

## O EFEITO DA AUTOVIBRAÇÃO NA FORÇA DE MOVIMENTO VERTICAL EM MEIO GRANULAR

FABIO SILVA DO NASCIMENTO<sup>1</sup>; RAFAEL NUNES SIGALES<sup>2</sup>; DANIEL DE CASTRO MACIEL<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [fabiomatrix15@hotmail.com](mailto:fabiomatrix15@hotmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – [rafaelNS1703@hotmail.com](mailto:rafaelNS1703@hotmail.com)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – [Daniel.maciel@ufpel.edu.br](mailto:Daniel.maciel@ufpel.edu.br)

### 1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da produtividade agrícola, busca-se constantemente melhorar os processos de colheita e otimizar as condições de armazenagem de grãos. Os silos são componentes indispensáveis para o armazenamento seguro de cereais, garantindo a preservação da qualidade do produto e permitindo a comercialização em períodos mais favoráveis (WEBER E.A, 2005). No entanto, silos apresentam características que os classificam como espaços confinados— espaços não destinados à ocupação humana, com meios limitados de entrada e saída, utilizados para armazenagem de material com potencial para engolfar ou afogar o trabalhador (BRASIL, 2022).

O engolfamento e soterramento são acidentes comuns em unidades de armazenagem de grãos, resultantes de asfixia mecânica causada pela pressão exercida pela massa de grãos sobre as vítimas. Se a pessoa é arrastada, ocorre engolfamento; se é soterrada, ocorre sufocamento (UFES, 2015). Assim, torna-se essencial entender a interação de objetos e operadores com os materiais granulares presentes nesses ambientes para aprimorar a segurança e a eficiência das operações.

Um estudo recente de LIU et al. (2021), investigou o comportamento vertical de objetos esféricos autoenergizados em meios granulares densos, realizando simulações tridimensionais com o Método dos Elementos Discretos (DEM) para avaliar as trajetórias de objetos vibratórios e/ou rotativos sob diferentes condições de movimentação. Até o momento, esse é o único estudo para a análise da locomoção de objetos vibratórios em meio granular, existindo lacunas no conhecimento quando se trata de movimentos em meios granulares por autovibração.

O presente trabalho propõe um estudo experimental sobre o movimento de esferas autovibratórias imersas em meio granular composto por grãos de soja. O objetivo é avaliar a influência da vibração e do volume das esferas na força necessária para removê-las do meio granular. Para isso, esferas de diferentes diâmetros foram equipadas com um motor vibratório central, gerando vibração horizontal. Os ensaios foram conduzidos sob duas condições: com o motor vibratório ativado e desativado, permitindo a análise das variações da força vertical em função da vibração. Este estudo visa contribuir para o entendimento das interações entre objetos vibratórios e materiais granulares, fornecendo diretrizes para a otimização de processos que envolvem deslocamento em meios granulares.

## 2. METODOLOGIA

O experimento investigou a variação na força de tração necessária para remover duas esferas de isopor com diâmetro distintos e um motor interno, de um meio granular composto por grãos de soja, com e sem vibração. Utilizou-se um recipiente cilíndrico de 49 cm de altura e 23 cm de diâmetro, preenchido com os grãos, um dinamômetro da marca Instrutemp modelo ITFG-5100, com uma capacidade de 980 N x 0,2 N. As esferas, com diâmetros de 80 mm e 40 mm e pesos 34,180 g e 29,595 g, respectivamente, foram equipadas com um motor vibratório no centro, gerando vibração horizontal. A Figura 01 apresenta a configuração da montagem, sendo 1 o guindaste, 2 dinamômetro e 3 o recipiente com a soja.



Figura 01: Modelo de teste.

As esferas foram imersas no meio granular e submetidas a ensaios sob duas condições: com o motor vibratório ativado e desativado, com três repetições para cada condição. Um cabo fino e leve conectou as esferas a um dinamômetro, que estava acoplado a um guindaste hidráulico. O guindaste, operado manualmente, deslocava as esferas em incrementos de 1,5 cm a cada movimento da alavanca. Dados de força e tempo de deslocamento foram coletados para gerar gráficos comparativos entre as condições testadas. O experimento foi gravado para uma análise visual das interações entre as esferas e o meio granular.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro gráfico Figura 02, expõe que a força média necessária para mover a esfera de 80 mm com vibração correspondeu a apenas 55,34% do exigido para mover a esfera sem vibração, evidenciando a eficiência do método.

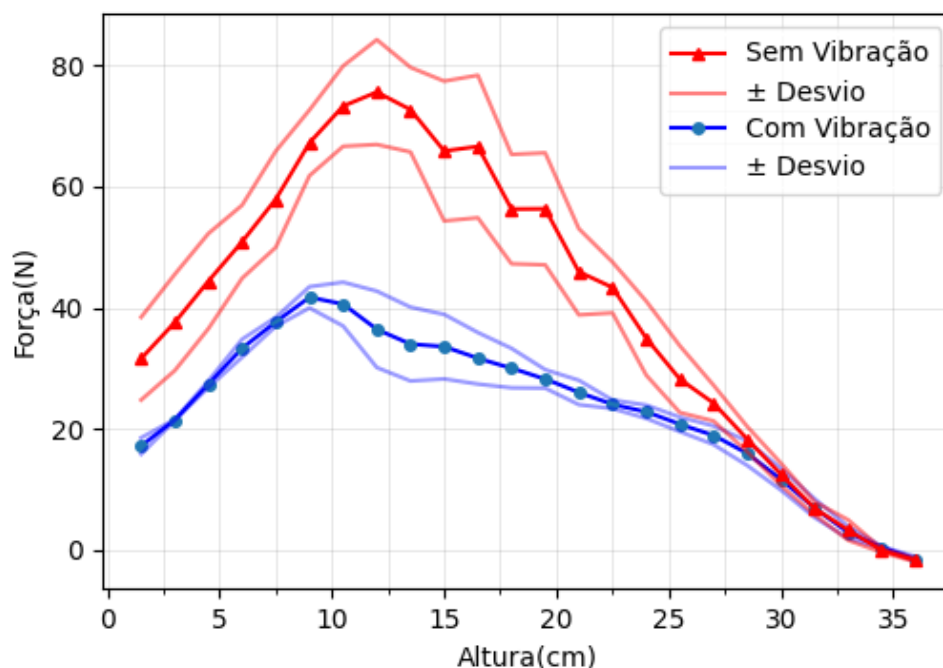


Figura 02: Esfera de 80mm com e sem vibração.

Observou-se também que, em uma profundidade específica (ponto 0), a força necessária é igual para ambos os estados das esferas, independentemente da vibração. Após esse ponto, as forças divergem, alcançando um ponto ideal (ponto 1), onde a vibração é mais eficiente. No entanto, além desse ponto ideal, a eficácia da vibração diminui gradualmente até se tornar semelhante ao movimento sem vibração.

Além disso, as forças médias para a esfera de 40 mm foram 26,88% menores com a vibração, conforme mostrado na Figura 03, sugerindo uma possível relação entre o volume da esfera, a frequência e amplitude de vibração.

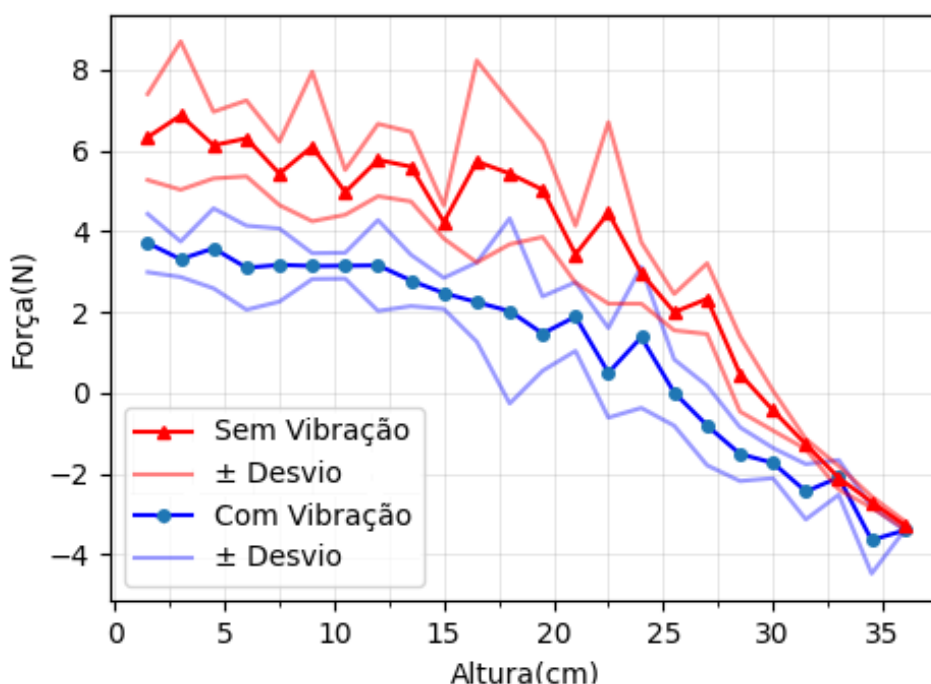


Figura 03: Esfera de 40mm com e sem vibração.

O comportamento gráfico também diferiu entre as esferas, evidenciando uma relação entre o tamanho da esfera, a profundidade e o diâmetro do recipiente.

#### 4. CONCLUSÕES

Os gráficos evidenciam que o método adotado não só reduz a força ou trabalho necessários para o deslocamento, mas também é dependente da profundidade e das condições específicas do meio granular. Entender a dinâmica desses fatores para operar no ponto ideal é fundamental para maximizar a eficiência do método no movimento em meios granulares.

Esses resultados fornecem informações valiosas para a aplicação de técnicas vibratórias em processos de movimentação e remoção de objetos e pessoas em meios granulares, contribuindo para o desenvolvimento de soluções mais seguras e eficientes em ambientes confinados como silos de armazenamento.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Leis, decretos, etc. Portaria Ministério do Trabalho e Emprego n. 202. NR-33 SEGURANÇA E SAÚDE NOS TRABALHOS EM ESPAÇOS CONFINADOS. **Diário Oficial da União**, Brasília, Seção I, 29 ago. 2012.

LIU, P.; RAN, X.; CHENG, Q.; TANG, W.; ZHOU, J.; BLUMENFELD, R. **Locomotion of Self-Excited Vibrating and Rotating Objects in Granular Environments**. Appl. Sci. 2021, 11, 2054. <https://doi.org/10.3390/app11052054>.

UFES. **Afogamento e Sufocamento em Grãos**. AGAIS, Espírito Santo 06 jul. 2015. Acessado em 03 out. 2024. Disponível em: [https://www.agais.com/manuscript/ag0205\\_afogamento.pdf](https://www.agais.com/manuscript/ag0205_afogamento.pdf)

WEBER, E.A. **Excelência em beneficiamento e armazenagem de grãos**. Rio Grande do Sul: Ed. Salles, 2005