

PROPRIEDADES DE FLUXO DOS GRÃOS DE SOJA E EM PELETS PARA PROJETO DE SILOS

¹VALNEIDE RODRIGUES DA SILVA, RAFAEL TORRES DO NASCIMENTO², ARIADNE SOARES MEIRA³, HYGOR CESAR SOARES RODRIGUES⁴, JOSÉ WALLACE BARBOSA DO NASCIMENTO⁵, JOSE PINHEIRO LOPES NETO⁶

Mestrando em Engenharia de Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, cgtorresrafael@gmail.com

²Doutoranda em Engenharia de Processos, UFCG, Campina Grande-PB, rval707@yahoo.com.br

³Doutoranda em Engenharia de Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, ariadnesm_eng@hotmail.com

⁴Mestrando em Engenharia de Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, hygor2_soares@hotmail.com

⁵, ⁶Dr. Professor de Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande, wallace@deag.ufcg.edu.br, lopesneto@gmail.com

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

RESUMO: É um dos grãos mais produzido no mundo, com destaques para Estados Unidos e Brasil, os principais produtores. É importante fonte de proteínas para muitos povos, sejam eles países pobres, emergentes ou desenvolvidos. Para que ocorra o fluxo seguro de um produto armazenado, é importante que se conheça as propriedades físicas e de fluxo destes sólidos a fim de que os mecanismos e sistemas de descarga sejam projetados de forma adequada. Portanto este trabalho teve como objetivo determinar as propriedades de fluxo de soja na forma de grãos e em pelets e avaliar suas influências nas características geométricas de tremonha cônica. O procedimento adotado para a determinação das propriedades de fluxo foi o recomendado pela British Materials Handling Board utilizando aparelho de cisalhamento direto com base na célula de cisalhamento de Jenike e uma superfície de aço rugoso. Para determinar o índice de fluxo (ff_c) e o diâmetro mínimo do orifício de descarga (D_m), adotou-se a metodologia de Jenike. Para o ângulo de inclinação da tremonha cônica, recorreu-se a metodologia da British Materials Handling Board. Com base nos resultados obtidos, pode-se afirmar que tanto a soja em grãos quanto em pelets foram classificadas como de fluxo fácil e que os elevados valores de atrito com a parede para a soja em pelets resultaram em maiores dimensões de tremonha.

PALAVRAS-CHAVE: ângulo de atrito interno, dimensão das partículas, tremonhas

FLUX PROPERTIES OF SOYBEANS AND PELLETS FOR SILOS PROJECT

ABSTRACT: It is one of the most produced grains in the world, with highlights to United States and Brazil, the main producers. It is an important source of protein for many peoples, whether poor, emerging or developed countries. In order for safe flow of a stored product to occur, it is important to know the physical and flow properties of these solids in order to properly design the discharge mechanisms and systems. Therefore, the objective of this work was to determine the flow properties of soybeans in the form of grains and pellets and to evaluate their influence on the geometric characteristics of conical hopper. The procedure adopted for the determination of flow properties was as recommended by the British Materials Handling Board using direct shear apparatus based on the Jenike shear cell and a rough steel surface. To determine the flow index (ffc) and the minimum diameter of the discharge orifice (D_m), Jenike's methodology was adopted. . For the angle of

inclination of the conical hopper, the methodology of the British Materials Handling Board was used. Based on the results obtained, it can be stated that both soybeans in grains and in pellets were classified as easy-flow and that the high values of wall friction for soybeans in pellets resulted in larger hopper dimensions.

KEY WORDS: internal friction angle, particle size, hoppers

INTRODUÇÃO

A cultura da soja possui grande importância no cenário econômico mundial. É um dos grãos mais produzidos no mundo, com destaques para Estados Unidos e Brasil, os principais produtores. É importante fonte de proteínas para muitos povos, sejam eles países pobres, emergentes ou desenvolvidos. O fluxo de produtos sólidos pode ser descrito como o movimento relativo entre partículas de vizinhança ou entre partículas e superfície das paredes das estruturas de armazenagem e, com o surgimento de uma gama de novos produtos industriais armazenáveis é de extrema importância que o tipo de fluxo desenvolvido por esses produtos seja conhecido a fim de que se estabeleçam, de forma segura, as mais adequadas condições de armazenagem e manuseio. O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja na atualidade graças aos avanços alcançados com os programas de melhoramento genético, que tiveram início na década de 70, quando a Secretaria de Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul e o Instituto de Pesquisa Agropecuária do Sul (IPEAS) lançaram as primeiras cultivares brasileiras originadas de cruzamento em material introduzido principalmente do Sul dos Estados Unidos. Por possuir o maior potencial de expansão em área cultivada, o Brasil, dependendo da necessidade pode duplicar sua produção em um curto período de tempo assumindo assim o topo na produção mundial (Mandarino, 2017). A produção nacional localiza-se principalmente na região sul, central e centro oeste, responsável por mais de 80% de toda produção. Knowlton et al. (1994), citam que a determinação das propriedades de fluxo destes produtos é importante por proporcionar conhecimento adequado às operações industriais como descarregamento por tremonhas e silos, dosagem, transporte e empacotamento. Dentre os principais problemas funcionais encontrados nos processos que envolvem a armazenagem e manuseio de produtos industriais, destaca-se a formação de arcos coesivos capazes de restringir parcial ou completamente a descarga. Isto se deve ao fato de que produtos sólidos sob ação de esforços de compressão são capazes de aumentar consideravelmente a coesão entre suas partículas ocasionando a formação de um arco coesivo resistente o suficiente para suportar toda a carga do produto armazenado (Roberts, 1987). A caracterização do produto a armazenar consiste em determinar suas propriedades físicas e de fluxo. É o primeiro passo para o projeto de fluxo do produto e cálculo estrutural dos silos, devendo ser realizado em condições mais severas daquelas que podem ocorrer no silo (Freitas, 2001). Um item importante na caracterização dos produtos armazenáveis é a determinação da função fluxo. Benink (1989) cita que a função fluxo é uma medida da escoabilidade do produto e pode ser utilizada para obtenção da abertura mínima de descarga de um silo de forma a prevenir a formação de sistemas de obstrutores de fluxo. Em vista desses pressupostos, o presente trabalho teve como objetivos a determinação das propriedades de fluxo de soja em grãos e em pelets, classificação quanto à escoabilidade e a análise dos seus efeitos nas características geométricas de tremonhas cônicas.

MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente (LaCRA), da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEAg), no Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Para o experimento, optou-se por analisar grãos de soja e em pelets (soja que passou por processo de extração de óleos e ácidos graxos), Figuras 1a e 1b respectivamente, por serem produtos utilizados em fábricas de rações animais. O teor de umidade (w) foi encontrado pelo Método da Estufa a 105°C por 24h. O resultado final foi expresso em base úmida (w_b). A dimensão máxima das partículas (d_m) foi determinada pelo método de peneiramento de amostra de 500g. O procedimento adotado para a determinação das propriedades de fluxo foi o recomendado pela British Materials Handling Board (1985), utilizando o Aparelho de Cisalhamento de Jenike. Para a determinação do ângulo de atrito com a parede de aço

rugoso (\emptyset_w), foi adotada a mesma metodologia do cisalhamento do produto. Para a obtenção do Índice de fluxo (ff_c), utilizou-se o valor médio das razões entre σ_M e σ_c , classificando cada produto ensaiado de acordo com a Tabela 1. A determinação da Função fluxo do produto (FF) foi realizada plotando-se os pontos da σ_M versus σ_c obtidos a partir dos lugares geométricos de deslizamento (LGD), e através da interceptação de FF pelo Fator fluxo da tremonha (ff), determinou-se a tensão crítica mínima (σ_{cr}). Para a determinação do ângulo de inclinação da tremonha cônica com a horizontal (θ_m), adotaram-se as recomendações de cálculos da British Materials Handling Board (1985). O orifício de descarga (D_m) foi calculado como sendo o produto entre σ_{cr} para a parede de aço rugoso e $H(\theta)$ (valor em uma função do ângulo de inclinação da tremonha cônica) dividido pelo peso específico consolidado (γ).

Figura 1a. Soja em grãos



Figura 1b. Soja em pellets



Tabela 1. Escoabilidade quanto ao índice de fluxo (Jenike, 1964)

Tipos de fluxo	Sem fluxo	Muito coesivo	Coesivo	Fluxo fácil	Fluxo livre
Índice ff_c	$ff_c < 1$	$1 < ff_c < 2$	$2 < ff_c < 4$	$4 < ff_c < 10$	$ff_c > 10$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio dos ensaios de granulometria, observou-se que o maior valor de percentual retido acumulado para a soja em grãos foi de 84,4% na peneira de 4,76mm enquanto que para a soja em pelets foi de 32% para a peneira de malha 4mm. Conforme a classificação de Calil Junior (1984) para produtos sólidos, pode-se considerar a soja em pelets como um produto de característica granular. De acordo com os testes para a determinação do teor de umidade, constatou-se que tanto a soja em grãos quanto em pelets encontravam-se com 11% de umidade (base úmida). De acordo com a Tabela 2, destaca-se baixa variação para o índice de fluxo (ff_c) dos dois produtos analisados e que, conforme classificação proposta por Jenike (Tabela 1), o tipo de fluxo a ser desenvolvido tanto pela soja em grãos quanto em pelets será do tipo Fácil ($4 < ff_c < 10$). Em análise ao peso específico consolidado (γ), nota-se uma superioridade de 30 a 40% para a soja em grãos o que pode ser explicado pelo fato da soja em pelets ter passado por processos de cocção e extrusão perdendo, assim, grande parte de sua massa na forma de líquidos. No entanto, foi observado que tal diferença não refletiu em uma variação significativa dos valores de ângulo de atrito interno (\emptyset) e efetivo (δ) entre os dois produtos permanecendo os valores encontrados próximos aos registrados pela Deutsche Norm 1055 (1987) para grãos de milho e trigo. Já para o ângulo de atrito com a parede de aço rugoso (\emptyset_w), pode-se ressaltar uma variação de até 50% nos valores encontrados entre os dois tipos de soja. Provavelmente, a forma e dimensão irregulares das partículas da soja em pelets favoreceram o atrito com a superfície de parede analisada resultando em valores mais elevados que os da soja em grãos. Na Figura 2 são apresentadas as curvas representativas da função fluxo dos dois produtos analisados onde nota-se que apesar da soja em pelets apresentar uma curva mais próxima ao eixo da tensão de consolidação o que indicaria maior índice de fluxo (ff_c), a curva obtida para a soja na forma de grãos é a que apresenta uma disposição mais horizontal indicando menor tendência de agregação de partículas a medida que se eleva o valor de tensão de consolidação. Na Tabela 3 estão os resultados encontrados para a tremonha cônica onde se observa que a soja na forma de pelets necessita de uma inclinação mais elevada de tremonha (θ_m) para fluir que na forma de grãos o que é comprovado pelo maior valor de D_m (0,6m). Tal resultado

expressa a importância do ângulo de atrito com a parede de aço rugoso para o dimensionamento adequado de silos e tremonhas.

Figura 2 – Função fluxo de grãos de soja e em pellets

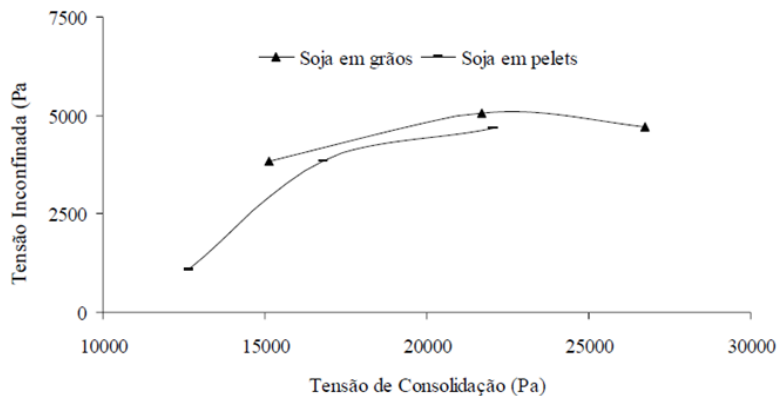


Tabela 2. Propriedades de fluxo da soja.

Soja	ff_c	γ (kN/m ³)		θ (°)		δ (°)		θ_w (°)	
		γ_i	γ_s	θ_i	θ_s	δ_i	δ_s	θ_{wi}	θ_{ws}
Grãos	4,6	7,1	7,4	29,4	37,0	34,0	42,7	11,6	13,7
Pellets	4,5	5,1	5,7	28,0	38,3	33,8	40,3	16,3	20,8

Os índices “i” e “s” indicam os limites inferior e superior, respectivamente.

Tabela 3. Características geométricas da tremonha cônica

Soja	θ_m (°)	σ_{cr} (kPa)	D_m (m)
Graos	55	1,5	0,4
Pellets	64	1,6	0,6

CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos, conclui-se que tanto a soja na forma de grãos quanto em pellets podem ser considerados como produtos de fluxo fácil, que a função fluxo da soja em grãos indica menor tendência de compactação e que o processo de peletização da soja afetou de forma significativa apenas os valores de atrito com a parede responsáveis estes por elevar as dimensões geométricas da tremonha cônica.

AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS

- Benink, E.J. Flow and stress analysis of cohesionless bulk materials in silos related to codes. 1989. 162p. Thesis - Universiteit Twente, Netherlands, 1989.
- British Materials Handling Board. BMHB. Draft code of practice for the design of silos, bins, bunkers and hoppers. Berkshire: 1985.
- Calil Junior, C. Sobrepressões em las paredes de los silos para almacenamiento de productos pulverulentos cohesivos. 1984. Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1984.
- Deutsche Norm. DIN 1055: Design loads for buildings: loads in silo bins. Berlin: 1987.
- Freitas, E. G. A. Estudo teórico e experimental das pressões em silos cilíndricos de baixa relação altura/diâmetro e fundo plano. São Carlos: USP, 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2001.
- Jenike, A.W. Storage and flow of silos. Salt Lake City. University of Utah. Bulletin 123. Engineering

Experiment Station (1964).

Knowton, et al. The importance of storage, transfer and collection. Chemical Engineering Progress, Elsevier Science, n.90, p.44-54, 1994.

Mandarino, J. Origem e história da soja no Brasil. 2017. Disponível em: Acesso em 13 de Junho. 201p

Roberts, A. W. Storage, flow and handling of bulk solids. Newcastle: Department of Mechanical Engineering, University of Newcastle, 1987. 612p.