

# Segregação física e química de fertilizantes formulados

**José Carlos FELTRAN<sup>1</sup>; Juliano Coruli CORRÊA<sup>1</sup>; Sandro Roberto BRANCALIÃO<sup>1</sup>; Roberto Lyra VILLAS BOAS<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA), Departamento de Produção Vegetal – Agricultura. Caixa Postal 237, CEP 18603-970, Botucatu (SP), Brasil. feltranjc@fca.unesp.br; correaajc@fca.unesp.br; sandrorb@fca.unesp.br

<sup>2</sup> Autor para correspondência. Unesp-FCA, Departamento de Recursos Naturais – Área Ciência do Solo. Caixa Postal 270, CEP 18603-970, Botucatu (SP), Brasil. Bolsista do CNPq. rlvboas@fca.unesp.br

## Resumo

A utilização de fertilizantes formulados é a principal forma de adubação de semeadura no Brasil, porém a qualidade dos formulados e a ocorrência de segregação podem alterar as quantidades aplicadas. O trabalho objetivou avaliar a segregação física e química de fertilizantes formulados na adubação de semeadura, sob sistema de semeadura direta. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, disposto em arranjo fatorial 4x6, sendo quatro fertilizantes formulados e seis coletas, com três repetições. Os formulados utilizados foram as misturas de grânulos (1) 4-14-8+0,3% de Zn; (2) 4-14-8+13% de Ca+8% de S, e (3) 4-14-8+14% de Ca+11% de S, e o formulado na forma de mistura granulada (4) 8-28-16+0,3% de Zn. As coletas foram realizadas com o reservatório cheio e após 20; 40; 60; 80 e 100% da saída do fertilizante. A segregação física dos componentes ocorreu tanto na mistura de grânulos como na mistura granulada, e as maiores porcentagens de particulados ficaram retidas nas peneiras de malha 2,0 e 0,5 mm. Esta foi intensificada pelo deslocamento da semeadora-adubadora. Quanto à segregação química, foi observada alteração na distribuição dos nutrientes ao longo da linha de aplicação, principalmente para o Zn. Com as trepidações da semeadora-adubadora e o rebaixamento do depósito de fertilizantes, ocorre segregação física e química; as partículas menores são depositadas no início, e as maiores, no final do processo.

**Palavras-chave adicionais:** fertilizantes; adubos químicos; granulado; mistura de grânulos.

## Abstract

FELTRAN, J. C.; CORRÊA, J. C.; BRANCALIÃO, S. R.; VILLA BOAS, R. L. Physical and chemical segregation of mixed fertilizers. *Científica*, Jaboticabal, v.34, n.2, p.188-196, 2006

In Brazil, mixed fertilizers are used as the main kind of fertilization at sowing time; however, the quality of mixed fertilizers and the occurrence of segregation may alter the applied fertilizer amounts. This study aimed to evaluate physical and chemical segregation of mixed fertilizers in sowing fertilization, in a no-tillage system. A completely random experimental design in a 4x6 factorial arrangement was used with four mixed fertilizers, six sampling moments and three replications. The mixed fertilizers consisted of the following granular mixtures: (1) 4-14-8+0.3% Zn, (2) 4-14-8+13% Ca+8% S, and (3) 4-14-8+14% Ca+11% S, and a granular mixed fertilizer (4) 8-28-16+0.3% Zn. The mixtures in the fertilizer deposit were sampled at 6 moments: (1) when the deposit was full and after (2) 20%, (3) 40%, (4) 60%, (5) 80%, and (6) 100% of the mixtures had come out of the deposit. The physical segregation occurred both in the granular mixture and in the granular fertilizer, and the highest amounts of particles were found on top of 2 mm and 0.5 mm mesh screens. The movement of the seeding-fertilizing machine intensified the segregation. As to the chemical segregation, alteration of the nutrient distribution occurred along the application area, mainly for Zn. Physical and chemical segregation occurred due to the seeding-fertilizing machine movement and the fertilizer deposit lowering which allow the deposit of smaller particles at the beginning of the process and the larger ones at the end.

**Additional keywords:** chemical fertilizer; segregation; mixed fertilizer; granular mixture.

## Introdução

No Brasil, a exploração agrícola em solos de baixa fertilidade foi viabilizada pelo uso correto de fertilizantes e corretivos, procedimentos necessários para a manutenção da fertilidade do solo (RAIJ et al., 1982; CARVALHO, 2001), e o uso de fertilizantes aumenta a produtividade agrícola (MALAVOLTA, 1981).

A fabricação dos fertilizantes segue padrões e normas técnicas quanto às características físicas e químicas, as quais são especificadas por lei (RODELLA & ALCARDE, 1994). A qualidade dos fertilizantes é influenciada por características físicas (densidade, tamanho, forma, coesão, ângulo de repouso, consistência e fluidez das partículas), químicas (forma química e teor de nutrientes) e físico-químicas (solubilidade, higroscopicidade, índice salino e empedramento). Com o deslocamento, ocorrem trepidações nos reservatórios, gerando segregações físicas e químicas, o que dificulta a perfeita aplicação dos fertilizantes formulados ao longo da faixa de deposição, alterando a composição inicial e diminuindo, assim, a qualidade do fertilizante (ALCARDE, 1992; SILVA, 1995).

No processo de aplicação, a segregação física ocorre, principalmente, por causa das partículas de tamanho inferior a 0,3 mm (RODELLA & ALCARDE, 1994), sendo o efeito da segregação química mais acentuado em mistura de grânulos com micronutrientes (CARVALHO, 2001). Além da segregação, a desuniformidade na aplicação de fertilizantes formulados pode ser devida à velocidade de deslocamento (POPP & ULRRICH, 1985; MANTOVANI et al., 1992), à falta de manutenção dos mecanismos de aplicação dos fertilizantes da semeadora-adubadora (BRODER & ACHORN, 1984) e ao tipo de distribuidor de fertilizante (SILVA et al., 1998).

CARVALHO (2001) verificou a segregação dos componentes do fertilizante tanto em mistura de grânulos como na mistura granulada. No entanto, poucos são os trabalhos que avaliam a interferência dos mecanismos distribuidores de fertilizantes em semeadoras-adubadoras tradicionais sobre as características físicas dos grânulos, sendo mais comum a avaliação de mecanismos pendulares sobre estes parâmetros (PARISH, 1986 e 2001).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a segregação física e química de fertilizantes formulados na adubação de semeadura, sob sistema de semeadura direta.

## Material e métodos

O trabalho foi realizado em condições de campo, na área da Fazenda Experimental Lageado, da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, em Botucatu (SP),

localizada a 22°51' S, 48° 26' W e, aproximadamente, 740 m de altitude.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, disposto em arranjo fatorial 4x6, sendo quatro fertilizantes e seis coletas, com três repetições. Os reservatórios de fertilizantes da semeadora-adubadora foram totalmente preenchidos, usando-se 50 kg de fertilizante. Utilizaram-se quatro fertilizantes formulados, sendo três na forma de mistura de grânulos, que correspondem a: (1) 4-14-8 + 0,3% de Zn; (2) 4-14-8 + 13% de Ca + 8% de S, e (3) 4-14-8 + 14% de Ca + 11% S, e um fertilizante formulado na forma de mistura granulada: (4) 8-28-16 + 0,3% de Zn.

As coletas foram feitas da seguinte forma: coleta 1 – com a semeadora-adubadora parada, sendo as amostras retiradas da parte superior do reservatório; coleta 2 – após o rebaixamento de 20% do volume do reservatório; coleta 3 – após o rebaixamento de 40% do volume do reservatório; coleta 4 – após o rebaixamento de 60% do volume do reservatório; coleta 5 – após o rebaixamento de 80% do volume do reservatório; coleta 6 – após o rebaixamento de 100% do volume do reservatório.

A aplicação dos fertilizantes formulados foi realizada em 23 de maio de 2000, sob palhada de milho, em sistema de semeadura direta, na dose de 176 kg ha<sup>-1</sup>. Foi utilizada a semeadora-adubadora hidráulica modelo T-2S, da marca Tatu/Marchesan, com depósitos de fertilizantes individuais, dosador tipo rosca sem fim e quatro linhas de semeadura espaçadas de 0,85 m. Para cada coleta, a semeadora-adubadora foi estacionada e erguida pelo hidráulico, sendo as rodas-guia movimentadas dez vezes. Em cada tubo de saída dos reservatórios, foram amostrados, aproximadamente, 240 g de cada formulado. Cada amostragem foi repetida três vezes.

As amostras coletadas foram processadas para as determinações físicas e químicas. Para a caracterização física, as amostras sofreram separação por peneiras com malhas de 4 mm (ABNT nº 5), 2 mm (ABNT nº 10) e 0,5 mm (ABNT nº 35), e fundo das peneiras, em agitador mecânico, por cinco minutos (LABORATÓRIO NACIONAL DE REFERÊNCIA DE VEGETAL, 1988). As quantidades retidas em cada peneira foram pesadas, e os valores, convertidos em porcentagens para as devidas comparações. Para as análises químicas de nitrogênio, fósforo, potássio e zinco, as amostras foram trituradas, sendo, posteriormente, coletada alíquota de 0,5 g para as determinações (LABORATÓRIO NACIONAL DE REFERÊNCIA DE VEGETAL, 1988).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, pelo teste F, e as médias, comparadas por meio do teste t, pelo critério DMS, a 5% de probabilidade, com uso do programa estatístico SISVAR versão 4,2.

## Resultados e discussão

A segregação física dos componentes ocorreu tanto na mistura de grânulos como na mistura granulada (Tabela 1). Isso pode ser explicado pelas diferenças na granulometria das matérias-primas utilizadas nos formulados compostos por mistura de grânulos, 4-14-8 (1), (2) e (3), corroborando CARVALHO (2001).

Também se deve ressaltar que, dentro da mesma fonte do nutriente, existe variação nas partículas quanto ao tamanho, à densidade e aos ângulos de contato. Entretanto, para a mistura granulada, 8-28-16 (4), a segregação observada pode ser devida a problemas referentes à fabricação, à dureza dos grânulos e/ou por esmagamento durante a aplicação, fatores que contribuem para maior segregação dos fertilizantes.

Tabela 1 – Retenção de partículas nas peneiras de malha de 4 mm, 2 mm, 0,5 mm e fundo das peneiras, em função dos formulados e das coletas<sup>(1)</sup>.

Table 1 – Particles retention by 4, 2, 0.5 mm and in the bottom of square wire mesh sieves as a function of fertilizer mixtures and sampling moments<sup>(1)</sup>.

Formulado/ Mixture	Retenção (%) em malha / Retention (%) in (mesh)			
	4 mm	2 mm	0,5 mm	Fundo / Bottom
	----- % -----			
4-14-8 (1)	2,1 b	68 c	27 b	2,2 a
4-14-8 (2)	1,0 c	65 d	33 a	1,2 b
4-14-8 (3)	0,7 c	82 a	17 d	0,2 c
8-28-16 (4)	3,5 a	72 b	23 c	1,1 b
d.m.s. / LSD	0,3	3	3	0,3
	----- Valores de F / F values -----			
Formulados / Mixtures	94 **	44 **	40 **	75 **
Coleta / Sample	3,1 *	7 **	7 **	18 **
Formulados X Coleta / Mixtures X Sample	3,4 **	4 **	4 **	9 **
CV (%)	29	7	18	32

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste t; critério: d.m.s. a 5% de probabilidade.

\* e \*\*: significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

<sup>(1)</sup> Means followed by the same letter within columns are not different by the t test at 5% of probability.

\* and \*\*: significant at 5% and 1% of probability respectively, by the F test.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

As maiores porcentagens de particulados dos formulados ficaram retidas nas peneiras de malha de 2 mm e 0,5 mm. Dessa forma, pode-se inferir que ocorre predomínio de partículas com tamanho entre 3,9 e 0,6 mm na composição desses formulados. As partículas grosseiras, de tamanho superior a 4 mm, e as muito pequenas, que passaram pela peneira de malha de 0,5 mm, contribuíram juntas com menos de 5% do total distribuído. A legislação brasileira que regula o setor de fertilizantes, exige a passagem de 100% das partículas pela peneira de malha de 4 mm e de até 5% pela peneira de malha de 0,5 mm (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DIFUSÃO DE ADUBOS, 1998-1999). Portanto, nenhum dos formulados atendeu à legislação quanto à peneira de malha de 4 mm, porém todos estão dentro do limite de tolerância de 10%.

Nos formulados 4-14-8 (1), (2) e (3), verificaram-se diferenças nas porcentagens granulométricas, o que pode ser devido às matérias-primas utilizadas e aos processos de produção e aplicação. Destes, o formulado 4-14-8 (3) pode ser considerado o de melhor qualidade, por apresentar 82 e 17% das partículas retidas na peneira de malha de 2 e 0,5 mm, respectivamente, e apenas 0,7% e 0,2% retidas na peneira de malha de 4 mm e no fundo das peneiras, respectivamente. No entanto, o tamanho ideal de partículas para formulados N-P-K compostos por mistura de grânulos está entre 2 mm e 0,5 mm, uma vez que a maior parte das partículas de seus componentes (uréia, sulfato de amônio, superfosfato simples, superfosfato triplo e cloreto de potássio) se encontra neste intervalo, enquanto as partículas de enchimento se encontram no intervalo

entre 2,1 e 3,9 mm (RODELLA & ALCARDE, 1994).

A maior porcentagem retida em peneira de malha de 0,5 mm foi verificada no formulado 4-14-8 (2), enquanto, no formulado 4-14-8 (1), foi observado maior valor depositado no fundo das peneiras. Já no formulado composto por mistura granulada, 8-28-16 (4), notou-se maior porcentagem de partículas retidas em peneira de malha de 4 mm, e a menor porcentagem de retenção de partículas ocorreu em malha de 0,5 mm. Dessa forma, pode-se inferir que o formulado 4-14-8 (1) foi o de pior qualidade quanto às características físicas.

Avaliando a granulometria dos formulados ao longo da faixa de aplicação, notou-se, de forma geral,

variação na porcentagem de partículas em função da coleta, ou seja, do deslocamento da semeadora-adubadora (Figura 1 a, b, c, d). Para as partículas retidas na peneira de malha de 4 mm, verificou-se variação percentual em razão do deslocamento da semeadora-adubadora nos formulados 4-14-8 (1) e (2), e no 8-28-16 (4), sendo observados valores superiores a 4% do total distribuído nas coletas 5 e 6 para o formulado constituído por mistura granulada e superior a 2,4% na coleta 6 para o 4-14-8 (1). Assim, fica caracterizada a saída preferencial de partículas de diâmetro inferior a 4 mm e de maior densidade, restando no final do reservatório partículas maiores e de menor densidade, concordando com a hipótese de CARVALHO (2001).

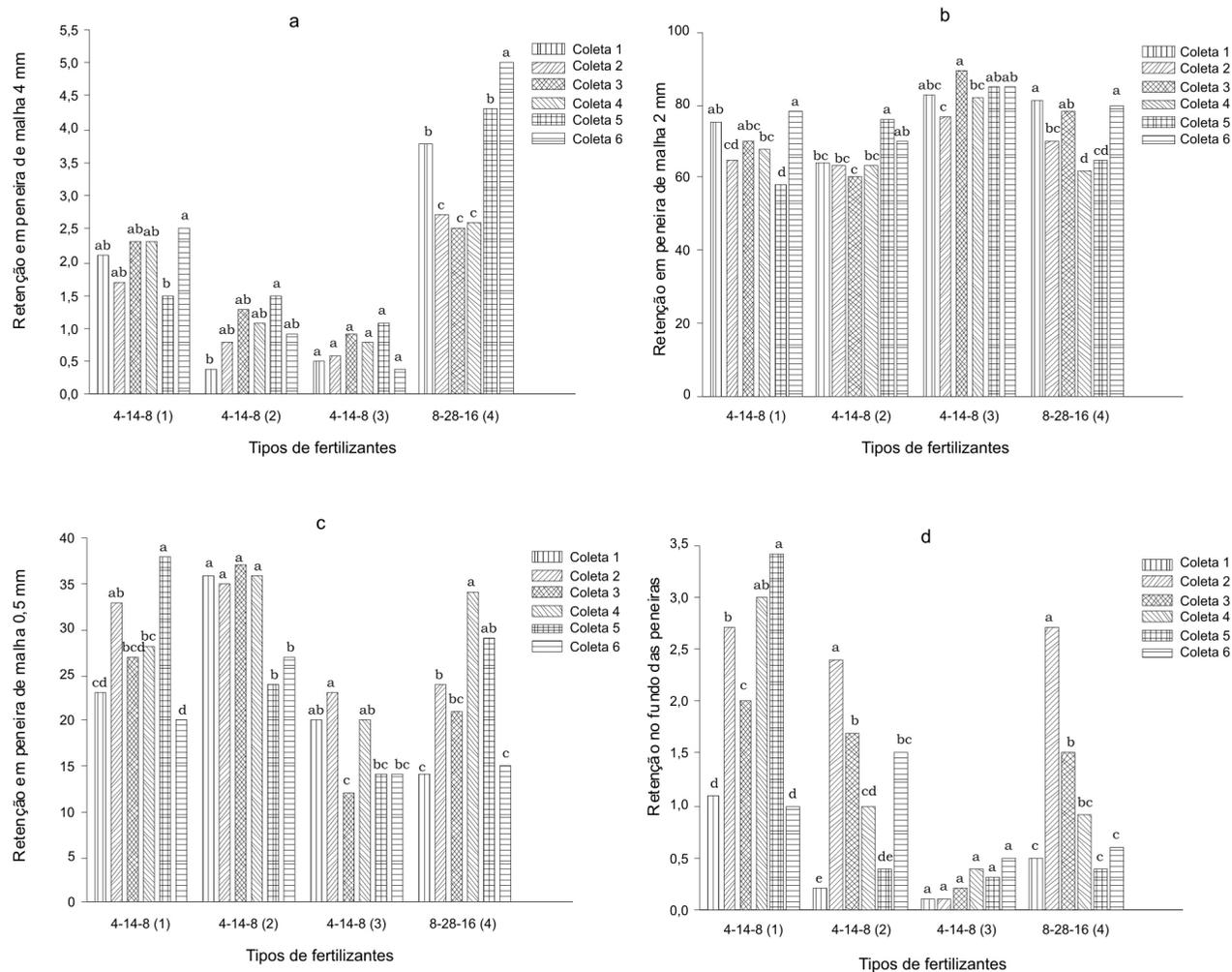


Figura 1 – Características físicas dos formulados fertilizantes (1; 2; 3 e 4) em função das coletas (1; 2; 3; 4; 5 e 6) (\*) quanto à retenção em peneira de malha de 4 mm (a), 2 mm (b), 0,5 mm (c) e fundo das peneiras (d).

(\*)As letras minúsculas representam a diferença estatística entre as coletas dentro de cada tratamento, pelo teste DMS, a 5% de probabilidade.

Figure 1 – Physical characteristics of the fertilizer mixtures (1, 2, 3, and 4) as a function of sampling moment (1, 2, 3, 4, 5, and 6) (\*) as to retention on 4 mm (a), 2 mm (b), 0.5 mm (c) square wire mesh sieves, and in the bottom (d). Vertical axis: retention in a, b, c, and d; horizontal axis: sampling moments 1, 2, 3, 4, 5, and 6.

(\*)Small letters represent the statistical difference among sampling moments within each treatment by LSD test at the 5% level of probability.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

A segregação dos grânulos dos fertilizantes formulados pode ser influenciada, principalmente, pelas características físicas das partículas (tamanho, densidade, forma, coesão, resistência mecânica e ângulo de repouso) e pelas ações mecânicas (vibração, queda livre e ação balística). Durante a aplicação, pode ocorrer variação granulométrica ao longo da linha de distribuição, onde as partículas com menor grau de dureza se rompem por ação da pressão resultante entre as partículas e pelo esmagamento durante sua passagem pelo dosador. Assim, formulados contendo partículas com baixo grau de dureza poderão intensificar a variação granulométrica, alterando as características iniciais do produto (SILVA, 1995). Além disso, também no processo de aplicação do fertilizante formulado pode ocorrer segregação física, principalmente por causa das partículas de tamanho inferior a 0,3 mm (RODELLA & ALCARDE, 1994).

Na peneira de malha de 2 mm, foram encontradas diferenças para todos os fertilizantes formulados, sendo retidos nesta peneira os maiores valores distribuídos na aplicação da adubação de semeadura. Pode-se verificar que a porcentagem retida nesta malha fica acima de 60% para todos os formulados. Para os formulados compostos por mistura de grânulos, observou-se que os maiores valores de retenção na peneira de malha de 2 mm ocorreram nas coletas 3; 5 e 6, para 4-14-8 (3), (2) e (1), respectivamente. Para estes, a grande maioria das partículas retidas nesta malha provém da matéria-prima de enchimento e, possivelmente, do superfosfato triplo. Para a mistura granulada, 8-28-16 (4), foi verificado que as maiores porcentagens retidas na malha de 2 mm ocorreram nas coletas 1 e 6.

Quanto à peneira de malha de 0,5 mm, verificou-se heterogeneidade entre os formulados (Tabela 1), o que promoveu diferenças na distribuição de partículas ao longo do deslocamento da semeadora-adubadora. Os maiores valores retidos nesta malha foram observados nos formulados 4-14-8 (1), 4-14-8 (3) e 8-28-16 (4), sendo referentes às coletas 5; 2 e 4, respectivamente. Para o formulado 4-14-8 (2), verificaram-se os maiores valores retidos nas coletas 1; 2; 3 e 4.

Em função da segregação, deveria haver tendência de retenção de maiores porcentagens de partículas de tamanho inferior a 0,5 mm nas primeiras coletas. Isso ocorreu para os formulados 4-14-8 (2) e 8-28-16 (4), nos quais foram verificadas as maiores porcentagens retidas no fundo das peneiras na coleta 2, considerada a primeira coleta a partir do deslocamento

da semeadora-adubadora. No entanto, observou-se, para o formulado 4-14-8 (1), que as porcentagens de partículas retidas no fundo das peneiras foram 1,1; 2,7; 2,0; 3,0; 3,4 e 1,1% para as coletas 1; 2; 3; 4; 5 e 6, respectivamente. Isso pode ser explicado pela vibração provocada pelo deslocamento da semeadora-adubadora, onde as partículas menores passam entre as maiores (movimento cônico), acomodando-se na parte inferior do depósito (CARVALHO, 2001). Nesse processo de queda livre, as partículas menores ficam alojadas em maior proporção no centro do reservatório, em razão da fricção e da falta de energia, enquanto as maiores tendem ao rolamento para a extremidade, em consequência da maior energia cinética (SILVA, 1995). Possivelmente, a falta de controle de qualidade das matérias-primas utilizadas na formulação e a presença de grânulos com baixo grau de dureza podem ter contribuído para o observado.

Assim, quanto às características físicas, de forma geral, pode-se inferir que o formulado 4-14-8 (3) e o 4-14-8 (1) são os de melhor e pior qualidade, respectivamente. Todos os formulados estão dentro da faixa de tolerância prevista por lei para a peneira de malha de 4 mm, sendo que, destes, o 8-28-16 (4) e o 4-14-8 (1) são os que têm maior porcentagem de partículas grosseiras na sua composição. Além disso, o formulado 4-14-8 (1) também apresenta elevada porcentagem de partículas pequenas (inferiores a 0,5 mm), o que favorece a segregação durante o procedimento de adubação, podendo alterar as doses de N, P e K depositadas na linha de semeadura.

Foram observadas variações nos teores de N,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  e Zn entre os formulados, diferenças nos teores de  $K_2O$  com o deslocamento da semeadora-adubadora e alterações nos teores de N,  $K_2O$  e Zn, quando se estudou a interação (Tabela 2). Em relação às especificações e garantias das formulações, verificou-se que o formulado 4-14-8 (1) apresentou maiores teores de  $P_2O_5$  e de  $K_2O$ , enquanto, no formulado 4-14-8 (2), notou-se menor teor de N, sendo 25% abaixo do especificado na formulação, e maiores teores de  $P_2O_5$  e de  $K_2O$ . No formulado 4-14-8 (3), foi observado o menor teor de  $P_2O_5$ , sendo 14,5% abaixo do especificado na formulação, e maior teor de  $K_2O$ . Para o formulado composto por mistura granulada, 8-28-16 (4), verificou-se menor teor de  $P_2O_5$ , sendo 17,9% abaixo do especificado na formulação, e maiores teores de N e  $K_2O$ .

Tabela 2 – Teores de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O e Zn, em função dos formulados e das coletas<sup>(1)</sup>.Table 2 – Levels of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, and Zn, as a function of mixed fertilizers and sampling moment<sup>(1)</sup>.

Formulado / Mixture	Teores / Levels			
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Zn
	----- % -----			
4-14-8 (1)	4 b	15 c	12 c	0,20 a
4-14-8 (2)	3 c	19 b	13 b	0,09 b
4-14-8 (3)	4 b	12 d	13 b	0,08 b
8-28-16 (4)	9 a	23 a	20 a	0,17 a
d.m.s. / LSD	0,5	2,1	0,5	0,035
	-----Valores de F / F values -----			
Formulados / Mixture	175 **	41 **	348 **	15 **
Coleta / Sample	1,4 <sup>ns</sup>	1,1 <sup>ns</sup>	4 **	2,2 <sup>ns</sup>
Formulados X Coleta / Mixture X Sample	1,7 *	0,9 <sup>ns</sup>	3 **	2,1 *
CV (%)	17	18	5	20

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste t; critério: d.m.s. a 5% de probabilidade.<sup>ns</sup>: não-significativo. \* e \*\*: significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.<sup>(1)</sup> Means followed by the same letter within columns are not different by the t test at 5% of probability.<sup>ns</sup>: non-significant. \* and \*\*: significant at 5% and 1% of probability respectively, by the F test.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

Os fertilizantes formulados devem apresentar determinadas características químicas, que são especificadas por lei, a fim de suprir as necessidades nutricionais das plantas (RODELLA & ALCARDE, 1994). Analisando os constituintes dos formulados, observou-se que, em média, foram obtidas as seguintes formulações: 4-15-12 + 0,2% de Zn; 3-19-13; 4-12-13 e 9-23-20 + 0,2% de Zn, as quais diferem das proporções iniciais de N-P-K, ou seja, 4-14-8 para os três primeiros e 8-28-16 para o último. Para os fertilizantes formulados, segundo a legislação brasileira, as tolerâncias de variação dos valores analíticos obtidos em relação às garantias da formulação são de 15%, quando o teor do elemento for menor ou igual a 5%, e de 10% quando o teor do elemento for maior que 5%, enquanto, para micronutrientes, a tolerância na variação chega a 30%. Além disso, o somatório dos resultados analíticos deve totalizar, no mínimo, 95,1% do garantido (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DIFUSÃO DE ADUBOS, 1998-1999).

Considerando a legislação brasileira para macronutrientes, observou-se que o formulado 4-14-8 (2) apresentou teor de N abaixo do tolerado (3,4%) e teores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O acima do permitido, enquanto o formulado 8-28-16 (4) apresentou teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> abaixo do tolerado (25,2%) e teores de N e K<sub>2</sub>O acima do permitido. Os formulados 4-14-8 (1) e 4-14-8 (3), compostos por mistura de grânulos, apresentaram

teores de K<sub>2</sub>O acima do permitido (8,8%). Porém, em todos os formulados, a totalização dos teores de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O obtidos analiticamente atingiu os teores garantidos em mais de 95,1%, estando, assim, de acordo com a legislação. Quanto ao teor de Zn garantido pelo fabricante, verificou-se que tanto o formulado 4-14-8 (1) quanto o 8-28-16 (4) apresentaram valores de 0,20%, ficando abaixo do tolerado pela legislação (0,21%).

A segregação química ocorrida com o deslocamento da semeadora-adubadora alterou a distribuição dos nutrientes ao longo da linha de aplicação (Figura 2 a, b, c, d). Observaram-se alterações no teor de N somente para o formulado 4-14-8 (3), sendo que as partículas contendo os maiores teores deste nutriente foram distribuídas na parte inicial do deslocamento da semeadora-adubadora, nas coletas 1 e 2. Estes resultados podem ser explicados pela composição do formulado, ou seja, as partículas e/ou grânulos contendo N foram provenientes do sulfato de amônio, que possui em sua composição partículas com tamanho entre 0,6 e 2 mm e menores densidade e ângulo de contato. Essas características possibilitam maior fluxo de partículas no sentido descendente e na parte central do depósito de fertilizantes, o que favorece sua saída preferencial.

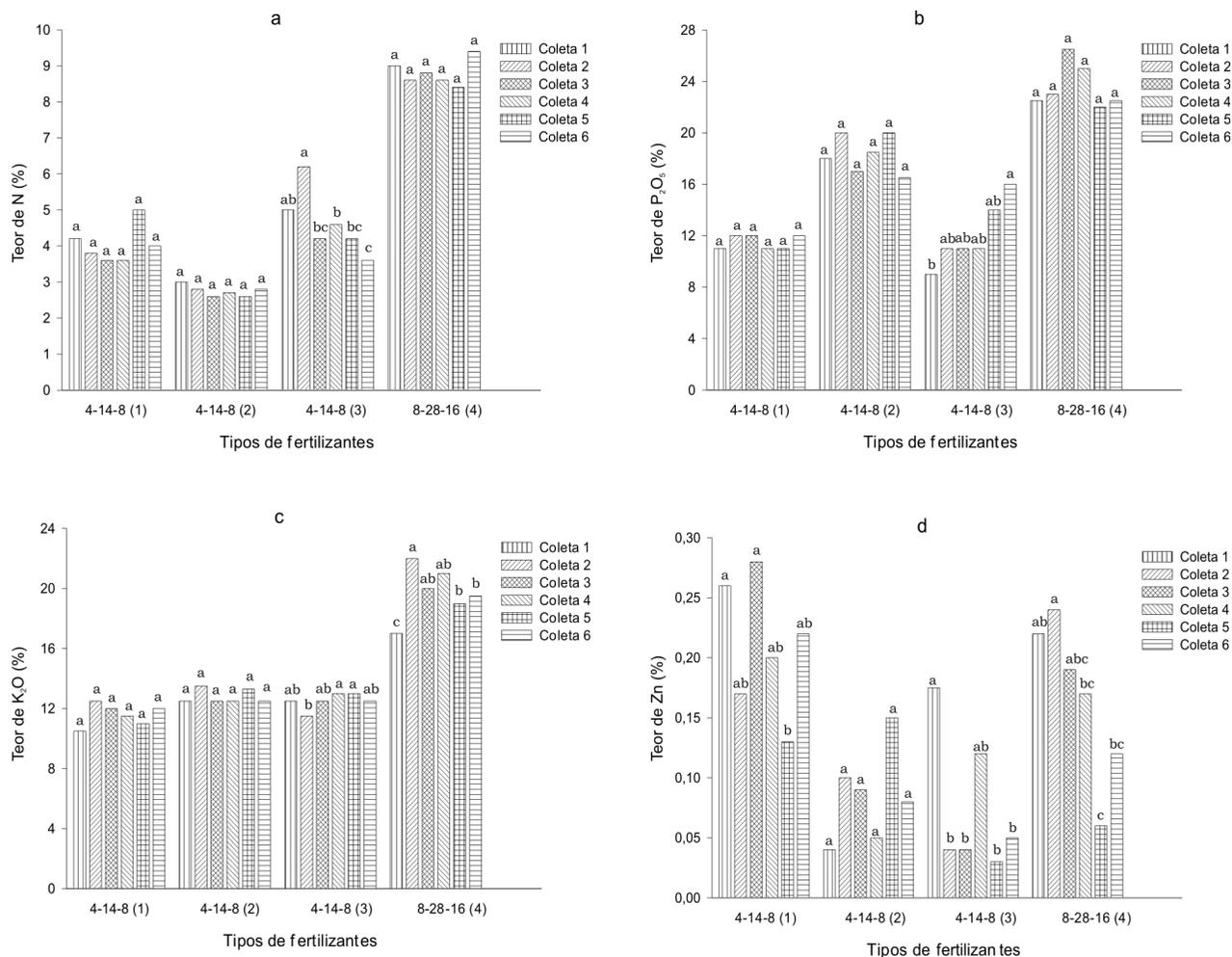


Figura 2 – Características químicas dos fertilizantes formulados (1; 2; 3 e 4) em função das coletas (1; 2; 3; 4; 5 e 6)<sup>(\*)</sup>, quanto ao teor de N (a), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (b), K<sub>2</sub>O (c) e Zn (d).

<sup>(\*)</sup>As letras minúsculas representam a diferença estatística entre as coletas dentro de cada tratamento, pelo teste DMS, a 5% de probabilidade.

*Figure 2 – Chemical characteristics of the fertilizer mixtures (1, 2, 3, and 4) as a function of sampling moments (1, 2, 3, 4, 5, and 6)<sup>(\*)</sup> as to levels of N (a), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (b), K<sub>2</sub>O (c), and Zn (d). Vertical axis: levels in a, b, c, and d; horizontal axis: sampling moments 1, 2, 3, 4, 5, and 6. <sup>(\*)</sup>Small letters represent the statistical difference among sampling moments within each treatment by LSD test at the 5% level of probability.*

*The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.*

Nos formulados 4-14-8 (1) e 4-14-8 (2), não se verificaram alterações na distribuição de partículas contendo N ao longo do deslocamento, o que se deve à composição da formulação, em que se utilizou a uréia como fonte de N em ambos os formulados. Assim, as pequenas variações que se observam ao longo do deslocamento, podem ser devidas ao esmagamento ou à quebra de grânulos, o que pode ser verificado na Figura 1 a e d. O esmagamento de grânulos ocorre desde o início da aplicação e resulta em partículas de menor tamanho, sendo estas depositadas preferencialmente em relação às maiores, que foram depositadas em maior quantidade no final da aplicação. Também não foram constatadas alterações nos teores de N para o

formulado composto por mistura granulada, 8-28-16 (4). Isso se deve aos grânulos de tamanho semelhante, os quais diminuem a segregação química e a dinâmica de caminhamento dentro do reservatório, ao longo do deslocamento da semeadora-adubadora.

Quanto ao P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, observaram-se alterações no teor distribuído ao longo da linha de aplicação apenas para o formulado 4-14-8 (3), demonstrando que ocorreu maior fluxo das partículas contendo o nutriente em local próximo ao esvaziamento do depósito de fertilizantes. Isso ocorreu em função da presença de partículas de maior tamanho e menor densidade, provenientes do superfosfato simples, o que favoreceu a saída nas coletas finais.

Para os formulados 4-14-8 (1), 4-14-8 (2) e 8-28-16 (4), não se observaram diferenças na distribuição de partículas contendo  $P_2O_5$  com o deslocamento da semeadora-adubadora, o que se deve ao tamanho homogêneo dos grânulos utilizados na composição da mistura. As pequenas variações verificadas podem ser devidas ao esmagamento de partículas ou à falta de qualidade dos produtos.

Quanto aos teores de  $K_2O$ , observou-se diferença na distribuição de partículas contendo o nutriente nos formulados 4-14-8 (3) e 8-28-16 (4), sendo os maiores teores verificados nas coletas 4 e 5 para o primeiro e na coleta 2 para o segundo. O cloreto de potássio, fonte de K para grande maioria dos fertilizantes formulados, apresenta partículas de densidade variável e com ângulos de contato irregulares, predominando as partículas de tamanho entre 0,5 e 2 mm. Em função destas características, ocorrem variações entre os formulados, sendo difícil prever o comportamento deste nutriente com o deslocamento da semeadora-adubadora.

Grandes variações nos teores de Zn foram observadas entre os pontos de coleta, sendo que o formulado 4-14-8 (1) apresentou maior distribuição de partículas contendo Zn nas coletas 1 e 3, enquanto o formulado 8-28-16 (4) apresentou a saída de partículas contendo maiores teores do micronutriente nas coletas 1 e 2, respectivamente. Dessa forma, verifica-se que a distribuição de partículas com Zn foi obtida nas três primeiras coletas, caracterizando saída preferencial no início; isso permite inferir que as partículas contendo o micronutriente são as de menor tamanho, corroborando CARVALHO (2001).

## Conclusões

Com o deslocamento da semeadora-adubadora e o rebaixamento do nível do depósito de fertilizantes, ocorre segregação física para todos os formulados.

A segregação química tem particularidades entre os formulados, sendo muito expressiva quanto ao zinco.

As partículas menores são depositadas no início da aplicação, e as maiores, no final do processo.

Os formulados com a melhor e a pior qualidade são o 4-14-8 (3) e o 4-14-8 (1), respectivamente.

## Referências

ALCARDE, J. C. Qualidade de fertilizantes e corretivos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p.275-329.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DIFUSÃO DE ADUBOS. **Anuário estatístico do setor de fertilizante.** São Paulo: ANDA, 1998-1999. 154p.

BRODER, M.; ACHORN, F. Applicator calibration and maintenance. **Fertilizer Progress**, Washington, v.15, p.30-69, 1984.

CAVALHO, F. J. P. de C. **Segregação de fertilizantes ensacados em "Big Bag"**. 2001. 110f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

LABORATÓRIO NACIONAL DE REFERÊNCIA DE VEGETAL. **Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes, métodos oficiais.** Brasília: Lanarv, 1988. 104p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola, adubos e adubação.** São Paulo: Ceres, 1981. 549p.

MANTOVANI, E. C.; BERTAUX, S.; ROCHA, F. E. de C. Avaliação da eficiência operacional de diferentes semeadoras-adubadoras de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, p.1.579-1.586, 1992.

PARISH, R. L. Evaluation of two methods of fertilizar spreader pattern correction. **Transactions of ASAE**, Saint Joseph, v.29, p.370-373, 1986.

PARISH, R. L. Effect of coating thickness on spreader damage to encapsulated controlled-release fertilizar granules. **Applied Engineering in Agriculture**, Saint Joseph, v.17, p.459-460, 2001.

POPP, T.; ULLRICH, K. H. La importancia de la calidad del fertilizante para la aplicación con fertilizadora. **BASF Reportes Agrícolas**, Ludwigshafen, v.2, p.3-13, 1985.

RAIJ, B. van; ROSAND, P. C.; LOBATO, E. Adubação fosfatada no Brasil: apreciação geral, conclusões e recomendações. In: OLIVEIRA, A. J. de; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W. J. (Ed.). **Adubação fosfatada no Brasil.** Brasília: Embrapa, 1982. p.9-28. (Documentos, 21).

RODELLA, A. A.; ALCARDE, J. C. Variabilidade na composição de misturas de fertilizantes decorrente de segregação e estimativa do efeito sobre a produtividade da cana-de-açúcar. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.13, p.14-19, 1994.

SILVA, G. A. de. **Estudo da segregação em fertilizantes.** 1995. 169f. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

SILVA, J. G. da; KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H.; OLIVEIRA, I. P. de; FERREIRA, E. Desempenho de semeadoras-adubadoras no estabelecimento da cultura do arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, p.63-70, 1998.

Recebido em 4-2-2005.

Aceito para publicação em 15-5-2006.