

## **ESTUDO DAS PROPRIEDADES DE FÍSICAS E DE FLUXOS DE PÓS PARA PROJETO DE SILO**

**VALNEIDE RODRIGUES DA SILVA\*<sup>1</sup>; JOSÉ WALLACE BARBOSA DO  
NASCIMENTO<sup>2</sup>; JOSÉ PINHEIRO LOPES NETO<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Doutoranda em Engenharia de Processos, UFCG, Campina Grande-PB, Fone: (83) 33222437 –  
[rval707@yahoo.com.br](mailto:rval707@yahoo.com.br)

<sup>2</sup> Dr. Professor de Engenharia Agrícola, UFFG, Campina Grande – Fone: 2101-1482  
[wallace@deag.ufcg.edu.br](mailto:wallace@deag.ufcg.edu.br)

<sup>3</sup> Dr. Professor de Engenharia Agrícola UFCG, Campina Grande – Fone: (83) 2101 1490,  
[lopesneto@gmail.com](mailto:lopesneto@gmail.com)

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016  
29 de agosto a 2 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu, Brasil

**RESUMO:** A estocagem em silos torna-se imprescindível também, em termos econômicos, haja vista que permite um controle maior do escoamento da safra, além de abastecimento reduzindo, assim, a necessidade de importação e evitando as especulações de mercado. A determinação das propriedades de fluxo do material a ser armazenado de um projeto de silos é fundamental sendo que a etapa inicial para determinação do fluxo no silo, deve ser realizada nas condições mais severas daquelas que podem ocorrer no silo. Portanto o objetivo do trabalho foi determinar teor de umidade ( $w$ ), o atrito interno ( $\leftarrow i$ ) e o efetivo ângulo de atrito ( $\leftarrow e$ ) do achocolatado, do chocolate, do creme de arroz e do polvilho, com quatro materiais de parede ( $\leftarrow w$ ): acrílico, alumínio, aço liso e aço rugoso, que serão utilizadas como parâmetros para elaboração de projeto de silo, predição de equipamentos e processamento do tipo de fluxo. Foi utilizado o aparelho de cisalhamento direto por translação TGS 70-140 conhecido como "Jenike Shear Cell". Através dos dados obtidos experimentalmente, o ângulo de atrito interno variou para o achocolatado (29,1 e 35,5 $\rightarrow$ ), o chocolate (31,2 e 37,1 $\rightarrow$ ), o creme de arroz de 26,3 e 31,5 $\rightarrow$  e o polvilho (41,2° e 34,2°), para o efetivo ângulo de atrito interno variou de 38,3 e 44,2 $\rightarrow$ , para o polvilho o teor de umidade foi de 11,7% e a densidade consolidada de 0,68 Nm<sup>-3</sup>, respectivamente. Conclui-se que o achocolatado, o chocolate, o creme de arroz e o polvilho são produtos pulverulentos, classificados como fluxo de massa com característica coesiva.

**PALAVRAS-CHAVE:** Silos, pulverulentos, Jenike

### **STUDY OF PROPERTIES OF PHYSICAL AND FLOW POST FOR SILO PROJECT**

**ABSTRACT:** The storage in silos becomes indispensable also in economic terms, given that allows greater control of the flow of the crop, as well as supply, thereby reducing the need to import and avoiding market speculation. The determination of flow properties of the material to be stored in a silo design is critical that the initial step is to determine flow in the silo should be performed at more severe conditions than can occur in the silo. Therefore the objective of this study was to determine moisture content ( $w$ ), internal friction ( $\leftarrow i$ ) and the effective friction angle ( $\leftarrow e$ ) of chocolate, chocolate, cream of rice and flour, with four wall materials ( $\leftarrow w$ ): acrylic, aluminum, flat steel and rough steel, to be used as parameters for the preparation of silo design, prediction processing equipment and the type of flow. It used the direct shear apparatus for translation TGS 70-140 known as "Jenike Shear Cell." Through the experimentally obtained data, the internal friction angle varied for the chocolate (29.1 and 35,5 $\rightarrow$ ), chocolate (31.2 and 37,1 $\rightarrow$ ),

rice cream of 26.3 to 31, 5 $\rightarrow$  and flour (41,2 $^{\circ}$  and 34.2  $^{\circ}$ ) for the effective angle of internal friction ranged from 38.3 and 44,2 $\rightarrow$  to the Sprinkles moisture content was 11.7% and the density consolidated 0.68 Nm<sup>-3</sup>, respectively. It is concluded that chocolate milk, chocolate, cream and rice flour are powdery products, reported as mass flow at cohesive characteristics.

**KEYWORDS:** Silos, powdery, Jenike

## INTRODUÇÃO:

Os silos são usados extensamente na indústria visando à utilização eficiente de espaço, conservação do estoque e abastecimento do processo de fabricação; contudo, são estruturas complexas de se projetar haja que vista que frequentemente, apresentam problemas operacionais de vez que existem diferentes tipos de produtos que podem ser armazenados; esses impasses ocorrem nos sistemas nos quais as estruturas são projetadas sem conhecimento das características relevantes do fluxo do produto a ser armazenado. Seu uso deve atender as demandas referentes à maximização do espaço físico e versatilidade na armazenagem de um número cada vez maior de produtos sólidos industriais. Em geral, as indústrias têm problemas com seus produtos, sejam eles na forma granular ou pulverulenta, uma vez que os sólidos, ao contrário dos líquidos, transmitem tensões de cisalhamento em condições estáticas e, quando comprimidos, aumentam sua coesão, proporcionando interferências na descarga e, em consequência, paralisações parciais ou totais do processo industrial, o que pode acarretar sérios prejuízos econômicos (Lopes Neto et al., 2008). Para atender os requisitos anteriormente relatados torna-se importante que as cargas não sejam subestimadas nem superestimadas JENIKE (1979). O objetivo deste trabalho foi determinar as seguintes propriedades: teor de umidade ( $w$ ), densidade consolidada ( $g$ ), ângulo de atrito interno ( $\leftarrow_i$ ) e efetivo ângulo ( $\leftarrow_e$ ) de atrito do creme de arroz e do polvilho com quatro tipos de materiais de parede ( $\leftarrow_w$ ) de silo, que são: acrílico, alumínio, aço liso e aço rugoso.

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada realizada no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente - LaCra, da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais(CTRN), da Universidade Federal de Campina Grande(UFCG).O material utilizado foi adquirido nos supermercados da cidade. A metodologia de ensaio utilizada para determinação das propriedades dos grãos utilizados 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 (Figura 1) desenvolvida especialmente para estas determinações. Sendo, que foi utilizada as recomendações da norma AS3774(1996). A determinação dos teores de umidades foi realizada pelo método da estufa, onde se colocou uma amostra previamente pesada de cada produto em estufa a temperatura de  $105 \pm 2$   $^{\circ}$ C e, após por 24 h, a amostra foi retirada e novamente pesada e o resultado dado base úmida. O teste de cisalhamento constitui-se de duas fases. A primeira é a consolidação da amostra para a obtenção do fluxo de estado estável e do pré cisalhamento para a definição do lugar geométrico de deslizamento. Na segunda fase do teste, a determinação das tensões de cisalhamento é realizada com diferentes valores de tensões normais, menores que os utilizados na primeira fase, determinando as tensões de cisalhamento necessárias para o deslizamento do produto (Figura 1). Para a determinação das propriedades, após a fase de pré-cisalhamento e cisalhamento (Tabela 1).

**Tabela 1.** Níveis de carga normal utilizados nos ensaios

Pré-cisalhamento		Cisalhamento	
100	70	50	35
70	50	35	20
50	35	20	10

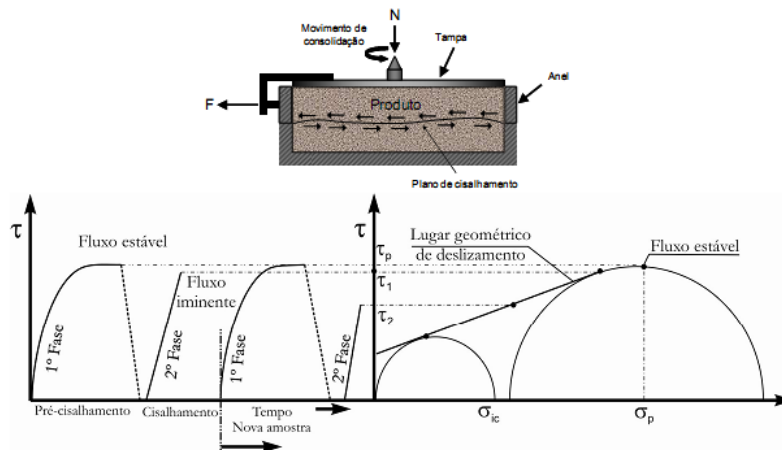


Figura 1 – Teste de cisalhamento

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Na Tabela 1 os resultados dos dados experimentais médios para os limites superior e inferior dos ângulos de atrito e do efetivo ângulo para o achocolatado, o chocolate, o creme de arroz e o polvilho, os teores de umidade foram: achocolatado foi 6%, o chocolate foi 10%, para o creme de arroz foi 11,7% e polvilho foi 14,0% e a densidade consolidada para achocolatado ( $1,02 \text{ Nm}^{-3}$ ), o chocolate ( $0,65 \text{ Nm}^{-3}$ ), o creme de arroz ( $0,87 \text{ Nm}^{-3}$ ) e polvilho ( $0,68 \text{ Nm}^{-3}$ ). Avaliando os ângulos de atrito interno ( $\hat{\phi}_{ie}$ ) e efetivo ângulo de atrito interno ( $\hat{\phi}_{is}$ ), observar-se que correu um aumento nos ângulos entre os materiais (achocolatado, chocolate, creme de arroz e polvilho), tanto para o inferior como para o superior. Observar-se também que o efetivo ângulo de atrito interno foi maior que o do creme de arroz. 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. Na Tabela 2 são apresentados os ângulos de atrito do achocolatado, do chocolate, do creme de arroz e polvilho estudado com os materiais de parede sendo que os maiores valores encontrados para o acrílico foi  $39,4^\circ$  e para o aço rugoso  $30,7^\circ$  e para o polvilho o acrílico  $37,4^\circ$  e o aço rugoso  $31,7^\circ$  e para o aço liso do creme de arroz o angulo superior foi de  $39,4^\circ$  e para o chocolate o acrílico  $32,8^\circ$  e o aço rugoso  $34,7^\circ$  e o aço lido foi de  $34,9^\circ$ . Para 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 2 para os ângulos obtidos nos ensaios com os vários materiais, pois observar-se 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 1 – Ângulo de atrito interno e Efetivo Ângulo de atrito interno, densidade consolidada e teor de umidade do creme de arroz e o polvilho

	Ângulo de atrito interno ( $\hat{\phi}_{ie}$ )		Efetivo ângulo de atrito interno ( $\hat{\phi}_{is}$ )		Densidade ( $\text{Nm}^{-3}$ )	Teor de Umidade (%)
	superior	inferior	superior	inferior		
Achocolatado	29,1	35,5	36,1	43,9	1,02	6
Chocolate	31,2	37,1	19,5	28,9	0,65	10
Creme de arroz	31,5°	26,3°	44,2°	38,3	0,87	14,0
Polvilho	41,2°	34,2°	41,6°	48,5°	0,68	11,7

i – inferior      s – superior

Tabela 2 – Ângulo de atrito do achocolatado, chocolate, creme de arroz e polvilho estudados com diversos materiais de parede.

Produto	Acrílico		Alumínio		Aço liso		Aço rugoso	
	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.
Achocolatado	10,3°	12,7°	15,2°	21,3°	10,4°	12,5°	24,2°	27,6°
Chocolate	19,8°	32,8°	28,7°	32,7°	31,7°	34,9°	27,3°	34,7°
Creme de arroz	17,7°	39,4°	17,0°	24,1°	16,4°	39,0°	27,8°	30,7°
Polvilho	18,7°	37,4°	18,0°	25,1°	17,4°	29,0°	28,8°	31,7°

i – inferior      s – superior

### CONCLUSÃO:

O creme de arroz e o polvilho são produtos pulverulentos, classificados como fluxo de massa com característica coesiva. O polvilho teve o efetivo ângulo de atrito inferior 48,5°, enquanto que o creme de arroz foi de 44,24° para superior. Para os chocolates estudados observou-se que as densidades variaram de 0,65 a 10,2 e para os materiais de paredes estudados, os maiores valores encontrados foi para o aço rugoso. Para os materiais de parede estudados, os maiores valores encontrados (que possuem maiores resistência no que diz respeito ao fluxo) foram para o acrílico 39,4° e o aço liso 39,0°. Ocorreu uma variação no ângulo de atrito com as paredes no chocolate de 19,8° (acrílico) a 34,9° (aço liso) e o menor para o achocolatado 10,3° (acrílico) e o maior 27,6° (aço rugoso)

### REFERÊNCIAS

- AUSTRALIAN STRANDARD. Loads on bulk containers. Sydney. AS3774 - 1996
- CALIL Jr., C. NASCIMENTO, J. W.B.; Araújo, E. C. Silos metálicos multicelulares. ed. 1, São Carlos, SP,; Escola de Engenharia de São Paulo – Universidade de São Paulo. 175p, v.1. 1997
- JENIKE, A. W. & JOHONSON, J. Flow factor Tester and consolidating bench operating instructions. Jenike & Johonson, Inc, North Billerica, Massachusetts – USA, 40p. 1979.
- 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.
- MOHSEIN, N.N. Physical properties of plant and animal materials. New York: Gordon and Breach Publishers. 841p. 1996.
- LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B.; CALIL JUNIOR, C. Análise estrutural de silos metálicos prismáticos. Ciência e Agrotecnologia, v.32, n.4, p. 1252-1258, 2008.
- ROBERTS, A.W. 1