

DETERMINAÇÃO DO ÂNGULO DE REPOUSO DE FERTILIZANTES

CARDOSO, Matheus Lemos¹; VASCONCELOS, Márcia B. Silva²; REIS, Ângelo Vieira³

¹Acadêmico FEA-UFPEL, Bolsista CNPq PIBIC, DER-FAEM-UFPEL;
matheuslemoscardoso@hotmail.com

²Eng^a Agrícola, mestranda PPGSPAF-FAEM-UFPEL; marciavasconcelos@gmail.com

³Prof. Dr. DER-FAEM-UFPEL; Orientador; Pesquisador CNPq
Campus Universitário – Caixa Postal 354 – CEP 96010-900, Pelotas - RS.

1 INTRODUÇÃO

O ângulo de repouso pode ser medido pelo amontoado de produto granular ou pulverulento formado pelo seu basculamento sobre uma superfície plana. O fertilizante somente estará em equilíbrio se o produto situado na superfície estiver em equilíbrio estático. No entanto, o ângulo formado pela superfície livre com o plano horizontal é denominado de ângulo de repouso do fertilizante (Silva, 2006).

Segundo Gomes (2001), o ângulo de repouso diferencia-se do ângulo de atrito interno em função das pressões impostas, enquanto Gaylord & Gaylord (1984) mencionam que trabalhando com produtos granulares, o ângulo de repouso equivale ao ângulo de atrito interno.

É importante o conhecimento do ângulo de repouso do material para o estudo do dimensionamento de dosadores de fertilizantes sólidos, principalmente relacionados ao fluxo, pois quanto maior o ângulo de repouso maior a chance de entupir o sistema de dosagem.

O objetivo deste trabalho foi determinar o ângulo de repouso dos fertilizantes calcário, NPK, organo mineral (*bola preta*) e pó de rocha com a finalidade de realizar estudos para o desenvolvimento de um dosador de fertilizante rotativo de palhetas destinado à agricultura familiar.

2 METODOLOGIA

As determinações dos ângulos de repouso dos fertilizantes foram realizadas no laboratório de Máquinas Agrícolas do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, localizada no Campus Capão do Leão da Universidade Federal de Pelotas.

Para a realização do presente trabalho foram utilizados os seguintes fertilizantes: calcário, NPK, organo mineral e pó de pedra. A análise de umidade dos fertilizantes foi feita segundo o procedimento descrito por Villibor (2008), ou seja, foram retiradas três amostras de cada fertilizante para determinação de umidade, essas amostras foram colocadas em recipientes, e logo após foram pesadas e levadas à estufa, onde ficaram por 24 horas a 50°C, depois foram levadas ao dessecador para resfriar sem obter umidade. Quando as amostras já estavam secas e frias foram pesadas numa balança de precisão e depois os recipientes foram lavados, secos e pesados para obter a massa de cada um a fim de calcular a massa seca (Ms) e massa úmida (Mu) para determinar a umidade dos fertilizante através da seguinte equação:

$$U_g = \frac{M_u - M_s}{M_s} \cdot 100$$

No entanto, foram determinados valores médios da massa seca (Ms) e massa úmida (Mu) para cada fertilizante, os valores médios de Ms e Mu foram utilizados para determinar os valores médios de umidade em base seca dos fertilizantes utilizados no estudo.

Na determinação do ângulo de repouso do fertilizante foi utilizada uma plataforma retangular com dimensões conhecidas e um funil (**Figura 1**).



Figura 1. Plataforma e funil utilizados na determinação do ângulo de repouso

Para determinar o ângulo de repouso, o fertilizante foi derramado com velocidade constante formando um amontoado suficiente para definir o ângulo de repouso que foi determinado por dois métodos. O primeiro método de determinação do ângulo de repouso consiste na utilização de equações trigonométricas, expressas abaixo:

$$\text{TAN} = \frac{\text{C.O}}{\text{C.A}}$$

$$\alpha = \text{TAN}^{-1}$$

Onde:

: ângulo de repouso (graus);

C.O: cateto oposto (centímetros);

C.A: cateto adjacente (centímetros).

Para aplicação da equação, o C.O é a altura do amontoado e o C.A é a base. No entanto foram calculadas as tangentes e arco tangente para obter o ângulo de repouso de cada fertilizante a partir de medições diretas no aparelho, realizadas com uma régua de aço com graduação em milímetros. Esses dados de altura e base dos amontoados utilizados nas equações foram valores médios para cada fertilizante, obtidos pela repetição do ensaio, que para nosso estudo foram realizadas duas repetições por fertilizante.

O segundo método de determinação do ângulo de repouso consiste na análise de imagens (fotografias) do ensaio através de um *software* de CAD. Primeiramente as imagens tiradas perpendicularmente ao vidro do dispositivo foram colocadas no *software* e nelas foram feitas retas que representam a inclinação e a base do amontoado, a partir dessas retas utilizou-se a ferramenta *cota angular*, com a qual o *software* determinou o ângulo de repouso de cada fertilizante. Foram analisados dois ensaios e obtido o valor médio do ângulo de repouso para cada fertilizante.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na **Tabela 1** estão representados os dados da determinação das umidades médias dos fertilizantes, tais quais, a massa úmida média e a massa seca média expressas em gramas e a umidade em base seca média expressa em porcentagem.

Tabela 1. Dados obtidos pela determinação da umidade média

Fertilizante	Massa úmida média (g)	Massa seca média (g)	Umidade média em base seca (%)
Calcário	42,89	42,80	0,23
NPK	20,77	20,55	1,06
Organo mineral	20,92	20,38	2,66
Pó de rocha	32,40	32,08	1,02

Na **Tabela 2** estão representados os dados de altura e de base em centímetros e ângulo de repouso dos fertilizantes em graus. Esses ângulos de repouso foram obtidos através de equações trigonométricas (método 1).

Tabela 2. Valores médios obtidos pela determinação do ângulo de repouso por equações trigonométricas

Fertilizante	Altura (cm)	Base (cm)	Ângulo
Calcário	9,0	10,3	41,3°
NPK	9,3	15,8	30,4°
Organo mineral	9,0	16,8	28,4°
Pó de pedra	9,0	10,0	42,0°

De acordo com a **Tabela 2** o valor médio do ângulo de repouso determinado por equações trigonométricas do fertilizante pó de pedra apresenta o maior valor que foi de 42°, enquanto o menor valor médio do ângulo de repouso foi 28,4° do fertilizante organo mineral.

O ângulo de repouso médio do NPK determinado pela Villibor (2008) foi de 38,39°, valor médio de ângulo de repouso diferente do determinado em nosso estudo, sendo que ambos os resultados foram obtidos pelo método de equações trigonométricas. A explicação para tal diferença é a dosagem dos componentes do fertilizante, o qual em nosso estudo foi utilizado o NPK 05 20 10 e o utilizado no estudo da Villibor (2008) foi o NPK 20 05 20.

Na **Tabela 3** estão representados os ângulos de repouso dos fertilizantes determinado através do *software* CAD (método 2).

Tabela 3. Ângulos de repouso determinados pelo *software* de CAD

Fertilizante	Ângulo
Calcário	38,5
NPK	30,0
Organo mineral	33,0
Pó de pedra	39,5

De acordo com a **Tabela 3** o valor médio do ângulo de repouso determinado com o *software* CAD que apresentou maior valor foi de 39,5° com o fertilizante pó de pedra, e o menor valor médio encontrado para o ângulo de repouso foi de 30° com o fertilizante NPK.

Analisando a **Tabela 2** e a **Tabela 3** percebe-se que para os mesmos ensaios, os métodos de determinação do ângulo de repouso não obtiveram os mesmos valores. Os resultados obtidos pelo método de análise de imagens com o *software* de CAD foram considerados mais precisos do que o do método trigonométrico, porque o método 1 utiliza a altura e a base do amontoado para determinar o ângulo de repouso. Já o método 2 analisa as imagens com o *software* de CAD agindo como um gráfico de dispersão, traçando uma reta onde melhor representa o ângulo de repouso (**Figura 2**).

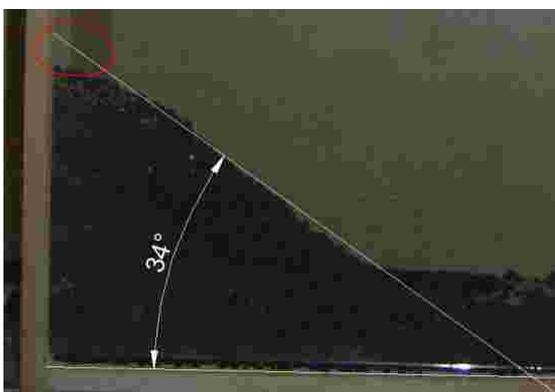


Figura 2. Determinação do ângulo de repouso do fertilizante bola preta com *software* CAD (ensaio número 1 do fertilizante *bola preta*).

Através da **Figura 2** pode-se ver nitidamente o problema do método trigonométrico, pois, a altura formada pelo ensaio pode não representar corretamente o ângulo de repouso, no entanto esse ensaio realizado com o fertilizante orgânico mineral *bola preta* apresentou através do método trigonométrico o ângulo de repouso de $30,14^\circ$, enquanto o ângulo de repouso encontrado pelo método de análise de imagens com o *software* CAD para o mesmo ensaio foi de 34° , apresentando uma diferença devido ao problema do método trigonométrico.

4 CONCLUSÃO

No desenvolvimento do presente trabalho buscou-se determinar o método mais preciso para determinação do ângulo de repouso dos fertilizantes, a fim de utilizar no estudo do desenvolvimento do dosador de fertilizantes rotativo de palhetas. No entanto devido ao problema encontrado no método trigonométrico foram escolhidos os dados obtidos pelo método de análise das figuras com o *software* CAD.

5 REFERÊNCIAS

Gaylord, E. H.; Gaylord, C. N. **Design of steel bins for storage of bulk solids**. New Jersey: Prentice-Hall, 359p, 1984.

Gomes, F.C. **Estruturas de armazenamento – Avanços tecnológicos na construção**. Lavras, UFLA. 70p. 2001. (Apostila).

SILVA, Fabrício Schwanz. Ângulo de repouso, atrito interno e efetivo dos grãos de café com pergaminho. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.8, n.1, p.17-23, 2006.

VILLIBOR, Geice Paula - **Avaliação do desempenho do protótipo de uma adubadora puncionadora para plantio direto – 2008.** Viçosa, Minas Gerais