

EFEITO DO TEOR DE UMIDADE NO ÂNGULO DE ATRITO INTERNO DE GRÃOS DE CAFÉ

Fabício S. da SILVA¹, E-mail: fabricio@unemat.br; Paulo César CORRÊA²; Carlito CALIL JÚNIOR³; Francisco Carlos GOMES⁴

¹Universidade do Estado de Mato Grosso, Barra do Bugres, MT; ²Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG; ³ Universidade de São Paulo, São Carlos, SP; ⁴Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Resumo:

A determinação do ângulo de atrito interno e seus limites superior e inferior é de fundamental importância para fins de granelização, ou seja, no dimensionamento de equipamentos e silos, propriedade está indispensável a um projeto estrutural econômico e seguro, visando sempre à manutenção da qualidade do produto ao longo do período de armazenamento. O presente trabalho, objetivou determinar e avaliar o comportamento do ângulo de atrito interno dos grãos de café com pergaminho de diferentes variedades catuaí vermelho e conillon, em função de cinco níveis de teor de umidade. Com os resultados obtidos, pode-se concluir que para grãos de café com pergaminho, de ambas as variedades, tanto o ângulo de atrito interno médio como seus limites superior e inferior, aumentam linearmente com o incremento do teor de umidade dentro da faixa de umidade analisada.

Palavras-chave: café, armazenamento, ângulo de atrito interno, umidade, Jenike.

EFFECT OF THE MOISTURE CONTENT IN THE ANGLE OF INTERNAL ATTRITION OF COFFEE GRAINS

Abstract:

The determination of the angle of internal attrition and its limits upper/lower is of basic importance for granelization ends, or either, in the sizing of equipment and silos, property it is indispensable to a economic and safe structural project, aiming at always to the maintenance of the product quality to the long one of the period of storage. The present work, objectified to determine and to evaluate the behavior of the angle of internal attrition of the grains of coffee with parchment of different varieties "catuaí vermelho" and "conillon", in function of five moisture content levels. With the gotten results, it can be concluded that for grains of coffee with parchment, of both the varieties, as much the angle of average internal attrition as its limits upper/lower, increase linearly with the increment of the moisture content inside of the band of analyzed moisture.

Key words: coffee, storage, angle of internal attrition, moisture, Jenike.

Introdução

De acordo com MOHSEIN (1986), as propriedades físicas dos produtos agrícolas variam de acordo com a mudança do seu teor de umidade, sendo este também responsável pela manutenção da qualidade do café. A qualidade do produto é fator preponderante para o êxito no processo produtivo. No caso do café, os procedimentos adequados de colheita, bem como de pós-colheita, tais como preparo, secagem e armazenamento, são determinantes para a manutenção da qualidade (OCTAVIANI, 2000).

Inúmeros trabalhos ao longo dos anos, comprovaram que o armazenamento do café a granel é viável, tanto técnica como economicamente e superior ao tradicional, em armazéns, onde o produto é estocado em sacos de juta. Com o objetivo de preservar as características originais do produto durante o armazenamento, o café deve ser estocado em coco ou com pergaminho em detrimento do beneficiado, em virtude da casca, do pergaminho e das películas do café funcionarem como proteção contra variações ambientais, tornando-o menos sujeito à deterioração e, conseqüentemente, aumentando o período de conservação, sendo recomendado o beneficiamento do café à medida que o mesmo for sendo comercializado (VIEIRA, 2001; GODINHO et al., 2000; THOMAZIELLO et al., 2000; CHALFOUN e CARVALHO, 1997; MATIELLO, 1991).

Uma das mais importantes propriedades físicas de fluxo dos produtos armazenados, para fins de dimensionamento de equipamentos de transporte, processamento e armazenamento a granel em silos é o ângulo de atrito interno (MOHSEIN, 1986; GAYLORD e GAYLORD, 1984; REIMBERT e REIMBERT, 1976). De acordo com GOMES (2001), o ângulo de atrito interno difere do ângulo de repouso em função das pressões impostas, referentes às condições internas da massa de grãos, dependendo do nível de pressões médias aplicadas a todos os grãos, visto que um produto armazenado em um silo é solicitado por pressões que causam consolidação e fornecem resistência. O aumento das pressões de confinamento irá tornar a massa de grãos mais densa com menor índice de vazios, aumentando assim, o ângulo de atrito interno, sendo este normalmente maior que o ângulo de repouso.

Para o ângulo de atrito interno a determinação dos limites superior e inferior são importantes para que os projetistas possam utilizar o método dos estados limites com o objetivo da realização de projetos estruturais mais seguros e

econômicos, visto que os limites superiores são tomados para o projeto de fluxo e os inferiores para o projeto de ações (pressões), de acordo com CALIL JÚNIOR et al. (1997) e NASCIMENTO (1996).

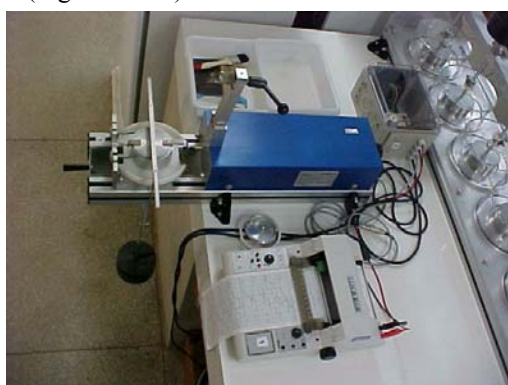
O presente trabalho, objetivou determinar e avaliar o comportamento do ângulo de atrito interno dos grãos de café com pergaminho de diferentes espécies em função do teor de umidade, para fins de granelização, propriedade está indispensável a um projeto estrutural econômico e seguro de equipamentos e silos, visando sempre à manutenção da qualidade do produto.

Material e Métodos

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Pré-Processamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) e no Laboratório de Propriedades Físicas e Avaliação de Qualidade de Produtos Agrícolas do Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (CENTREINAR), ambos localizados no Campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG.

Foram utilizados grãos de café com pergaminho, das espécies *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora*, variedades Catuaí Vermelho e Conillon, respectivamente, provenientes do município de Viçosa, MG. Foram utilizados grãos com os seguintes teores de umidade: 13,10; 15,53; 18,09; 20,66 e 25,91 % b.s. e 11,98; 14,82; 17,72; 20,11 e 22,82 % b.s., para as variedades conillon e catuaí vermelho, respectivamente, os quais foram determinados pelo método da estufa ($105 \pm 3^\circ\text{C}$) em um período de 24 horas (BRASIL, 1992).

A determinação da propriedade física ângulo de atrito interno foi feita utilizando-se um equipamento de cisalhamento direto com movimento de translação modelo TSG 70-140, construído com base no aparelho de cisalhamento de Jenike (Figuras 1 e 2).



Figuras 1 e 2. Aparelho de cisalhamento de Jenike, vista superior(1) e lateral (2).

O aparelho de cisalhamento de Jenike é equipado com: uma célula de cisalhamento de forma circular, a qual é colocada sobre a base da máquina; um pendural com pesos, para aplicação de uma carga vertical, por gravidade, na célula; uma haste de carga acionada eletro-mecanicamente, a qual promove a ação de cisalhamento e move-se horizontalmente a uma velocidade constante entre 1 e 3 $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$; uma célula de carga para medir a força de cisalhamento; e um registrador para indicação dessa força. A metodologia empregada nos testes foi à proposta por MILANI (1993).

As análises de variância e regressão foram realizadas empregando-se o programa computacional Sistema de Análise Estatística e Genética (SAEG). Foram estimados os valores dos parâmetros dos modelos em função das variáveis independentes, ou seja, teor de umidade e tempo de consolidação.

Para relacionar o parâmetro a ser estudado, optou-se pelo modelo estatístico apresentado a seguir:

$$A_i = \beta_0 + \beta_n U_i + E_{ij}$$

em que

- A_i = Valores observados do ângulo de atrito interno, para o modelo em estudo, no teor de umidade i ;
- β_0 = constante da regressão;
- β_n = coeficientes da regressão, $n = 1$ e 2 ;
- U_i = teor de umidade para os níveis 11, 13, 15, 17 e 20 % b.u.; e
- E_{ij} = erro aleatório.

O grau de ajuste do modelo aos dados experimentais foi baseado na magnitude dos coeficientes de determinação ajustado e variação, na significância dos coeficientes de regressão, na verificação do ajuste do modelo estatístico aos dados experimentais e no erro médio relativo, conforme descrito a seguir:

$$P = \frac{1}{n} \cdot \sum \left(\frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \right)$$

em que

- P = erro médio relativo;
- n = número de observações;

Y = valor observado experimentalmente; e
 \hat{Y} = valor estimado pelo modelo.

Resultados e Discussão

Os coeficientes das equações lineares ajustadas, acompanhados dos respectivos coeficientes de determinação (R^2) e erro médio relativo (P), encontram-se na Tabela 1.

QUADRO 11- Coeficientes das equações ajustadas para se calcular o ângulo de atrito médio (Aix), superior (Ais) e inferior (Aii) dos grãos de café com pergaminho das variedades catuaí vermelho e conillon, em função do teor de umidade do produto (U), com os respectivos coeficientes de determinação (R^2) e erro médio relativo (P)

Ângulo de Atrito Inteno	Coeficientes de Regressão		R^2	P
	β_0	β_1		
Catuaí Vermelho				
Superior (Ais)	35,628	$30,62 \times 10^{-2} *$	0,8591	0,0097
Médio (Aix)	32,120	$32,00 \times 10^{-2} *$	0,8807	0,0111
Inferior (Aii)	31,072	$25,56 \times 10^{-2} *$	0,9824	0,0028
Conillon				
Superior (Ais)	31,727	$15,35 \times 10^{-2} *$	0,9195	0,0054
Médio (Aix)	30,159	$17,82 \times 10^{-2} *$	0,8774	0,0084
Inferior (Aii)	28,950	$17,79 \times 10^{-2} *$	0,9532	0,0049

* Significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste T.

Nas Figuras 1 e 2 são apresentadas as médias dos valores experimentais e estimados dos ângulos de atrito interno: médio (Aix), inferior (Aii) e superior (Ais) dos grãos de café, das variedades catuaí vermelho e conillon, em função do teor de umidade do produto.

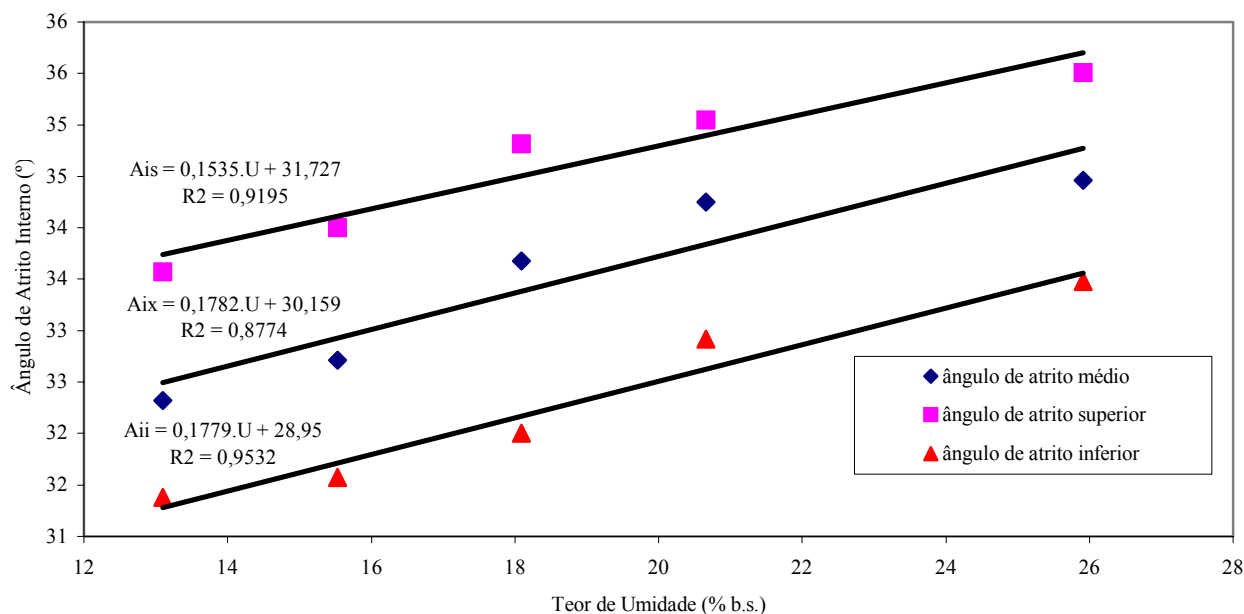


FIGURA 1- Valores experimentais e estimados dos ângulos de atrito interno da variedade conillon, em função do teor de umidade do produto (U).

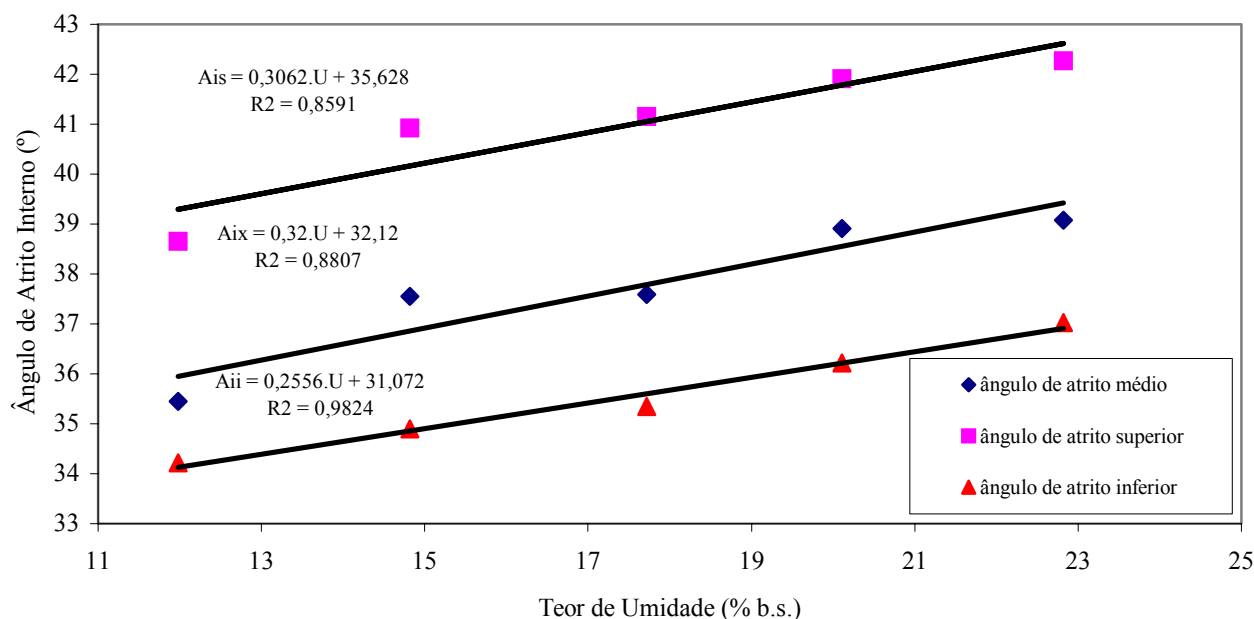


FIGURA 2- Valores experimentais e estimados dos ângulos de atrito interno da variedade catuaí vermelho, em função do teor de umidade do produto (U).

Observa-se na Tabela 1 e nas Figuras 1 e 2 a existência de uma correlação linear positiva entre os valores médios, inferior e superior do ângulo atrito interno para ambas variedades de café estudadas e o teor de umidade, ou seja, a redução dos valores de umidade está associado à diminuição da propriedade física do produto. Isto significa que esta característica física aumenta linearmente com o aumento do teor de umidade,

Este aumento do ângulo de ambas variedades com o incremento do teor de umidade deve-se, possivelmente, ao fato de que produtos com maior teor de umidade apresentam uma maior força de coesão entre as partículas ou componentes individuais que compõem a massa, tendendo a agregar estas partículas e, conseqüentemente, aumentando o atrito interno.

O modelo adotado para representar o comportamento foi significativo devido ao baixo erro relativo apresentado, assim como, apresentar um elevado coeficiente de determinação para ambas as variedades e ângulo de atrito médio, inferior e superior.

Conclusões

Com os resultados obtidos pode-se concluir que: o ângulo de atrito interno, tanto médio como os limites superior e inferior dos grãos de café com pergaminho, de ambas as variedades aumentaram linearmente com o incremento do teor de umidade dentro da faixa de umidade analisada.

Agradecimentos

A equipe executora do trabalho agradece ao CNPq e FINEP/RECOPE pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: DNDV/CLAV, 1992. 365p.
- CALIL JÚNIOR, C. ARAÚJO, E.C.; NASCIMENTO, J.W. **Silos Metálicos Multicelulares**. São Carlos, USP, 1997, 178p.
- CHALFOUN, S.M.; CARVALHO, V.L. Efeito de microorganismos na qualidade da bebida do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.18, n.187, p.21-26, 1997.
- GAYLORD, E.D.; GAYLORD, C.N. **Desing of steel bins for storage of bulk solids**. New Jersey: Pretince-Hall, 1984. 359p.
- GODINHO, R.P.; VILLELA, E.R.; OLIVEIRA, G.A.; CHAGAS, S.J.R. Variações na cor e na composição química do café (*Coffea arabica* L.) armazenado em coco e beneficiado. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.especial, n.1, p.38-43, 2000.
- GOMES, F.C. **Estruturas de armazenamento – Avanços tecnológicos na construção**. Lavras, UFLA, 2001. 70p.

HAAKER, G.F.J.C.R. Progress in measuring bulk solid properties. **In:** Chisa Conferation 115. Prague, 1990. 10p.

MATIELLO, J.B. **O café do cultivo ao consumo**. São Paulo: Editora Globo S.A., 1991. 320p.

MILANI, A.P. **Determinação das propriedades de produtos armazenados para projetos de pressões e fluxo em silos**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1993. 272p. (Tese de Doutorado)

MOHSEIN, N.N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986. 841p.

NASCIMENTO, J.W.B. **Estudo dos silos metálicos prismáticos para fabrica de rações**. São Carlos: EESC/USP, 1996. 152p. (Tese de Doutorado).

OCTAVIANI, J.C. **Secagem de café cereja descascado desmucilado com utilização de gás liqüefeito de petróleo**. Campinas: UNICAMP, 2000. 101p. (Tese de Mestrado).

REIMBERT, M.L.; REIMBERT, A.M. **Silos: Theory and Practice**. London: Olympia Translation Service, 1976. 252p.

THOMAZIELLO, R.A.; FAZOULI, L.C.; PEZZADANE, J.R.M.; FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C. **Café arábica: cultura e técnicas de produção**. Campinas, Instituto Agrônômico, 2000. 82p. (Boletim Técnico 187)

VIEIRA, G. Análise da viabilidade técnica e econômica de armazenagem, a granel, de café beneficiado em silo metálico modular. Viçosa: UFV, 2001. 136p. (Tese de Doutorado).