

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE UMA MÁQUINA ABANADORA DE CAFÉ COM O MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS (DEM)

DANIEL DE S. BARRANTES¹, WILLIAM M. VICENTE²

¹ Engenheiro Mecânico, Mestrando, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas - SP, dsbarrantes@gmail.com

² Dr. em Engenharia Mecânica, Prof. Titular, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas – SP, william.vicente@feagri.unicamp.br

Apresentado no
LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2023
18 a 21 de outubro de 2023 – Ribeirão Preto - SP, Brasil

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo analisar como as variáveis amplitude e frequência de operação interferem na eficiência de uma máquina de abanação de café. Para isso, se utilizou do Método dos Elementos Discretos (DEM) (do inglês *Discrete Element Method*) uma das técnicas computacionais mais adotadas na pesquisa de máquinas agrícolas e materiais granulares, para visualizar o comportamento e trajetória dos grãos de café. A técnica aplicada através do software EDEM Altair®. O software necessita que as partículas (no caso, grãos de café) sejam descritas através das propriedades densidade, coeficiente de atrito estático, coeficiente de rolamento e coeficiente de restituição, as quais foram encontradas na literatura. As condições dinâmicas da abanadora de café também devem ser inseridas na simulação. Foram realizadas 6 simulações de 5 segundos, nas quais foram utilizadas 3 frequências de operação (6,8 Hz, 7,5 Hz e 8,3 Hz) e 2 amplitudes de vibração (13mm e 18mm). Foi observado que a condição dinâmica que resultou na maior eficiência de abanação foi a de 6,8 Hz de frequência de operação com 13 mm de amplitude.

PALAVRAS-CHAVE: Abanadora, Café, DEM

COMPUTATIONAL SIMULATION OF A COFFEE BEAN SCREENING MACHINE USING THE DISCRETE ELEMENT METHOD (DEM)

ABSTRACT: This study aims to analyze how the variables amplitude and operation frequency interfere with the efficiency of a coffee bean screening machine. For this purpose, the Discrete Element Method (DEM), one of the most used computational techniques in agricultural machinery and granular material research, was employed to visualize the behavior and trajectory of coffee beans. This technique will be applied using the EDEM Altair® software. It's required that the particles (in this case, coffee beans) be described by their density, static friction coefficient, rolling coefficient, and restitution coefficient, which were obtained from the literature. The dynamic conditions of the coffee shaker also need to be included in the simulation. Six simulations of 5 seconds each were conducted, using three operating frequencies (6.8 Hz, 7.5 Hz, and 8.3 Hz) and two vibration amplitudes (13 mm and 18 mm). It was observed that the dynamic condition resulting in the highest shaking efficiency was a frequency of 6.8 Hz with an amplitude of 13 mm.

KEYWORDS: Screening Machine, Coffee, DEM

INTRODUÇÃO: A separação do café das impurezas é indispensável para a obtenção de um produto de melhor qualidade e custo. Segundo (Nasser, 2010), o grão cereja é o fruto maduro do café e representa seu ponto máximo de qualidade. Por isso, separá-lo das impurezas gera ao agricultor um maior valor por saca.

Os trabalhos disponíveis na literatura referentes ao tema têm como foco o desenvolvimento de máquinas abanadoras de café, com construção de protótipos para avaliação de suas respectivas eficiências de forma experimental. Apesar de (Souza et al., 2004) verificar a influência da variável amplitude de vibração na eficiência e capacidade da máquina, não foi realizado um estudo detalhado de como estas variáveis se relacionam e nem foi considerado o caráter discreto do meio por se tratar de materiais granulares. Visando esta lacuna, o presente trabalho se utilizará de simulações computacionais DEM (Método dos Elementos Discretos) para avaliar a respectiva influência. Estas simulações possibilitarão a utilização de diferentes valores de amplitude e de frequência de vibração como dados de entrada, que por sua vez, retornarão como dados de saída a eficiência de abanação plotadas graficamente. Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar como as variáveis amplitude e frequência de operação de uma máquina de abanação de café interferem em sua eficiência de pré-limpeza e separação.

MATERIAL E MÉTODOS: Para se realizar uma simulação computacional DEM, é necessário informar ao software características como tamanho, geometria, densidade, coeficiente de atrito estático, coeficiente de rolamento e coeficiente de restituição das partículas envolvidas no estudo. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica para encontrar todos os parâmetros de entrada necessários os quais estão informados e organizados na tabela a seguir:

TABELA 1. Propriedades dos grãos de café necessárias para a simulação DEM

Propriedade	Valor	Referência
Geometria (mm)	15,3 x 13,9 x 13,3	(MAGALHÃES, 1999)
Densidade (g/cm ³)	1,13	(MAGALHÃES, 1999)
Coeficiente de Poisson	0,40	(ZHAO et al, 2021)
Módulo de cisalhamento (Pa)	4,5e+7	(ZHAO et al, 2021)
Coeficiente de Restituição	0,50	-
Coeficiente de Fricção estática	0,70	-
Coeficiente de rolamento	0,15	-

As propriedades coeficiente de restituição, fricção estática e de rolamento não foram encontradas na literatura e por este motivo, foram determinadas de uma maneira indireta. Foi realizado um experimento virtual também utilizando o método DEM em que um cilindro preenchido com grãos de café é elevado até não haver mais contato com os grãos, que fluem e se acomodam em seu ângulo de repouso. Os respectivos coeficientes foram variados até que o valor do ângulo de repouso fosse o mesmo da literatura, que segundo (MAGALHÃES, 1999), é de 41,6°.

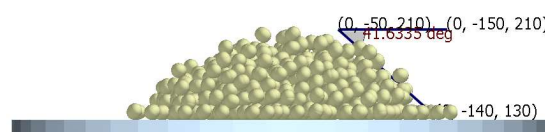


FIGURA 1. Experimento virtual utilizando-se o método DEM com o software EDEM-Altair: ângulo de repouso obtido de 41,6°

Com as características dos grãos de café já determinadas, foi criado um protótipo virtual de abanadora de café em um ambiente CAD (Computer Aided Design). Este modelo foi baseado nos estudos de (MAGALHÃES, 1999), que propôs dimensões de (1000 x 500 x 270) mm, chapas de aço de 1,5 mm de espessura, diâmetros dos furos do 1º deck de 20mm, diâmetros dos furos do 2º deck de 6 mm e inclinação e 3,7°. O protótipo virtual da abanadora de café utilizado na simulação DEM está representado na figura 2

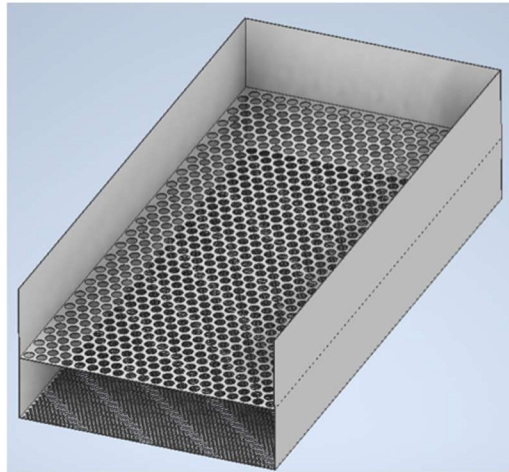


FIGURA 2. Protótipo virtual de abanadora de café desenvolvido em ambiente CAD utilizando-se o software Inventor

Desenvolvido originalmente por Cundall e Strack em 1979, o método dos elementos discretos (Discrete Element Method - DEM) considera um número finito de partículas que interagem entre si por forças de contato ou sem contato e o movimento de cada uma destas partículas obedece às leis de Newton. Em um fluxo de partículas, cada partícula pode se mover de forma translacional ou rotacional. Durante estes movimentos, cada partícula pode interagir com as partículas vizinhas, com as paredes do sistema que as contém e com o fluido em que ela está envolvida (ZHU et al., 2007).

Para se utilizar o método DEM neste trabalho, utilizou-se o software EDEM da empresa Altair para simulação do comportamento dos grãos de café na máquina abanadora de café. Tanto os grãos de café quanto o protótipo CAD apresentados anteriormente foram inseridos no software para serem simulados com diferentes condições dinâmicas da abanadora, variando-se amplitude (13 mm e 18 mm) e frequência de operação (6,8 hz, 7,5hz e 8,3hz). A figura 3 apresenta a interface do software.

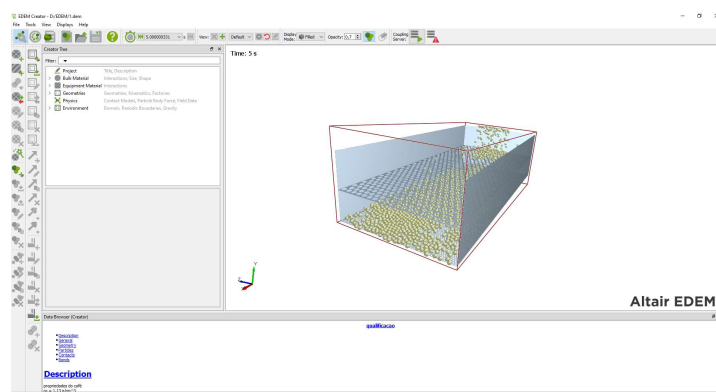


FIGURA 3. Interface do software EDEM com abanadora e grãos de café

Por fim, a eficiência de abanação foi calculada em cada caso utilizando-se a seguinte equação: $E = 100 - b$, onde E é a eficiência de abanação e b, a % de impurezas no material retido como uma % do retido.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Após as simulações DEM serem realizadas, foram obtidos os valores de eficiência para cada condição dinâmica representados no gráfico 1:

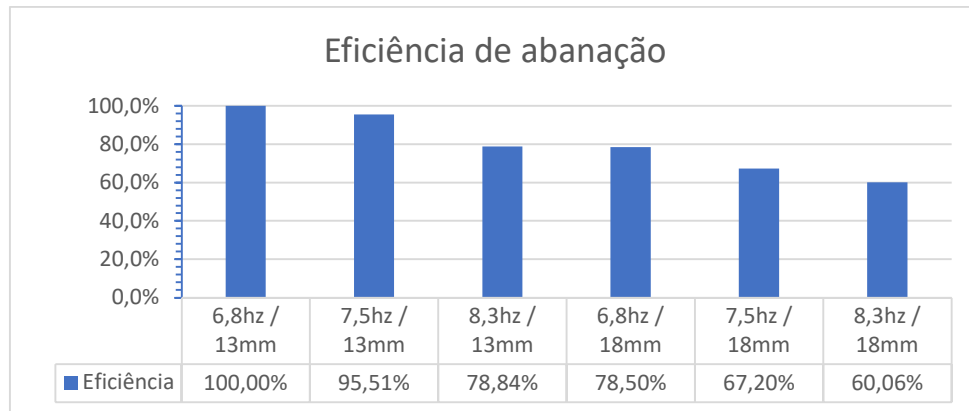


FIGURA 4. Eficiência de abanação em função das amplitudes e frequências de vibração

CONCLUSÕES: Conclui-se que o maior valor de eficiência foi encontrado para a condição de 6,8hz e 13,0 mm. O valor de 100% de eficiência encontrado pode ser explicado pelo tempo de simulação (5 segundos). Com o aumento do tempo de simulação, a hipótese é de que a eficiência se convirja para valores usuais de eficiência (diferente de 100%). No atual momento de realização deste trabalho, o custo computacional das simulações impossibilitou a realização de simulações com duração de tempo maior.

AGRADECIMENTOS: Agradecemos à faculdade de Engenharia Agrícola pelo apoio e financiamento para a apresentação deste trabalho, à UNICAMP por todo apoio pedagógico e à Altair pelo apoio técnico e recursos para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS:

MAGALHÃES, A. C. **PROJETO, CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DE UMA MÁQUINA DE PRÉ-LIMPEZA DE CAFÉ.** [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 1999.

NASSER, M. D. **Cuidados no preparo do café cereja.** Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2010_2/CafeCereja/Index.htm>. Acesso em: 21 out. 2020.

SHAFIQ, S. I. et al. Virtual Engineering Object (VEO): Toward Experience-Based Design and Manufacturing for Industry 4 . 0. p. 35–50, 2015.

SOUZA, R. A. D. E. et al. Desenvolvimento e modelagem de sistemas de derriça e de abanação de frutos do cafeeiro. 2004.

ZHAO, H. et al. Applications of Discrete Element Method in the Research of Agricultural Machinery: A Review. *Agriculture*, v. 11, n. 5, p. 425, 8 maio 2021b.

ZHU, H. P. et al. Discrete particle simulation of particulate systems : Theoretical developments. v. 62, p. 3378–3396, 2007.