



DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE DA SOJA A PARTIR DE SIMULAÇÕES COM O MÉTODO DE ELEMENTOS DISCRETOS¹

Joana Garcia Câmara², Marcia De Fatima Brondani Binelo ²³, Manuel Osório Binelo⁴

¹ Projeto de pesquisa desenvolvido na Unijuí.

² Estudante do curso de Engenharia Elétrica da UNIJUÍ. Bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica, financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - PIBIC/CNPq.

³ Professora orientadora, UNIJUÍ.

⁴ Professor do PPGMMC, UNIJUÍ.

INTRODUÇÃO

Os grãos de soja não possuem formato de uma esfera perfeita, tendo divergências entre seu comprimento, largura e espessura. Guedes *et al.* (2011), determinou em seu estudo que o formato dos grãos variam de acordo com o teor de água contido, que quando aumentado pode diminuir a circularidade e a esfericidade pois causa um alongamento no comprimento, largura e espessura. Já para Mentges (2019), o aumento do teor da água faz com que haja a diminuição linear da porosidade.

O Método de Elementos Discretos (MED) é frequentemente utilizado para a determinação do comportamento de materiais granulares, sendo descrito por Lorenzoni (2018) como uma técnica de modelagem capaz de simular o movimento dinâmico e as interações de cada partícula. Para replicar o comportamento de materiais granulares não-esféricos no MED, é possível replicá-los com *clumps* que são aglomerados de esferas em apenas um corpo, metodologia utilizada por Binelo *et al.* (2022) para recriação de grãos de soja com *clumps* de três esferas.

O trabalho tem como objetivo realizar simulações por meio do MED para replicar o formato de grãos de soja em simulações 3D, a fim de determinar a porosidade presente em uma amostra.

METODOLOGIA

A partir do YADE (Yet Another Dynamic Engine), *software* livre e compatível com a linguagem computacional *Python*, foi desenvolvido uma simulação que contém uma caixa de acrílico com aproximadamente 600 cm³ com a face superior aberta, face à qual está acoplada



um funil e, acima da abertura do funil, foi inserida uma nuvem de esferas, que posteriormente foi substituída por *clumps*. Nesta simulação também é necessária a definição das características físicas de cada um dos materiais utilizados, que estão determinadas na tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades físicas dos materiais.

	Soja	Acrílico
Densidade (kg/m ³)	1438 ^[a]	1180 ^[a]
Módulo de Young (Pa)	2,6e ^{6[a]}	2,65e ^{9[a]}
Coefficiente de Poisson	0,25 ^[a]	0,35 ^[a]
Ângulo de Fricção (Graus)	22,6 ^[b]	34 ^[b]
a - MENTGES (2019)	b - LORENZONI (2018)	

Para a determinação das medidas das esferas, foram utilizados os valores apresentados por Tavakoli *et al.* (2009) nos grãos de soja, com umidade de 6,92%, tem como medidas o comprimento, largura e espessura, sendo 8,25 mm, 6,48 mm e 5,94 mm, respectivamente. A partir da média destas medidas foi calculado o raio para a simulação com esferas que é igual a 3,41278 mm.

Os *clumps* tiveram suas medidas determinadas a partir de aproximações, em que o raio da esfera central foi obtido da média da metade das medidas de largura e espessura, o raio das esferas localizadas logo ao lado da central possui 95% do tamanho da central e as duas esferas das extremidades possuem 70% do tamanho da central. Já as posições de cada esfera nos *clumps* em relação a coordenada x do sistema cartesiano é de que a esfera central está no ponto zero, as esferas da extremidade tiveram suas posições determinadas pela subtração da metade do comprimento e do raio da própria esfera e as esferas ao lado da central possuem a posição com valor igual a metade da posição das esferas das extremidades.

Para o cálculo da porosidade é necessário o volume da caixa, o volume da esfera e a quantidade de esferas na amostra, por conseguinte, o volume do *clump* e a quantidade de *clumps* na amostra. O volume da caixa é obtido a partir do produto das medidas em x, y e z, já o volume da esfera é obtido por:

$$Vg_{esfera} = \frac{4\pi r^3}{3}$$

em que r é o raio.

Para o volume do *clump* pode ser determinado por:

$$Vg_{clump} = \frac{4\pi \cdot r_1 \cdot r_1 \cdot r_A}{3}$$

sendo r_1 o raio de esfera central e r_A a metade do comprimento grão.

O cálculo da porosidade unitária (ε) nos dois casos pode ser obtido por:

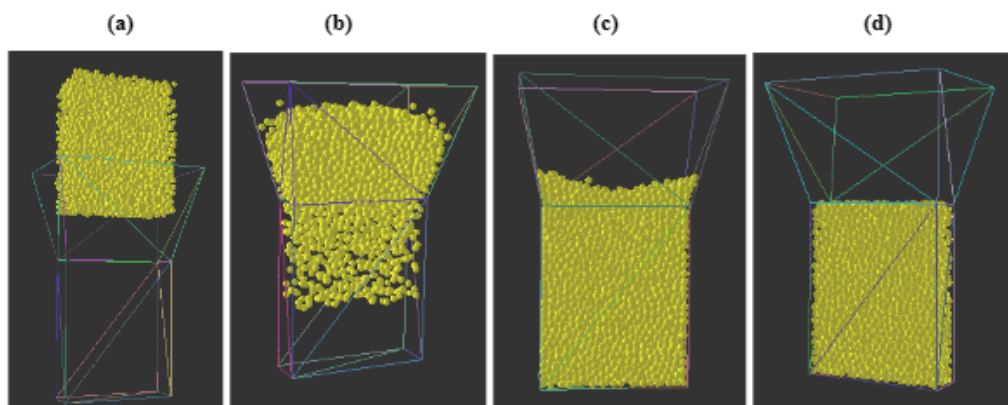
$$\varepsilon = 1 - \frac{Vg \cdot Q}{Vr}$$

sendo Vg o volume da esfera ou *clump*, Q a quantidade de esferas ou *clumps* obtido na própria simulação e Vr o volume da caixa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao iniciar a simulação são adicionados a nuvem de esferas juntamente com a caixa e o funil (figura 1 - a), as esferas começam cair (figura 1 - b) até que todas se acomodam dentro da caixa, as que ultrapassam o topo (figura 1 - c) são apagadas (figura 1 - d) e é, então, calculado a porosidade presente dentro da caixa.

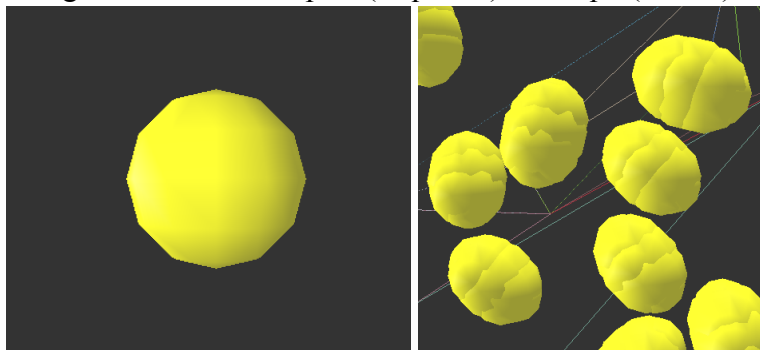
Figura 1 - Simulação dentro do YADE.



Fonte: Autores, 2023.

Após 20 simulações com esferas, foram realizadas 20 simulações com *clumps*, na figura 2 é possível ver a diferença da esfera para o *clump* e como o segundo método se aproxima mais da forma de um grão de soja.

Figura 2 - Esfera simples (esquerda) e *clumps* (direita).



Fonte: Autores, 2023.

Por fim, foi calculada a média, desvio padrão e coeficiente de variação da porosidade para as duas situações e dispostas na tabela 2.

Tabela 2 - Resultados dos testes.

	Porosidade	
	Esfera	Clump
Média	0,4625	0,4338
Desvio Padrão	0,0021	0,0030
Coeficiente de Variação	0,46%	0,69%

Fonte: Autores, 2023.

É possível afirmar que a média é uma ótima representação de ambos os casos visto que os coeficientes de variação são menores que 1%. Já a validade das simulações se dá ao comparar a outros estudos de porosidade da soja, pois Lorenzoni (2018, apud PARK *et al.*, 2007) afirma que a porosidade de uma amostra de soja com umidade de 7,4% é de 36,1%, vale ressaltar que as medidas utilizadas para desenvolvimento deste estudo tem divergências na umidade e por se tratar de simulações computacionais todas as partículas que representam os grãos têm exatamente as mesmas dimensões, o que não é possível de acontecer em condições reais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo apresentou resultados satisfatórios, conseguindo replicar de forma condizente as características e medidas dos grãos de soja, possibilitando a continuidade e



utilização dos mesmos parâmetros em trabalhos paralelos como o de um medidor de umidade da soja ou outros grãos baseado na variação da capacitância e frequência.

Palavras-chave: Clump. Umidade. Porosidade. Dimensões do grão.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da bolsa PIBIC/CNPq.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BINELO, Manuel O. *et al.* **Computational modelling of a grain spreader for use in silos.** Biosystems Engineering, v. 223, p. 29-40, 2022.

GUEDES, Manoel Adalberto *et al.* **CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE GRÃOS DE SOJA UTILIZANDO-SE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS.** Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v. 13, p. 279-294, set. 2011.

LORENZONI, Ricardo Klein. **MODELAGEM MATEMÁTICA E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO ESCOAMENTO DE GRÃOS EM SECADORES DE FLUXO MISTO UTILIZANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS.** 2018. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, UNIJUÍ, Ijuí, 2018.

MENTGES, Maiara. **MODELAGEM MATEMÁTICA E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO FLUXO DE GRÃOS COM PRESENÇA DE PARTÍCULAS DE IMPUREZAS EM SECADORES.** 2019. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, UNIJUÍ, Ijuí, 2019.

TAVAKOLI, H. *et al.* Moisture-Dependent Some Engineering Properties of Soybean Grains. **Agricultural Engineering International: The Cigr Ejournal**, Karaj, Iran, v. 9, fev. 2009.