



# DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE GRÃOS DE CAFÉ TIPO COFFEA ARABICA L. (CAFÉ ARÁBICA)

**Palavras-Chave: MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS (DEM), PROPRIEDADES FÍSICAS DOS GRÃOS DE CAFÉ, CAFÉ ARÁBICA.**

**Autores(as):**

**Caio Henrique Gomes Amad - FEAGRI/UNICAMP**

**Prof. Dr. William Martins Vicente (orientador) - FEAGRI/UNICAMP**

**MCs Daniel De Santi Barrantes (coorientador) - FEAGRI/UNICAMP**

---

## INTRODUÇÃO:

O Brasil tem o agronegócio como um pilar importante na construção do PIB nacional. Dentre as diversas culturas de grãos, o cultivo do café é uma das mais difundidas no Brasil e com grande contribuição na geração do PIB do agronegócio. Nos últimos anos, a mecanização da lavoura proporcionou ganhos em produtividade e qualidade do produto. Na cafeicultura máquinas voltadas para o tratamento de café são um exemplo que têm se beneficiado pela automatização de equipamentos.

Estes tipos de máquina são indispensáveis para a obtenção de um produto de melhor qualidade e custo. Os trabalhos disponíveis na literatura referentes a estas máquinas têm como foco a construção de protótipos para avaliação de suas respectivas eficiências de forma experimental (Souza et al., 2004). Contudo, estes estudos experimentais carecem de informações detalhadas de como o meio pode afetar o desempenho da máquina. Além de ficarem limitados a um conjunto de parâmetros experimentais.

Simulações computacionais são ferramentas essenciais para abordar diversos parâmetros que podem ser muitos custosos e desafiadores do ponto de vista experimental. A simulação DEM (Método dos Elementos Discretos) tem se mostrado uma ferramenta promissora e seu uso é crescente na área de pesquisa de máquinas agrícolas, uma vez que é capaz de monitorar o comportamento dinâmico e mecânico de materiais agrícolas em processamento (ZHAO et al., 2021b).

Contudo, a maioria dos trabalhos que utilizaram DEM se dedicaram a entender a trajetória e performance de sementes e grãos como trigo, arroz, milho e soja (LIMA, 2014; ZHAO et al., 2021a), e pouco se sabe sobre as propriedades físicas dos grãos de café, que são cruciais para realização de tais análises, visto que sua bibliografia é escassa e carece de maiores estudos. Portanto, este projeto objetiva a determinação dos principais coeficientes dos grãos de café para realização de uma simulação DEM, visando fornecer dados para outros projetos de pesquisa em desenvolvimento na FEAGRI.

## METODOLOGIA:

Este trabalho foi conduzido em duas etapas principais, a primeira consistiu em estudar a fundo a bibliografia disponível sobre o grão de café, que se mostrou escassa e quase inexistente nessa área de pesquisa, com isto foi feita uma busca por dados de grãos similares, como milho e feijão, com o intuito de aplicar a mesma metodologia para determinar os dados em laboratório. Logo, a pesquisa se baseou, principalmente, nas informações encontradas acerca de outros grãos e no livro *Physical Properties of Plant and Animal Materials*, de 1970.

A segunda etapa do projeto foi conduzida no Laboratório de Pós-Colheita da FEAGRI, com o auxílio dos profissionais do laboratório e apoio da empresa Pinhalense, especializada em maquinário agrícola voltado para a cultura do café. O trabalho se iniciou a partir do tratamento das amostras fornecidas pela Pinhalense, partindo da separação dos grãos por categoria, que são moca, 1 cotilédone, ou chato, 2 cotilédones, e dentre estas classificações existem os tamanhos, que são miúdo, médio e graúdo. Esta separação foi feita utilizando um jogo de peneiras (Figura 1) com diferentes formatos e tamanhos, a mesma se mostrou necessária para averiguar se haveria alterações nos resultados dos testes dependendo da categoria de grão utilizado, com isto se tornou possível realizar os devidos experimentos e entender como estas diferenças influenciam nos coeficientes e propriedades dos diferentes tipos de grãos e na mistura entre eles. No fim da separação, foi possível obter as melhores amostras (Figura 2) e remover todas as impurezas que poderiam influenciar nos testes, com isto se chegou a aproximadamente 500 gramas de grãos do tipo moca e 1 quilograma de grãos do tipo chato.



**Figuras 1 e 2** - Respectivamente, o jogo de peneiras utilizado para a separação dos grãos de café e os grãos separados entre moca e chato - Fonte: De autoria própria.

Com isto, foram iniciados os testes para encontrar os coeficientes de atrito, para obtê-los foram utilizados os módulos (Figura 3) e superfícies de contato (Figura 4) presentes no laboratório, seguindo a seguinte série de passos (Figura 5):

1. Posicionamento da superfície abaixo do dispositivo móvel de acrílico.
2. Preenchimento do compartimento de acrílico com uma massa conhecida de grãos.
3. Adição, com cuidado, das peças de chumbo no recipiente de contrapeso até a iminência de deslizamento do carrinho de acrílico sobre a superfície analisada.
4. Na iminência do movimento, pesagem da massa de peças de chumbo com o recipiente utilizado para promovê-lo.
5. Repetição do procedimento 5 vezes para cada superfície.

O procedimento foi repetido 5 vezes utilizando os grãos do tipo moca e chato e a mistura entre ambos, alocando-os sobre todas as superfícies disponíveis. Feitos os testes, foram então coletados e compilados todos os

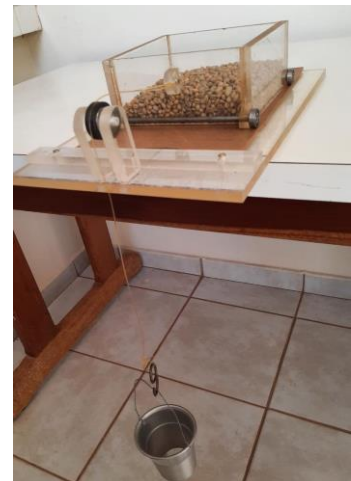
dados obtidos, com isto foram calculados os coeficientes de atrito, gerando tabelas e gráficos, utilizando a seguinte fórmula:

$$\mu = \frac{P \text{ Balde} + \text{Chumbo}}{N}$$

Onde  $\mu$ ,  $P \text{ Balde} + \text{Chumbo}$  e  $N$  são respectivamente coeficiente de atrito externo, peso do balde e peças de chumbo e força normal.



**Figuras 3 e 4** - Respectivamente, o módulo de acrílico utilizado para a determinação dos coeficientes de atrito e as superfícies utilizadas, estando ordenadas em aço inox, chapa galvanizada, alumínio e MDF - Fonte: De autoria própria.



**Figura 5** - Passo a passo utilizado para a determinação dos coeficientes de atrito, seguindo com posicionamento do módulo, posicionamento da superfície, preenchimento do compartimento com grãos e adição de contrapeso - Fonte: De autoria própria.

Coletados os dados para o cálculo dos coeficientes de atrito externo, foram então repetidos os procedimentos aplicando a ação de uma força normal, proporcionada por uma placa (Figura 6) de aproximadamente 1350 gramas, que foi colocada sobre os grãos (Figura 7). O método de avaliação adotado foi exatamente o mesmo que o anterior, somente havendo a adição de uma massa conhecida sobre os grãos de café.

Além disso, estão sendo realizados experimentos para obtenção de outros dados relevantes para a realização de simulações DEM, como ângulo de repouso e coeficiente de rolamento (Módulo em construção). Somado a estas propriedades, também estão sendo avaliados outros tipos de dados que podem vir a ser relevantes para estudos de simulação envolvendo a cultura do café, como umidade, perda de carga, velocidade terminal, fluidização e propriedades térmicas.



Figuras 6 e 7 - Respectivamente, placa utilizada para proporcionar a força normal sobre os grãos e posicionamento da mesma sobre a amostra  
- Fonte: De autoria própria.

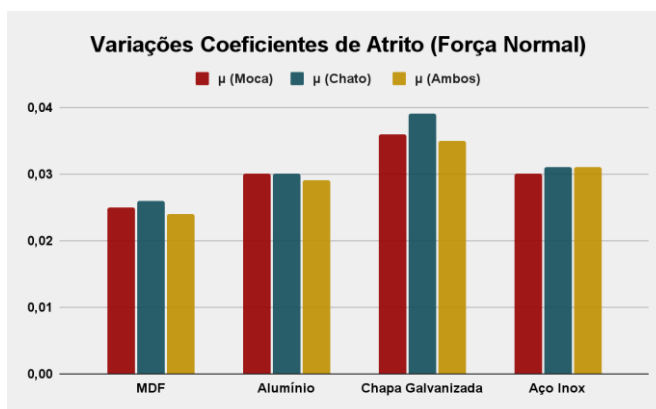
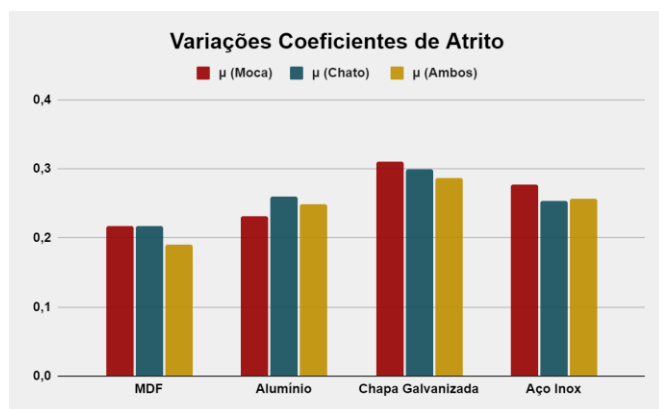
## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os testes realizados no laboratório permitiram a compilação de dados (Tabela 1) e construção de gráficos (Gráficos 1 e 2), que possibilitaram melhor visualização do comportamento dos grãos quando submetidos a diferentes tipos de condições. Os resultados apontaram que os coeficientes variam de acordo com o tipo de grão de café, a mistura entre eles e a superfície de contato utilizada, em comparação com outros grãos similares, como milho e feijão, os valores se encontram dentro de uma faixa semelhante, o que indica propriedades físicas similares. A observação destas mudanças é relevante para as simulações DEM, visto que mesmo sendo grãos da mesma cultura, apresentam algumas diferenças, e o conhecimento e aplicação das mesmas, possibilitam uma modelagem mais precisa do comportamento desses grãos em diferentes cenários industriais e de manuseio.

Tabela 1 - Compilação dos resultados obtidos a partir dos dados e cálculos realizados em laboratório.

Superfícies	Coeficiente de Atrito Externo			Coeficiente de Atrito Externo (Força Normal)		
	Moca	Chato	Ambos	Moca	Chato	Ambos
MDF	0,217	0,217	0,19	0,025	0,026	0,024
Alumínio	0,232	0,26	0,248	0,03	0,03	0,029
Chapa Galvanizada	0,31	0,299	0,287	0,036	0,039	0,035
Aço Inox	0,277	0,253	0,257	0,03	0,031	0,031

Gráficos 1 e 2 - Gráficos gerados a partir dos dados obtidos.



## CONCLUSÕES:

Este trabalho constatou através dos experimentos realizados que os coeficientes de atrito externo dos grãos de café são similares aos coeficientes de outros grãos, como o milho e o feijão, no entanto os mesmos demonstram variações, visto que a cultura do café possui dois tipos de grãos distintos, moca e chato, que apresentam pequenas mudanças. Mesmo que as variações nos resultados destas características não pareçam relevantes, podem ocasionar efeitos significativos em um longo prazo, principalmente em atividades que envolvem o tratamento direto dos grãos, como o processamento em máquinas agrícolas. Variações nos coeficientes de atrito externo, por menores que sejam, podem se acumular no decorrer do tempo e resultar em mudanças no desempenho e eficiência das máquinas, dentre os problemas que podem ocorrer devido à falta de conhecimento e aplicação destas propriedades são perda de eficiência operacional, aumento de desgaste e manutenção, mudanças no consumo de energia, perda de qualidade do produto final e desempenho geral. Com isto, conclui-se que os estudos e pesquisas sobre as propriedades físicas dos grãos de café devem ser aprofundadas, visto que podem influenciar diretamente no dimensionamento de maquinários agrícolas e simulações DEM, assim é possível garantir eficiência, confiabilidade e qualidade nas atividades que envolvem o processamento de grãos de café.

## BIBLIOGRAFIA:

- LIMA, R. F. DE. **Modelagem Matemática Tridimensional de Espalhamento de Grãos e Impurezas por Meio do Método dos Elementos Discretos**. Ijuí, RS: UNIJUI. 2019. 131p. Tese de Doutorado
- LIU, Y. et al. **Determination of Discrete Element Modelling Parameters of Adzuki Bean Seeds**. *Agriculture*, v. 12, n. 5, p. 626, 27 abr. 2022.
- MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**: V. 1: Physical characteristics and mechanical properties. Amsterdam, Netherlands: Gordon & Breach Science, 1970.
- SOUZA, C. M. A. **Desenvolvimento e modelagem de sistemas de derriça e de abanação de frutos do cafeeiro**. Viçosa, MG: UFV. 2004. 123p. Tese de Doutorado.
- ZHAO, H. et al. **Applications of Discrete Element Method in the Research of Agricultural Machinery: A Review**. *Agriculture*, v. 11, n. 5, p. 425, 2021.
- ZHOU, L. et al. **DEM Parameter Calibration of Maize Seeds and the Effect of Rolling Friction**. *Processes*, v. 9, n. 6, p. 914, 22 maio 2021.