª flange com hastes de 13 x 600 mm e da 31ª a 36ª flange, hastes de 13 x 640 mm.

Um sensor de vibrações foi fixado na ponta das hastes da 3ª, 18ª e 34ª flange, no sentido da base para o topo do cilindro oscilador. Os ensaios concentraram-se em obter informações das hastes de apenas um dos cilindros osciladores, entretanto, durante os ensaios os dois cilindros permaneceram vibrando e nas mesmas condições de regulagem. Estes cilindros possuem os mesmos sistemas de regulagem, porém são independentes. A Fig. 1 ilustra a fixação do sensor na haste e a Fig. 2 a posição da haste ensaiada ao longo do cilindro.

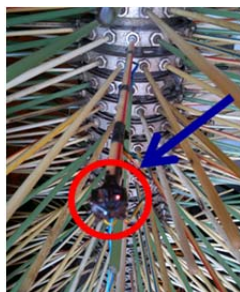


Figura 1. Fixação do sensor na ponta da haste.



Figura 2. Posição das hastes ensaiadas ao longo do cilindro.

Os ensaios foram realizados com a colhedora estática, a fim de não obter interferência de vibrações provenientes de trepidações devidas a irregularidades da superfície do solo e demais vibrações causadas pelo movimento da colhedora. A mesma permaneceu apoiada nos quatro pneus, estando sua estrutura a 200 mm do nível do piso. Os pneus foram calibrados com pressão de ar a 35 Lb.Pol² conforme recomendações do fabricante.

Os sinais de vibração foram coletados através de um sensor acelerômetro tri axial, capacitivo, modelo MMA7361 [11]. Este sensor converte o movimento mecânico realizado pelas hastes em sinais de tensão, que correspondem a uma aceleração. É um sensor muito utilizado em sistemas de jogos de três dimensões, como sensor de movimento e inclinação, registrador de eventos e dispositivo de segurança.

Neste estudo o sensor acelerômetro foi utilizado para a captação da vibração das hastes derriçadoras. Optou-se por este sensor devido principalmente ao seu baixo custo, baixo consumo de corrente (400 mA) e baixa tensão de operação (2,2 a 3,6 V). Além disso, ele possui sensibilidade selecionável ($\pm 1,5$ g ou ± 6 g) e liga rápido com tempo de resposta de 0,5 mili segundos [11].

Para a aquisição dos sinais de vibração captados pelo acelerômetro, utilizou-se um microcontrolador, com hardware de código aberto denominado Arduino, modelo Mega 2560. Além de ser atrativo por possuir um “código aberto”, sua utilização neste projeto foi devido ao seu baixo custo de aquisição.

A transmissão desses sinais de vibração foi realizada por meio de um módulo de comunicação *bluetooth*, modelo Rs232, desenvolvido para Arduino. Este módulo permite conexão dos dados do Arduino para o computador via conexão sem fio. Todo o sistema foi alimentado por uma bateria de 9 Volts.

A Fig. 3 ilustra a montagem dos equipamentos, interligando o sensor acelerômetro, o módulo *bluetooth* e a bateria na placa Arduino. O esquema é apenas ilustrativo. Os fios de cor amarela representam a ligação dos eixos X, Y e Z do acelerômetro. A cor azul identifica os fios responsáveis pela conversão dos sinais analógicos em digitais. A alimentação do microcontrolador, do acelerômetro e do módulo *bluetooth* está sendo representado pelos fios de cor vermelha. O único fio de cor verde, representa a comunicação entre o módulo de comunicação sem fio (*bluetooth*) e o microcontrolador Arduino.

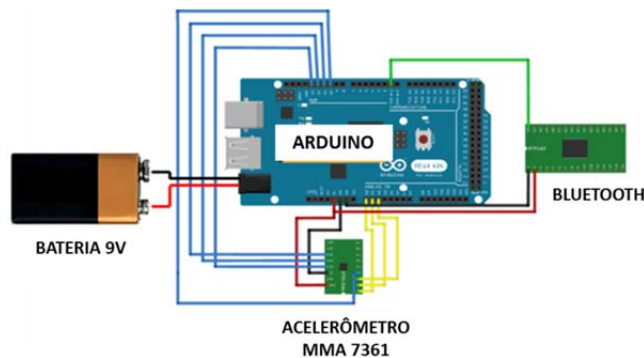


Figura 3. Esquema de montagem do sistema de aquisição dos sinais.

Apesar do sensor acelerômetro utilizado neste trabalho ser capaz de coletar sinais em três dimensões, como o interesse foi conhecer os deslocamentos realizados pela ponta das hastes, as quais são fixadas no cilindro oscilador como pode ser notado na Fig. 2, desprezou-se então a terceira dimensão (z), correspondente ao sentido axial da haste derriçadora, coletando os sinais em apenas duas dimensões (x e y).

III. PROCESSAMENTO DE SINAIS

O processamento de sinais constitui-se em uma etapa fundamental para a análise final dos dados coletados, já que ele é aplicado neste trabalho com duas funções principais: redução de ruídos elétricos e mecânicos, e a conversão do sinal de aceleração adquirido pelo acelerômetro em posição/deslocamento.

Os sinais obtidos pelo sensor foram coletados a uma frequência de amostragem de 2000 sinais a cada 60 segundos, seguindo teorema de Nyquist [12], o qual orienta para que a frequência de amostragem seja igual ou superior a duas vezes a maior frequência do espectro em estudo. Baseado nisso, estimou-se um intervalo de amostragem de 30 mili segundos. Esses sinais foram armazenados em planilhas eletrônicas, e em seguida processados via MatLab R2011b®.

Após a coleta dos sinais de vibração, os mesmos foram transformados a fim de se obter os sinais referentes à posição da haste. Para isso, basicamente quatro etapas foram necessárias, conforme mostra a Fig 4.

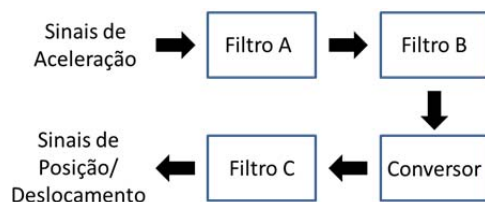


Figura 4. Etapas do condicionamento de sinais.

O primeiro bloco (Filtro A) implementa um filtro passa faixa ajustado para cada frequência de regulagem do cilindro oscilador recomendada para a colhedora (750, 850 e 950 ciclos.min⁻¹). O objetivo desse filtro é eliminar os ruídos elétricos e mecânicos captados pelo acelerômetro. Foi projetado um filtro para cada frequência de regulagem da máquina com faixa de passagem conforme mostra a Tabela I. Os filtros foram passa-faixas de ordem 4, 40 dB (decibéis) de atenuação na faixa de rejeição e 3 dB de *ripple* na faixa de passagem.

TABELA I
FAIXA DE PASSAGEM DOS FILTROS

Frequência de Regulagem (ajustada na colhedora)	Valores médios da Frequência de Regulagem (medida pelo sensor)	Faixa de passagem (banda passante)
750 ciclos. min ⁻¹ (12,5 Hz)	12,4 Hz	11 – 13 Hz
850 ciclos. min ⁻¹ (14,2 Hz)	14,1 Hz	13 – 15 Hz
950 ciclos. min ⁻¹ (15,8 Hz)	15,2 Hz	14 – 16 Hz

Cumprе ressaltar que a faixa de passagem dos filtros foi definida de acordo com a frequência de regulagem medida (a partir da análise do espectro de frequência dos sinais coletados), que foi pouco inferior à frequência de regulagem ajustada na colhedora.

O segundo bloco (Filtro B) da Fig. 4, implementa um filtro para eliminar ruídos mecânicos e verificar a condição de “não movimento” conforme recomenda a nota técnica de acelerômetros AN3397 [13]. Basicamente, o filtro transforma em zero os valores de aceleração que estiverem entre -3 e 3 m.s⁻² [13].

A terceira etapa, representada também na Fig. 4, refere-se à conversão dos sinais de aceleração para posição/deslocamento. Como o sensor capta os sinais de vibração na forma de aceleração e o objetivo dessa pesquisa é mapear o perfil de deslocamento da ponta das hastes derriçadoras, necessita-se então da conversão desses sinais para obter o deslocamento das hastes através das diferenças de posição coletadas pelo sensor. Para isso, baseou-se na nota técnica de acelerômetros AN3397 [13], que utiliza os princípios da física e matemática para converter aceleração em posição.

A aceleração é a taxa de variação da velocidade de um objeto. Ao mesmo tempo, a velocidade é a taxa de mudança de posição desse mesmo objeto [13]. Uma vez obtido os dados de aceleração, pode-se, através da integração dupla dos sinais de aceleração encontrar a posição dos sinais no tempo, conforme equação 1:

$$\iint a(t)dt = s(t), \quad (1)$$

em que $a(t)$ é a função aceleração no tempo e $s(t)$ é a posição no tempo. A integral da aceleração resulta na velocidade e a integral da velocidade resulta em posição.

A integral de uma função foi criada originalmente para determinar a área sob uma curva no plano cartesiano. Dessa forma, pode-se obter a velocidade das hastes derriçadoras calculando a área sob a curva no plano cartesiano e, similarmente, a posição pode ser obtida a partir da velocidade. Este procedimento é equivalente à Equação (1). Para realizar este procedimento, a nota técnica de acelerômetros AN3397 [13] recomenda a divisão da área sob a curva da aceleração no plano cartesiano em retângulos e também em triângulos, a fim de minimizar a influência do erro de amostragem que pode ser gerado durante o processo de integração dos sinais. É importante salientar que a orientação em questão, foi seguida tanto na integração da aceleração quanto na integração da velocidade.

A última etapa, representada na Fig. 4 por Filtro C, é utilizada para remover os ruídos provenientes dos erros do processo de conversão de aceleração para posição. Observou-se que energias não existentes surgiam em baixas frequências (de 1 a 4 Hz) no sinal referente à posição $\{s(t)\}$, resultante da conversão. Assim, um passa alta poderia ser usado para eliminar estes ruídos, porém, como já estava implementado o passa faixa da primeira etapa (Filtro A), este foi utilizado novamente.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processamento proposto pelas etapas mostradas na Fig. 4 foi aplicado a todas as regulagens ensaiadas.

Por motivos de simplificação, serão apresentados nesta seção os resultados sequenciais de cada uma das etapas descritas na Fig. 4 para apenas uma das regulagens ensaiadas.

Como o objetivo do presente trabalho é mapear o perfil da trajetória realizada pelas hastes derriçadoras, outros perfis adquiridos, de outras regulagens ensaiadas, também serão apresentados no final desta seção, contudo, sem apresentação dos detalhes do processo de filtragem de sinais, o qual segue a mesma metodologia e sequência apresentada na Fig. 4.

A Figura 5 mostra os sinais de vibração em termos da aceleração, conforme capturados pelo acelerômetro, nos sentidos horizontal e vertical e seus respectivos espectros de frequência (pares (a)-(b) e (c)-(d), respectivamente). Estes sinais referem-se às regulagens de 12 Kgf no freio do cilindro oscilador (64,33 N.m), vibração do mesmo cilindro a 950 ciclos.min⁻¹ (15,8 Hz), dimensão da haste de 13 x 600 mm (posicionada na parte central do cilindro), adotadas aqui para exemplificar todas as etapas da Fig. 4.

Os sinais de vibração coletados tiveram duração máxima de 60 segundos, porém, para melhorar a visualização do comportamento destes sinais ao longo do tempo, é apresentado apenas o intervalo de 20 a 23 segundos.

Através das características dos sinais de frequência apresentados na Fig. 5 (b) e (d), observa-se que houve uma concentração de energia próximo da frequência de vibração em que a colhedora foi regulada (15,8 Hz), em torno de 15,2 Hz (valor capturado pelo sensor), para a vibração da haste no sentido horizontal. Já na vertical houve maior concentração de energia em baixas frequências (menores que 5 Hz), que é consequência da vibração da colhedora, ou seja, quando o motor e o cilindro oscilador estão ligados, a colhedora sofre um pequeno balanço devido ao fato de estar apoiada nos quatro pneus. Esse balanço (vibração) caracterizou a energia em baixa frequência na vertical. É possível identificar também outras pequenas concentrações de energia em frequências diferentes, resultado da interferência de ruídos, que podem advir de diferentes fontes, como ruídos mecânicos, sonoros e elétricos.

Os sinais mostrados na Fig. 6 (vibrações horizontal e vertical e seus respectivos espectros) são referentes às saídas do Filtro A, em que os sinais ruídos elétricos e mecânicos captados pelo acelerômetro na faixa de corte do filtro (vide Tabela 1) foram filtrados, permanecendo apenas os sinais da faixa de interesse (energia próxima à regulagem da colhedora, medida em 15,2 Hz).

O resultado da conversão dos sinais de aceleração em posição, realizado seguindo o procedimento descrito na Seção II, é ilustrado pela Fig.7. Analisando-se o Espectro de Frequência dos sinais de deslocamento obtidos, observam-se concentrações de energia, antes não evidenciadas nas baixas frequências (menores do que 7 Hz), tanto para o deslocamento horizontal quanto para o vertical. Estas frequências são referentes a ruídos ou a componentes harmônicas da frequência de vibração do cilindro ou do motor da máquina, que acabaram sendo amplificadas com o processo de conversão de aceleração para posição.

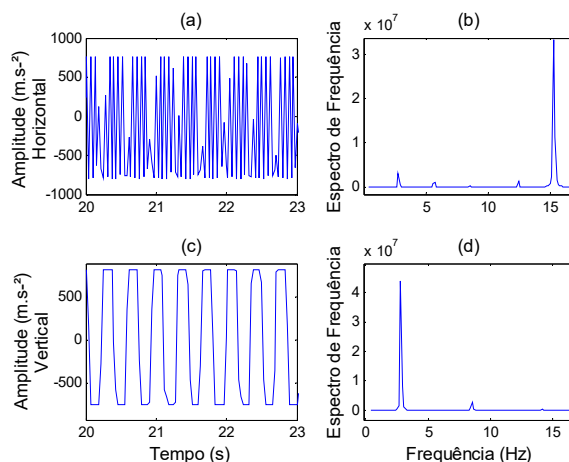


Figura 5. Sinais de aceleração coletados pelo sensor acelerômetro e seus respectivos espectros de frequência para as regulagens de 12 Kgf no freio do cilindro oscilador, 15,8 Hz de vibração e dimensão da haste 13x600 mm (posicionada na parte central do cilindro). Os pares (a)-(b) e (c)-(d), referem-se aos sentidos horizontal e vertical, respectivamente.

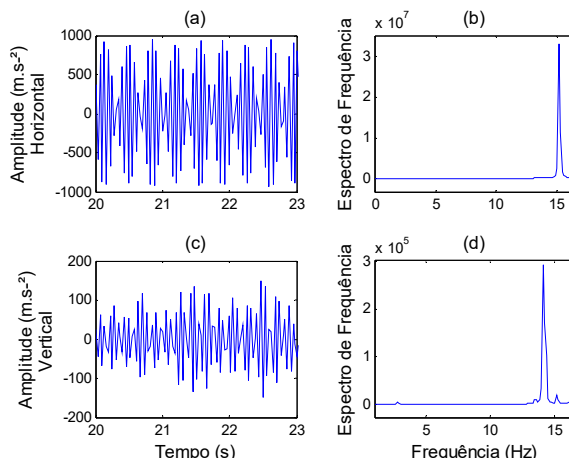


Figura 6. Sinais de aceleração filtrados pelo Filtro A e seus respectivos espectros de frequência para as regulagens de 12 Kgf no freio do cilindro oscilador, 15,8 Hz de vibração e dimensão da haste 13x600 mm (posicionada na parte central do cilindro). Os pares (a)-(b) e (c)-(d), referem-se aos sentidos horizontal e vertical, respectivamente.

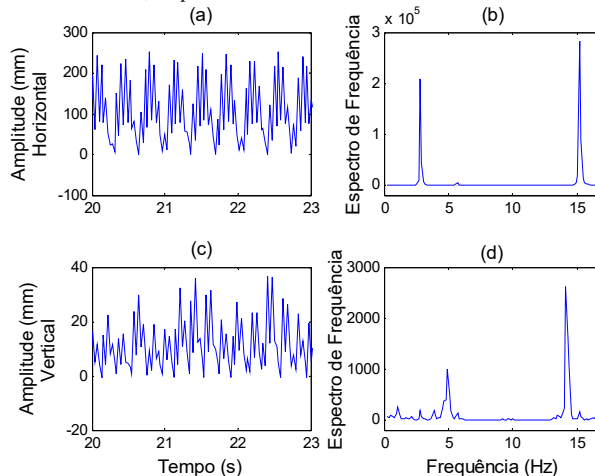


Figura 7. Sinais após processo de conversão (de aceleração para posição) e seus respectivos espectros de frequência para as regulagens de 12 Kgf no freio do cilindro oscilador, 15,8 Hz de vibração e dimensão da haste 13x600 mm (posicionada na parte central do cilindro). Os pares (a)-(b) e (c)-(d), referem-se aos sentidos horizontal e vertical, respectivamente.

Com a aplicação do filtro passa faixa novamente, etapa descrita na Fig. 4 como Filtro C, foram obtidos sinais limpos, ou seja, sem muita interferência de ruídos e harmônicos (Fig. 8) e com os sinais centralizados (o componente de corrente contínua foi eliminado).

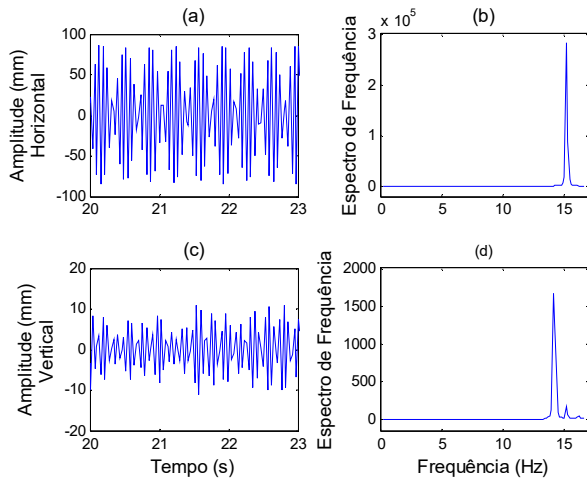


Figura 8. Sinais de posição filtrados pelo Filtro C e seus respectivos espectros de frequência para as regulagens de 12 Kgf no freio do cilindro oscilador, 15,8 Hz de vibração e dimensão da haste 13x600 mm (posicionada na parte central do cilindro). Os pares (a)-(b) e (c)-(d), referem-se aos sentidos horizontal e vertical, respectivamente.

Após todas as etapas da Fig. 4, os sinais de posição que juntos constituem o deslocamento da haste derriçadora, foram plotados na forma deslocamento vertical versus horizontal, obtendo-se o mapeamento da trajetória realizada pela haste, conforme mostra a Fig. 9, tendo como referência a trajetória da posição do sensor, na condição de regulagens que a colhedora foi submetida.

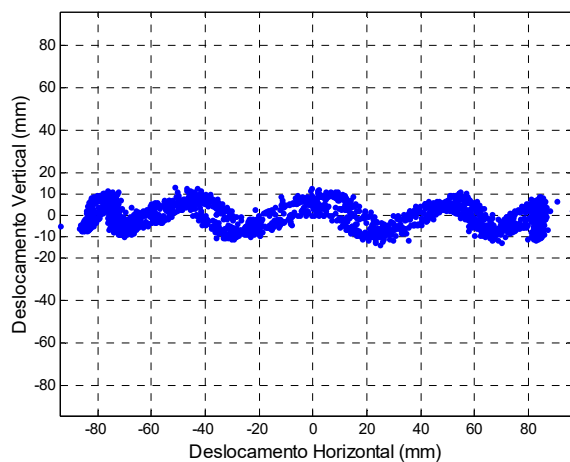


Figura 9. Mapeamento da trajetória realizada pela haste, referente as regulagens de 12 Kgf no freio do cilindro oscilador, 15,8 Hz de vibração e dimensão da haste 13x600 mm (posicionada na parte central do cilindro).

Através da representação do perfil apresentado na Fig. 9, percebe-se que a haste vibrou numa amplitude de aproximadamente 170 mm na horizontal e 20 mm na vertical, formando uma trajetória com ondulações. As Figuras 10, 11 e 12, mostram perfis de deslocamento das seguintes regulagens, respectivamente: (i) haste de 13x570 mm a 8 Kgf de freio e

750 ciclos.min⁻¹ no cilindro oscilador, (ii) haste de 13x600 mm a 8 Kgf de freio e 950 ciclos.min⁻¹ no cilindro oscilador, e (iii) haste de 13x640 mm a 8 Kgf de freio e 950 ciclos.min⁻¹ no cilindro oscilador, encontrados também pelo mesmo processo representado na Fig. 4.

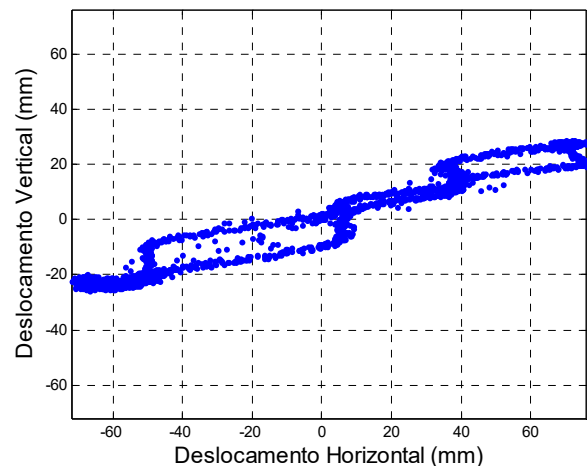


Figura 10. Mapeamento da trajetória realizada pela haste de 13x570 mm a 8 Kgf e 750 ciclos.min⁻¹ no cilindro.

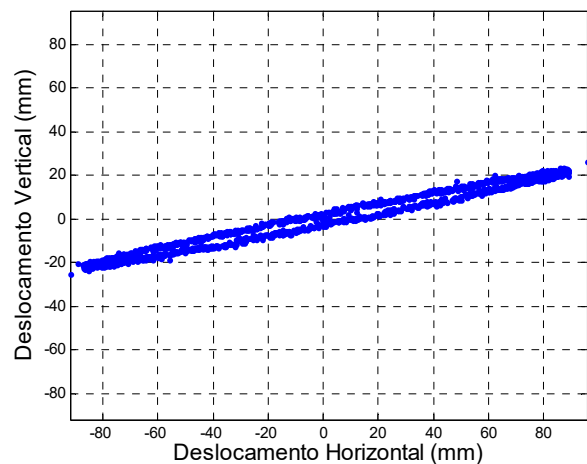


Figura 11. Mapeamento da trajetória realizada pela haste de 600 mm a 8 Kgf e 950 ciclos.min⁻¹ no cilindro.

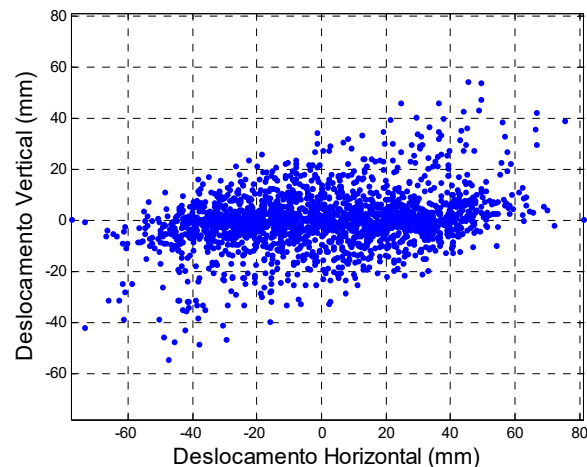


Figura 12. Mapeamento da trajetória realizada pela haste de 640 mm a 8 Kgf e 950 ciclos.min⁻¹ no cilindro.

Observou-se certa tendência do perfil, para as regulagens entre 8 Kgf (42,89N.m) e 10 Kgf (53,61 N.m) no freio e vibração de 750 a 950 ciclos.min⁻¹ no cilindro oscilador, em apresentar deslocamento da haste similar ao símbolo de infinito (∞), reduzindo a amplitude horizontal e aumentando a vertical.

Sabe-se que a derriça do fruto de café se faz por meio do rompimento do pedúnculo (parte que liga o fruto ao ramo plagiotrópico do cafeeiro). Esse desprendimento ocorre pelo contato direto das hastes com os frutos do cafeeiro ou pela transmissão de vibração, onde as hastes têm contato com os ramos e esses transmitem vibrações das hastes para os frutos do cafeeiro.

Entende-se que quanto maior for o deslocamento horizontal e vertical da haste, maior serão as chances de contato destas com a planta e consequentemente maiores as chances de sucesso na derriça desses frutos, principalmente os deslocamentos verticais, pois, com a colhedora em movimento, a maior amplitude vertical obviamente proporcionará maiores chances de entremear os ramos do cafeeiro.

Assim, pode-se correlacionar os resultados dos perfis encontrados com o tipo de colheita a ser realizada, buscando um perfil com maiores amplitudes, principalmente as verticais, para uma colheita plena (que visa derriçar todos os frutos da planta com uma única passada da colhedora) ou um perfil com menores amplitudes, buscando uma colheita seletiva (visa derriçar frutos maduros, deixando os verdes na planta).

A Fig. 13 mostra os deslocamentos horizontais realizados pela ponta das hastes nas diferentes regulagens ensaiadas. Observam-se maiores deslocamentos horizontais para as hastes de 570 e 600 mm de comprimento e regulagem de freio do cilindro oscilador em 12 Kgf, independente da vibração.

A Fig. 14 mostra os deslocamentos verticais das hastes, evidenciando maiores deslocamentos (amplitudes) nas menores hastes de 570 mm de comprimento, nos freios do cilindro oscilador em 8 Kgf e também em 10 Kgf, porém, na maior vibração ensaiada (950 ciclos.min⁻¹).

O estudo mostrou existência de diferentes comportamentos na trajetória das hastes. Mostrou também que as trajetórias mudaram de acordo com as regulagens do freio, frequência de vibração do cilindro e também com o comprimento de haste.

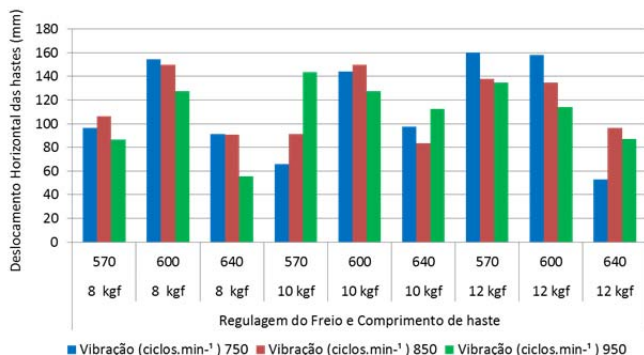


Figura 13. Deslocamentos horizontais efetuados pela ponta das hastes derriçadoras, nas diversas regulagens ensaiadas.

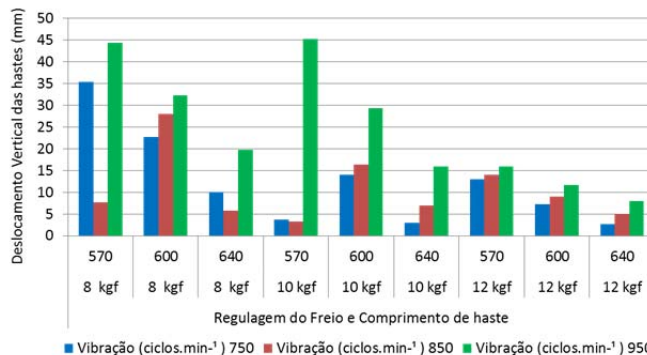


Figura 14. Deslocamentos verticais efetuados pela ponta das hastes derriçadoras, nas diversas regulagens ensaiadas.

IV. CONCLUSÃO

O sistema de aquisição de sinais proposto, juntamente com o processamento dos sinais, auxiliado pelo software Matlab R2011b[®] proporcionou agilidade, clareza e qualidade na interpretação dos resultados, dando suporte ao entendimento do comportamento dos sinais de vibração das hastes, à utilização de filtros de sinais e à conversão dos sinais de aceleração em posição, sendo possível obter o mapeamento do perfil, ou seja, a trajetória realizada pela ponta das hastes nas diferentes regulagens ensaiadas, obtendo-se os diferentes deslocamentos horizontais e verticais realizado pelas hastes.

Os resultados evidenciam a importância da eletrônica na agricultura, visto que é possível, através do conhecimento da trajetória realizada pelas hastes derriçadoras, inferir sobre a eficiência de derriça do café e desfolha das plantas, através de uma melhor recomendação de regulagem da colhedora, uma vez que no processo de derriça mecânica do café por vibração, as hastes entremeam os ramos plagiotrópicos da planta com objetivo de desprender os frutos desses ramos por meio da transmissão de vibração e/ou contato direto com os frutos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Fundação de Amparo à Pesquisa de MG (FAPEMIG), e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio e suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

[1] F. M. Silva, “Mecanização da colheita viabiliza cafeicultor”. *A Granja*, Porto Alegre, Vol. 784, pp. 60-62, 2014.
 [2] E. Oliveira et al. “Custos operacionais da colheita mecanizada do cafeeiro”. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, Vol. 42, no. 6, pp. 827-831, jun. 2007.
 [3] G. A. S. Ferraz et al. “Geostatistical analysis of fruit yield and detachment force in coffee”. *Precision Agriculture*. Vol. 13, pp. 76-89, Fev. 2012.
 [4] F. L. Santos et al. “Efeito da frequência e amplitude de vibração sobre a derriça de frutos de café”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Vol. 14, no.4, pp. 425-43, 2010.
 [5] D. M. Guedes. “Efeito da utilização de frequências de vibração na faixa de 35 a 55 Hz sobre a eficiência de derriça do café”. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)*, Universidade Federal de Viçosa, 52 p., 2011.
 [6] A. S. Roque, G. Schievelbein, “An Architecture based on magnetic sensors for fault detection in agricultural implements”. *IEE Latin America Transactions*, Vol. 14, no. 4, pp. 1582–1587, Abr. 2016.

- [7] E. A. Carvalho, R. R. Magalhães, F. L. Santos, “Geometric modeling of a coffee plant for displacements prediction”. *Computers and Electronics in Agriculture*. Vol. 123, pp. 57-63, 2016.
- [8] H. A. Tinoco et al. “Finite elemento modal analysis of the fruit-peduncle of Coffea Arabica L. var. Colombia estimating its geometrical and mechanical properties”, *Computers and Electronics in Agriculture*. Vol. 108, pp. 17-27. 2014.
- [9] A. L. F. Coelho et al. “Dynamic behavior of the coffee fruit-stem-branch system using stochastic finite elemento method”. *Coffee Science*, Lavras, Vol. 11, no.1, pp. 1-10. Jan./Mar. 2016.
- [10] G. P. Villibor et al. “Determination of modal properties of the coffee fruit-stem system using high speed digital video and image processing”. *Acta Scientiarum. Technology*. Maringá, Vol. 38, no.1 pp. 41-48, Jan./Mar.2016.
- [11] FREESCALE. “Freescale semiconductor: data sheet MMA7361”. 2007. Disponível em: <http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/app_note/AN3397.pdf>. Acesso em: 20 Ago. 2016.
- [12] H. Niquist. Certain topics in telegraph transmission theory. *IEEE Latin America Transactions*. Vol. 47, pp. 617-644, 1928.
- [13] FREESCALE. “Freescale semiconductor: application note AN3397”. 2007. Disponível em: <http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/app_note/AN3397.pdf>. Acesso em: 20 Ago. 2016.



Luiz de Gonzaga Ferreira Júnior, brasileiro, graduado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (UFLA) em 2007, Especialista em Cafeicultura Empresarial e Meio Ambiente pelo Centro Universitário do Sul de Minas (UNIS) 2012, Mestre em Engenharia Agrícola pela UFLA em 2014 e Doutorando em Engenharia Agrícola pela UFLA.

Possui experiência profissional na área de Máquinas e Mecanização Agrícola. Instrutor de Treinamentos de operação e manutenção de colhedoras de café. Atualmente é Professor de Engenharia de Produção no Centro Mineiro do Ensino Superior (CEMES) e professor de mecanização da cafeicultura no curso MBA em Cafeicultura Empresarial no Centro Universitário do Sul de Minas (UNIS). Suas áreas de interesse são: Cafeicultura, Projeto e Avaliação de Máquinas, Mecanização Agrícola, Instrumentação Agrícola e Otimização de Sistemas de Produção.



Fábio Moreira da Silva, brasileiro, possui graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (UFLA) em 1985, mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) em 1990 e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo (USP) em 1995. Atualmente é professor titular da

Universidade Federal de Lavras, Membro de corpo editorial da Cafeicultura (1678-1724) e Sócio fundador do Inovação em Mecanização Agrícola Ceifa. Tem experiência na área de Engenharia Agrícola, com ênfase em Máquinas e Implementos Agrícolas. Atuando principalmente nos seguintes temas: Motor Diesel, Duplo combustível e Metano.



Danton Diego Ferreira, brasileiro, obteve os títulos de Engenheiro Eletricista em 2005 pela Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ), Mestre em Engenharia Elétrica em 2007 pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) e doutor em Engenharia Elétrica em 2010 pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ/COPPE). Realizou Estágio

Pós-doutoral na Universidade Federal de Juiz de Fora, pelo INERGE/CNPq, de maio de 2014 a maio de 2015. Atualmente é Professor Adjunto na Universidade Federal de Lavras (UFLA), lotado no Departamento de Engenharia (DEG). Suas áreas de interesse são: processamento de sinais e inteligência computacionais aplicados a Sistemas Elétricos de Potência, processamento de sinais biomédicos, qualidade de energia elétrica, *Smart Grids* e reconhecimento de padrões.