

## PROPRIEDADES FÍSICAS E DE FLUXO DE GRÃOS DE CAFÉ PARA DIMENSIONAMENTO DE SILOS

RAFAEL TORRES DO NASCIMENTO<sup>1</sup> VALNEIDE RODRIGUES DA SILVA<sup>2</sup> HYGOR CESAR SOARES RODRIGUES<sup>3</sup>, ARIADNE MEIRA SOARES<sup>4</sup>, JOSÉ WALLACE BARBOSA DO NASCIMENTO<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Mestrando em Engenharia de Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, [cgtorresrafael@gmail.com](mailto:cgtorresrafael@gmail.com)

<sup>2</sup> Doutoranda em Engenharia de Processos, UFCG, Campina Grande-PB, [rval707@yahoo.com.br](mailto:rval707@yahoo.com.br)

<sup>3</sup> Mestrando em Engenharia de Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, [hygor2\\_soares@hotmail.com](mailto:hygor2_soares@hotmail.com)

<sup>4</sup> Doutoranda em Engenharia de Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, [ariadnesm\\_eng@hotmail.com](mailto:ariadnesm_eng@hotmail.com)

<sup>5,6</sup> Dr. Professor de Engenharia Agrícola, UFFG, Campina Grande, [wallace@deag.ufcg.edu.br](mailto:wallace@deag.ufcg.edu.br)

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC  
Palmas/TO – Brasil  
17 a 19 de setembro de 2019

**RESUMO:** Com objetivo de determinar as propriedades físicas e de fluxo de grãos de café inatura e torrado, que serão utilizadas como parâmetros para elaboração de projeto de silo, predição de equipamentos e processamento do tipo de fluxo. As propriedades determinadas foram: teor de umidade, densidade consolidada (g); ângulo de atrito interno ( $\phi$ ), efetivo ângulo de atrito interno (e) e ângulo cinemático de atrito entre os tipos de café e quatro tipos de materiais de parede ( $\phi_w$ ): acrílico, alumínio, aço liso, aço rugoso. O equipamento utilizado para as determinações foi o aparelho de cisalhamento direto por translação TGS 70-140 conhecido como “Jenike Shear Cell”. Para as condições em que foram realizados os ensaios, observou-se o teor de umidade (w) do café inatura (12%), café torrado (8%), a densidade dos grãos de café estudados variou de 0,59, a 0,26 Nm<sup>-3</sup>. Enquanto o ângulo de atrito interno e o efetivo ângulo de atrito interno apresentaram-se num intervalo de 30,6 a 41,2° e 33,2 a 41,7° respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** atrito, grãos de café, silos, cisalhamento

## PHYSICAL AND FLUX PROPERTIES OF COFFEE GRAINS FOR SILOS SIZING

**ABSTRACT:** In order to determine the physical and flow properties of inature and roasted coffee beans, they will be used as parameters for the elaboration of silo design, equipment prediction and flow type processing. The properties determined were: moisture content, consolidated density (g); angle of internal friction ( $\phi$ ), effective angle of internal friction ( $\phi_{e,i}$ ) and kinematic angle of friction between the types of coffee and four types of wall materials (jw): acrylic, aluminum, smooth steel, rough steel. The equipment used for the determinations was the translational shear apparatus TGS 70-140 known as the Jenike Shear Cell. The moisture content (w) of the inature coffee (12%), roasted coffee (8%) was observed, the density of the coffee beans studied ranged from 0.59 to 0, 26 Nm<sup>-3</sup>. While the internal friction angle and the effective internal friction angle were in the range of 30.6 to 41.2 and 33.2 to 41.7 respectively.

**KEY WORDS:** friction, coffee beans, silos, shear

## INTRODUÇÃO

O café tem sua origem na Etiópia por volta de 1500, quando foi introduzido na cultura mundial. No Brasil, tem-se relato que este produto surgiu apenas em 1727, quando foi trazido da Guiana Francesa. O café tem papel de grande importância para a economia mundial, devido ao fato de ter um alto valor comercial como produto primário, perdendo apenas para o petróleo. O café brasileiro sofreu várias quedas em seu valor, tendo sido estabilizando após a criação do CBC (Comitê Brasileiro

do Café), (TOLEDO, 1998). O café (*Coffea spp.*) é um produto com aromas e sabores distintos, e produz uma das bebidas mais difundidas no mundo, pela sensação de prazer proporcionada ao consumidor e por oferecer aos países produtores renda média anual significativa para a economia. No caso do Brasil, a renda média anual gira em torno de 6,7 bilhões de dólares. Além disso, o país responde por cerca de um terço da produção mundial de café, o que o coloca na posição de maior produtor mundial, além de ser também o maior exportador e segundo consumidor da bebida (MORAIS et al., 2008). BYTOF (2007) em seu trabalho afirma que a qualidade da bebida está associada a características qualitativas ou atributos de avaliação de qualidade tais como: bebida limpa, balanço, sabor, acidez, doçura, retrogosto, corpo e avaliação geral, que vão se expressar a partir do acúmulo de constituintes químicos no grão). Este acúmulo depende do tempo gasto no processo de formação dos frutos, podendo ser influenciado pelos fatores do ambiente e pela variedade da planta. A característica de produtos sólidos para armazenamento em silos teve seu início com a teoria de JENIKE (1964) e ampliou sua aplicação com o desenvolvimento da máquina de cisalhamento por translação. Os silos são estruturas difíceis de projetar com relação a fluxos contínuos e como estruturas econômicas e seguras, devidos aos produtos a serem armazenados terem propriedades diferentes daquelas dos líquidos (BARRETO, 1970). Para atender os requisitos anteriormente relatados torna-se importante que as cargas não sejam subestimadas nem superestimadas JENIKE (1979). Uma das grandes contribuições neste ramo de pesquisa foi dada por Jenike (1964) ao desenvolver o aparelho de cisalhamento direto por translação conhecido como Jenike Shear Tester para a determinação do ângulo de atrito interno, ângulo de atrito com a parede, densidade consolidada, função fluxo e índice de fluxo, além de ter definido os padrões de fluxo em silos, de massa e funil, importantíssimo em projeto de silos verticais. Schulze (2009) descreve que o Jenike ShearTester utiliza um conjunto de células para reproduzir o cisalhamento em amostras de produtos armazenáveis sendo possível, então, traçar círculos de tensão (círculos de Mohr) que representem graficamente o estado de tensão em uma porção do produto armazenado possibilitando a determinação das tensões de consolidação ( $\sigma_M$ ), tensões não confinadas de deslizamento ( $f_c$ ) e do ângulo de atrito interno ( $\phi$ ) de produtos armazenáveis (Lopes Neto et al., 2007). Juliano et al. (2006) em seu trabalho afirmam que as propriedades de fluxo são responsáveis por determinar o tipo de fluxo em silos, tremonhas e em transportadores, sendo possível maximizar operações como descargas, transilagem, dosagem e empacotamento e ainda evitar inseguranças quanto ao tipo de fluxo e obstruções de descarga. Após estudos comparativos das principais normas internacionais de silos existentes, Calil Júnior (1990) constatou que existem muitas diferenças entre elas e que um dos poucos pontos em comum é a utilização da equação de Janssen para o cálculo das pressões de carregamento para um produto particular a armazenar, sendo esta equação função de quatro variáveis, em que três são dependentes do produto: densidade ( $\gamma$ ), coeficiente de atrito do produto com o material da parede ( $\mu'$ ) e o coeficiente de pressão lateral (K); e uma variável dependente da geometria do silo, que é o raio hidráulico (R). Nota-se, portanto, a importância do conhecimento das propriedades dos produtos armazenados.

O objetivo deste trabalho foi determinar as seguintes propriedades de fluxo: teor de umidade, densidade consolidada ( $g$ ), ângulo de atrito ( $j$ ), efetivo ângulo de atrito interno, ângulo de atrito do café in natura e torrado com quatro tipos de materiais de parede de silo, que são: acrílico, alumínio, aço liso e aço rugoso.

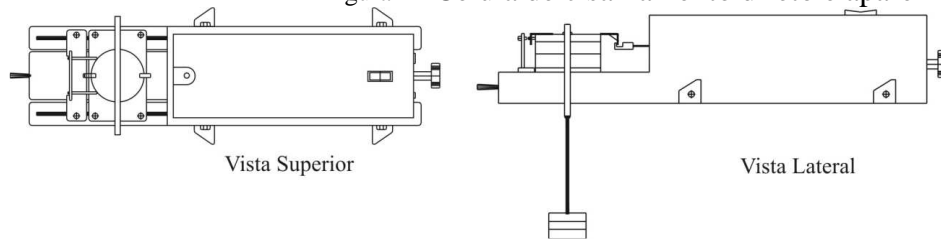
## **MATERIAL E MÉTODOS**

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Construções Rurais e Ambientais - LaCra, da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, da Universidade Federal de Campina Grande. A metodologia de ensaio utilizada para determinação das propriedades de fluxo do café in natura foi a proposta por MILANI (1992) e o método de ensaio da Federação Européia de Engenheiros Químicos, grupo de trabalho “Mecânica dos Produtos Armazenados” (1982). Utilizou-se a máquina de cisalhamento por translação TSG 70-140 desenvolvida especialmente para estas determinações (Figura 1). Sendo que foi utilizada as recomendações da norma AS3774(1996). Foi utilizado o anel de 93 mm de diâmetro e aplicou-se 15 twists (rotações) com níveis de carga indicado na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Cargas normais utilizadas no ensaio

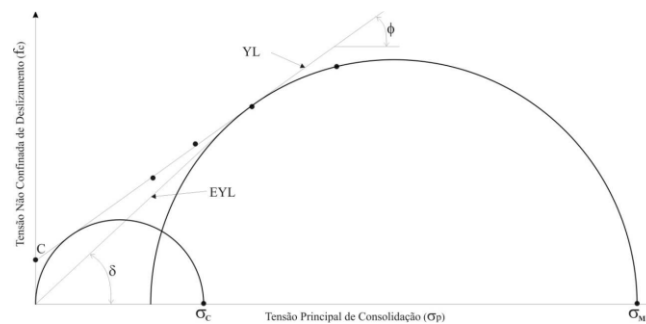
Cargas Normais		
Pré-cisalhamento (N)	Cisalhamento (N)	Atrito com a parede (N)
70	50 ; 35 ; 20	
50	35 ; 20 ; 10	50 ; 40 ; 30 ; 20
35	20 ; 10 ; 07	; 10 ; 4,4

Figura 1 - Célula de cisalhamento direto e aparelho (TSG 70-140).



Fonte Lopes Neto, 2009

De posse dos resultados e com auxílio de um programa de computação gráfica, foram traçados gráficos de tensão normal versus tensão de cisalhamento ( $\sigma, \tau$ ), para as cargas utilizadas, o que possibilitou traçar semicírculos de Mohr (Figura 3).



Fonte Lopes Neto, 2009

O ângulo de atrito com a parede ( $\phi_w$ ) foi determinado pelo mesmo equipamento descrito acima, com pequena mudança na base do anel inferior da célula de Jenike pelo tipo de material de parede (acrílico, alumínio, aço liso e aço rugoso), e também a carga adotada. Os materiais de parede analisados foram escolhidos por serem frequentemente empregados na construção de silos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados obtidos para os limites inferiores e superiores dos ângulos de atrito interno que foram  $30,6$  e  $31,7^\circ$  (grãos inatura),  $40,7$  e  $43,8^\circ$  (grãos torrados) respectivamente. O mesmo foi verificado para o efetivo ângulo de atrito interno conforme é observado na mesma tabela, inferior e superior. Na Tabela 3, são apresentados os ângulos de atrito dos grãos de café com alguns materiais de paredes de silo. Ocorreu um aumento nos ângulos entre os grãos de cafés avaliados, tanto para o inferior como para o superior. Estes resultados serão de grande utilidade para o dimensionamento de equipamentos de transporte, como também para o cálculo das ações nas paredes e fundo do silo, por que consta dos principais tipos de materiais possíveis e viáveis para se empregar na construção de silos. Todas as propriedades de fluxo foram apresentadas com limite superior e inferior, para que os projetistas possam utilizar o método dos estados limites para calcular as pressões atuantes no corpo e na tremonha do silo. Recomenda-se, para melhor esclarecimento do uso dos limites destas propriedades, a norma australiana AS3774(1996) e o trabalho de Calil Jr. et al. (1997). De acordo com Mohsenin (1986), as propriedades físicas dos produtos agrícolas variam de acordo

com a mudança do seu teor de umidade, e isto pode ser verificado na Tabela 1 para as propriedades físicas dos grãos de café inatura e torrado, pois se observa com os resultados obtidos e apresentados, que existe uma tendência de acréscimo dos valores dos ângulos de atrito interno com o aumento do teor de umidade.

Tabela 2 – Ângulos de atrito internos, efetivo atrito interno e densidade dos grãos de café inatura e torrado

	Ângulo de atrito interno ( $\varphi_i$ )		Efetivo ângulo de atrito interno ( $\varphi_{ei}$ )		Densidade ( $Nm^{-3}$ )	Teor de umidade
	$\varphi_i$	$\varphi_s$	$\varphi_{ei}$	$\varphi_{es}$		
Grãos	i	s	i	s	$\gamma$	w
Inatura	30,6	31,7	33,7	33,2	0,59	12
Torrado	40,7	43,8	36,4	41,2	0,26	8

Tabela 3 – Ângulo de atrito dos grãos de café inatura e torrado com diversos materiais de parede.

Grãos	Acrílico (°)		Alumínio (°)		Aço Liso (°)		Aço Rugoso (°)	
	i	s	i	s	i	s	i	s
Inatura	11,1	16,6	10,1	13,4	11,1	14,4	17,3	21,6
Torrado	8,7	12,4	9,9	13,3	11,1	15,8	20,6	22,9

## CONCLUSÃO

- 1) Os grãos de café é um produto granular sem com característica coesiva;
- 2) Verificou-se que para o grão de café inatura a densidade encontrada foi de  $0,59 N m^{-3}$  e para o café torrado foi de  $0,25 N m^{-3}$ , respectivamente.
- 3) Dos ângulos de atrito interno que foram  $30,6$  e  $31,7^\circ$  (grãos inatura),  $40,7$  e  $43,8^\circ$  (grãos torrados).
- 4) Com as propriedades de fluxo determinadas os profissionais podem calcular as pressões em silos e dimensionar máquinas de processamento.

## AGRADECIMENTOS

A Capes pela concessão de bolsa de pesquisa ao primeiro autor.

## REFERÊNCIAS

- Australian Standard. AS3774 (1996). Loads on bulk containers. Sydney
- Barreto, R. L.. Determinação das propriedades físicas do colorau e dos grãos do urucum (*Bixa orellana* L.) para elaboração de projetos de pressões e fluxo em silos. Campina Grande. Universidade Federal da Paraíba. 94p. 1970
- Bytof, G. et al. Transient occurrence of seed germination processes during coffee postharvest treatment. *Annals of Botany*, Rockville, v. 100, p. 61- 66, 2007.
- Calil Jr., C. Sobreprecoções en las paredes de los silos para almacenamiento de productos pulverulentos cohesivos. São Carlos-SP. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 184p.1984

CALIL Jr., C. NASCIMENTO, J. W.B.; Araújo, E. C. Silos metálicos multicelulares., São Carlos, SP,; Escola de Engenharia de São Paulo – Universidade de São Paulo. ed. 1.v.1.175p, 1997

Histórico e cultura do café. Disponível em: <[www.sindicafe-mg.com.br](http://www.sindicafe-mg.com.br)>. Acesso em: 15 fevereiro. 2019

Jenike, A. W. (1964). Storage and flow of silos. Bolletin on the University of Uthar. Bolletin n. 123 ofthe Utan Engineering Experimental Station. Salt Lake. Utah .

Jenike, A. W. & Johonson, J. (1979). Flow factor Tester and consolidating bench operating instructions. Jenike & Johonson, Inc, North Billerica, Massachusetts – USA, 40p.

Lopes Neto, J. P.; Nascimento, J. W. B. do; Silva, V R. da; Lopes, F. F. M. Propriedade de fluxo e característica de escoabilidade de rações avícolas para dimensionamento de silos. Revista Ciência e Agrotecnologia, v.31, p.851-859, 2007.

Milani, A. P. Determinação das propriedades de produtos armazenados para projetos de silos de pressões e fluxo em silos. São Carlos, 272. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (1992).

Mohsenin, N.N. Physical properties of plant and animal materials. New York: Gordon and Breach Pulishers. 1996. 841p

Morais, S. et al. Análise de compostos bioativos, grupos ácidos e da atividade antioxidante do café arábica (*Coffea arabica*) do cerrado e de seus grãos defeituosos (PVA) submetidos a diferentes torras. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 28, p. 198-207, 2008.

Juliano, P.; Muhunthan, B.; Cánovas, G. V. B. Flow and shear descriptors of preconsolidated food powders. Journal of Food Engineering, v.72, p.157-166, 2006.

Toledo, J. J. B. de. Classificação e degustação do café. 1ed. Brasília: Sebrae,1998. 91 p.

Saes, M. S. M. & Farina, E. M. M. Q. O Agribusiness do Café no Brasil, IPEA, Editora Milkbizz Ltda, São Paulo,226p. 1999

Schulze, D. Powders and bulk solids. Behavior, characterization, storage and flow. 1.ed. Berlin: Springer, 2009. 517p.