

## CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE GRÂNULOS DE FERTILIZANTES FORMULADOS

**SAMIR PAULO JASPER<sup>1</sup>, GABRIEL GANANCINI ZIMMERMANN<sup>2</sup>, BRUNO HENRIQUE DE ARAUJO<sup>3</sup>, DANIEL SAVI<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR, Curitiba-PR, samir@ufpr.br

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Doutorando em Ciência do Solo, Depto. de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR, Curitiba-PR

<sup>3</sup> Graduando em Agronomia, Depto. de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR, Curitiba-PR

<sup>4</sup> Graduando em Agronomia, Depto. de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR, Curitiba-PR

Apresentado no  
LI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2022  
27 a 29 de outubro de 2022 - Pelotas - RS, Brasil

**RESUMO:** A uniformidade de aplicação de fertilizantes é um dos fatores que garantem a produtividade das culturas e tende a ser influenciada pela granulometria, densidade e fluidez dos fertilizantes escolhidos. O objetivo do trabalho foi avaliar as características físicas de vinte formulados diferentes, além da verificação do impacto destas características individuais na qualidade do fertilizante no processo de aplicação. Para cada fertilizante, foram determinados o tamanho das partículas, densidade e ângulo de repouso. Os dados da caracterização dos fertilizantes foram submetidos a análise de variância, quando significativo, ao teste de médias. Os fertilizantes estudados apresentaram uniformidade granulométrica e boa qualidade do produto. A especificação Mistura de grânulos apresentou os maiores valores de densidade e ângulo de repouso, seguido pelo Farelo e Granulado. Ademais, os resultados de ângulo de repouso demonstram o escoamento livre, sendo estes fertilizantes indicados para operação por gravidade, presentes nas semeadoras-adubadoras comercializadas no Brasil.

**PALAVRAS-CHAVE:** GRANULOMETRIA, DENSIDADE, FLUIDEZ.

### PHYSICAL CHARACTERIZATION OF FORMULATED FERTILIZER GRANULES

**ABSTRACT:** The uniformity of fertilizer application is one of the factors that guarantee crop productivity and tends to be influenced by the granulometry, density and fluidity of the chosen fertilizers. The objective of this work was to evaluate the physical characteristics of twenty different formulations, in addition to verifying the impact of these individual characteristics on the quality of the fertilizer in the application process. For each fertilizer, the particle size, density and angle of repose were determined. The fertilizer characterization data were submitted to analysis of variance, when significant, to the test of means. The studied fertilizers showed granulometric uniformity and good product quality. The specification Mixture of granules presented the highest values of density and angle of repose, followed by Bran and Granules. In addition, the results of angle of repose demonstrate free flow, and these fertilizers are indicated for gravity operation, present in seeder-fertilizers sold in Brazil.

**KEYWORDS:** GRANULOMETRY, DENSITY, FLUIDITY.

**INTRODUÇÃO:** Para se obter uma produção agrícola elevada, é imprescindível que as adubações sejam realizadas de forma correta. O uso de fertilizantes possibilitou que solos de baixa fertilidade no território brasileiro, se tornassem aptos para uma agricultura produtiva

(SANCHES et al., 2021). Devido a importância que os fertilizantes têm como fator de produtividade, bem como pela significância da participação desse insumo no custo de produção, torna-se de suma importância a avaliação das várias características e dos fatores responsáveis pelo seu desempenho, a fim de maximizar a eficiência desse insumo (ZIMMERMANN et al., 2022). A granulometria dos fertilizantes sólidos é determinada pelo tamanho e pela forma de suas partículas, estando suscetível ao processo de segregação, que é a separação das partículas de diferentes formatos, tamanhos e densidade. O parâmetro que relaciona a massa e o volume do fertilizante além de impactar na distribuição do produto, possui importância para determinar a vazão dos dosadores e o dimensionamento de reservatórios (COSTA et al., 2022). A fluidez é a capacidade de livre escoamento pelos sistemas mecânicos de aplicação e se relaciona com a eficiência de distribuição dos fertilizantes. Desta forma, o objetivo do trabalho foi avaliar as características físicas (granulometria, fluidez e densidade) de vinte formulados diferentes, além da verificação do impacto destas características individuais na qualidade do fertilizante no processo de aplicação.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O trabalho foi realizado em laboratório, avaliando-se vinte amostras de fertilizantes (Tabela 1), cedidas pela empresa Buschle & Lepper S.A.

TABELA 1. Caracterização técnica dos fertilizantes granulados

Amostra	N %	P % (CNA + H <sub>2</sub> O)	P (H <sub>2</sub> O)	K %	Ca %	Mg %	S %	SO <sub>4</sub> %	Massa kg	Especificação
A	0	21	18	-	18	-	10	10	1,95	Granulado
B	15	0	-	14	-	-	15	15	1,91	Mistura de grânulos
C	45	0	-	0	-	-	-	-	1,46	Granulado
D	8	20	-	20	1	-	3	3	1,94	Mistura de grânulos
E	8	16	-	10	4	2	4	4	1,89	Mistura de grânulos
F	18	15	-	22	-	-	-	-	1,72	Mistura de grânulos
G	11	52	44	-	-	-	-	-	1,72	Granulado
H	12	6	-	12	6	2	4	4	1,93	Mistura de grânulos
I	10	10	-	10	8	2	1	1	1,75	Mistura de grânulos
J	2	20	-	20	6	-	4	4	1,96	Mistura de grânulos
K	21	0	-	0	-	-	22	22	1,89	Farelado
L	2	17	-	17	8	1	2	2	2,13	Mistura de grânulos
M	0	0	-	60	8	2	3	3	1,90	Mistura de grânulos
N	0	46	-	36	-	-	22	22	1,67	Granulado
O	5	15	-	10	-	-	-	-	2,06	Granulado
P	21	0	-	0	10	-	10	10	2,01	Mistura de grânulos
Q	4	14	-	8	-	-	2	2	1,85	Sem especificação
R	13	13	-	28	-	-	11	11	1,73	Mistura de grânulos
S	10	0	-	30	10	-	-	-	1,65	Granulado
T	15	0	-	14	-	-	15	15	1,73	Sem especificação

Fonte: O autor (2022).

Para a determinação da granulometria, foram utilizadas peneiras com malhas de 4 mm (ABNT n° 5), 2 mm (ABNT n° 10), 1 mm (ABNT n° 18), 0,5 mm (ABNT n° 35) e fundo de retenção, conforme MAPA (2017). A densidade de partículas foi estimada utilizando equipamento Dalle Molle, e a fluidez determinada pelo ângulo de repouso, depositando duas quilogramas de fertilizante em um recipiente de vidro retangular, de acordo com ZIMMERMANN et al. (2020). O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado, avaliando-se vinte amostras de fertilizantes, com quatro repetições totalizando 80 unidades experimentais. As pressuposições de normalidade do resíduo e homogeneidade da variância foram avaliadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Levene. Atendido essas premissas foram aplicados à análise de variância, em caso de significância as médias foram analisadas pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ), com auxílio do software Sigmaplot®.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Tabela 2 estão apontados os resultados da síntese da análise dos dados dos percentuais de massa das diferentes formulações retidos nas peneiras, densidade e ângulo de repouso, não havendo necessidade de transformação das médias para

todas as variáveis estudadas, denotando a normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade das variâncias (Levene). Ademais, todos os coeficientes de variação são categorizados estáveis, conforme FERREIRA (2018).

TABELA 2. Resultados estatísticos da análise de variância e do teste de médias para densidade, ângulo de repouso e porcentagem das massas retidas nas diferentes malhas

Análises N – P <sub>2</sub> O <sub>4</sub> – K <sub>2</sub> O	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )	Ângulo de repouso (°)	Malhas (%)				Fundo	Especificação
			4 mm	2 mm	1 mm	0,5 mm		
00-39-00	1,22 J	33,15 C	19,59	79,71	0,68	0,00	0,02	Granulado
15-00-14	1,19 I	36,69 E	30,86	64,09	3,31	1,01	0,72	Mistura de grânulos
45-00-00	0,79 A	28,93 A	5,73	87,36	4,50	1,47	0,94	Granulado
08-20-20	1,10 F	31,96 C	7,45	77,29	12,80	1,71	0,76	Mistura de grânulos
08-16-10	1,05 E	32,42 C	11,74	75,19	11,29	1,19	0,58	Mistura de grânulos
18-15-22	0,94 B	30,90 B	5,25	87,09	5,14	1,35	1,17	Mistura de grânulos
11-52-44	1,05 E	30,90 B	5,99	91,46	2,42	0,02	0,11	Granulado
12-06-12	1,07 E	34,68 D	8,84	72,23	12,33	1,82	4,78	Mistura de grânulos
10-10-10	1,03 D	30,85 B	9,64	76,30	12,49	1,04	0,54	Mistura de grânulos
02-20-20	1,15 H	31,78 C	8,87	78,35	9,68	1,81	1,29	Mistura de grânulos
21-00-00	1,07 E	31,22 C	0,11	1,27	35,19	50,48	12,95	Farelado
02-17-17	1,18 I	32,32 C	4,96	71,58	17,70	3,57	2,18	Mistura de grânulos
00-00-60	1,13 G	32,84 C	17,75	80,35	1,47	0,11	0,32	Mistura de grânulos
00-46-36	1,03 D	32,10 C	3,46	90,11	5,95	0,30	0,18	Granulado
05-15-10	1,12 G	32,07 C	14,16	74,00	9,77	1,46	0,61	Granulado
21-00-00	0,98 C	31,37 C	61,91	36,90	0,68	0,06	0,45	Mistura de grânulos
04-14-08	1,18 I	29,19 A	18,19	71,27	8,06	1,45	1,04	Sem especificação
13-13-28	1,02 D	29,97 A	8,82	65,38	6,43	4,24	15,12	Mistura de grânulos
10-00-30	1,01 D	30,13 A	26,06	69,38	2,80	0,95	0,81	Granulado
15-00-14	0,97 C	33,97 A	5,82	28,07	25,20	30,82	10,10	Sem especificação
Totais			13,52	68,61	9,61	5,37	2,89	
Normalidade								
SW	0,365	0,462						
Homogeneidade								
LEV	0,084	0,091						
Teste F	258,2*	22,34*						
CV (%)	1,19	2,45						

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk:  $SW \leq 0,05$  – Anormalidade dos dados;  $SW > 0,05$  – Normalidade nos dados. Teste de Homogeneidade das variâncias de Levene:  $LEV \leq 0,05$  – Variâncias Heterogêneas;  $LEV > 0,05$  – Variâncias homogêneas. Teste F da análise de variância (ANOVA): NS – Não significativo; \* ( $p < 0,05$ ) e \*\* ( $p < 0,01$ ). CV (%) – Coeficiente de variação. Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem, entre si, pelo “teste de Scott-Knott” ( $p < 0,05$ ). Fonte: O autor (2022).

A Tabela 3 apresenta a síntese dos resultados de densidade, ângulo de repouso e porcentagem de massa retida em cada malha, correlacionando com as especificações granulométricas dos fertilizantes.

TABELA 3. Síntese dos resultados de densidade, ângulo de repouso e porcentagem de massa retida em cada malha de acordo com sua especificação granulométrica

Análises Especificação	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )	Ângulo de repouso (°)	Malhas (%)				Fundo
			4 mm	2 mm	1 mm	0,5 mm	
*Granulados	1,04 A	31,70 B	12,91	81,64	4,35	0,68	0,43
**Mistura de grânulos	1,08 C	32,31 C	15,30	71,63	8,64	1,70	2,73
Farelado	1,07 B	31,22 A	0,11	1,27	35,19	50,48	12,95

\*Médias dos parâmetros avaliados para os seis fertilizantes granulados analisados. \*\*Médias dos parâmetros avaliados para os onze fertilizantes de mistura de grânulos analisados. Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem, entre si, pelo “teste de Scott-Knott” ( $p < 0,05$ ). Fonte: O autor (2022).

Observa-se que a especificação Mistura de grânulos apresentou os maiores valores de densidade e ângulo de repouso, de acordo com SILVA (1997) uma fonte mineral que possui maior densidade, tende influenciar diretamente na fluidez, em vista que é um dos principais tipos de

movimentos de partículas proveniente da segregação. O Granulado apresentou-se 2,80% menos denso que o Farelado, podendo ser explicado por sua conformidade física e de agrupamento, corroborando com FELTRAN et al. (2006). Na classificação de escoabilidade de WOODCOCK e MASON (1987) os grupos de fertilizantes avaliados possuem escoamento livre (ângulo de repouso entre 30 e 38°), sendo indicados para dutos que trabalham por gravidade. Em relação a porcentagem de massa retida em cada malha, verifica-se que a peneira com abertura de 2,00 mm reteve a maior quantidade de fertilizantes, correspondendo a 81,64% e 71,63% para Granulados e Mistura de grânulos, respectivamente. Os dados coletados demonstram a uniformidade dos fertilizantes, indicando boa qualidade do produto (COSTA et al., 2022). Entretanto, a especificação farelada apresentou concentração superior nas malhas 0,5 mm e 1,0 mm.

**CONCLUSÕES:** Os fertilizantes estudados apresentaram uniformidade granulométrica e boa qualidade do produto. A especificação Mistura de grânulos apresentou os maiores valores de densidade e ângulo de repouso, seguido pelo Farelo e Granulado. Ademais, os resultados de ângulo de repouso demonstram o escoamento livre, sendo estes fertilizantes indicados para operação por gravidade, presentes nas semeadoras-adubadoras comercializadas no Brasil.

#### **REFERÊNCIAS:**

- COSTA, M.C.D.; ZIMMERMANN, G.G.; JASPER, S.P.; SAVI, D.; OLIVEIRA, G.A.D. Interference of operating speed and physical properties of granulated fertilizers with their deposition. **Engenharia Agrícola**, v. 42, 2022.
- FELTRAN, J.C.; CORRÊA, J.C.; BRANCALIÃO, S.R.; VILLA BOAS, R.L. Segregação física e química dos fertilizantes formulados. **Científica**, v.34, p.188-196, 2006.
- FERREIRA P.V. **Estatística experimental aplicadas ciências agrarias**. Viçosa, p.126, 2018.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Brasília, p. 240, 2017.
- SANCHES, G.M.; MAGALHÃES, P.S.; KOLLN, O.T.; OTTO, R.; RODRIGUES JR.; CARDOSO, T.F.; FRANCO, H.C. Agronomic, economic, and environmental assessment of site-specific fertilizer management of Brazilian sugarcane fields. **Geoderma Regional**, v. 24, p. e00360, 2021.
- SILVA, G.A.da. The effect of the physical properties of particles of bulk-blended fertilizers on segregation by coning. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, São Paulo, v. 14, p. 100, 1997.
- WOODCOCK, C.R.; MASON, J.S. **Bulk solids handling**. New York, Springer. p.260, 1987.
- ZIMMERMANN, G.G.; JASPER, S.P.; KMIĘCIK, L.L.; STRAPASSON NETO, L.; DA SILVA, T.X.; OIOLE, Y.A. Development of test bench to determine the distribution of granular fertilizers in planting rows using spiral roller, two spiral rollers and fluted roller. **Plos one**, v. 15, n. 12, p. e0243799, 2020.
- ZIMMERMANN, G.G.; JASPER, S.P.; SAVI, D.; KMIĘCIK, L.L.; STRAPASSON NETO, L.; AULER, A.C. Fertilizer deposition as a function of angular velocity and inclination of the helical dosing mechanism. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 226-235, 2022.