

JÚLIO CÉSAR SANTOS PEREIRA

**COMPORTAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO DE FERTILIZANTES GRANULADOS DE
UMA SEMEADORA-ADUBADORA EM DIFERENTES NÍVEIS DO
RESERVATÓRIO**

Botucatu

2021

JÚLIO CÉSAR SANTOS PEREIRA

**COMPORTAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO DE FERTILIZANTES GRANULADOS DE
UMA SEMEADORA-ADUBADORA EM DIFERENTES NÍVEIS DO
RESERVATÓRIO**

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de
Botucatu para obtenção do título de Mestre em
Energia na Agricultura.**

Orientador: Prof. Dr Paulo Roberto Arbex Silva

Botucatu

2021

P436c Pereira, Júlio César Santos
Comportamento da distribuição de fertilizantes granulados de
uma semeadora-adubadora em diferentes níveis do
reservatório. / Júlio César Santos Pereira. – Botucatu, 2021
57 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: Paulo Roberto Arbex Silva

1. Aplicação de fertilizantes. 2. Granulometria de fertilizantes.
I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: COMPORTAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO DE FERTILIZANTES GRANULADOS DE UMA SEMEADORA-ADUBADORA EM DIFERENTES NÍVEIS DO RESERVATÓRIO

AUTOR: JÚLIO CÉSAR SANTOS PEREIRA

ORIENTADOR: PAULO ROBERTO ARBEX SILVA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA (Participação Virtual)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP



p/ Prof.ª Dr.ª SAMANTHA VIEIRA DE ALMEIDA (Participação Virtual)
/ Faculdade de Tecnologia de Itapetininga



p/ Prof. Dr. ULISSES ROCHA ANTUNIAS (Participação Virtual)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP

Botucatu, 24 de setembro de 2021

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor do meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia, ao meu pai João Pereira, minha mãe Maria Aparecida e meus irmãos por sempre estarem comigo e fazerem o possível e o impossível por mim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à Deus por colocar em meu caminho pessoas maravilhosas, por me dar coragem, força, saúde, discernimento e fé para encarar os desafios e buscar os objetivos. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

A minha família, por sua capacidade de acreditar e investir em mim. A minha mãe Maria Aparecida, por sempre acreditar em mim, independentemente da situação. A meu irmão Bruno, por sempre estar comigo nas situações difíceis e sempre me motivar mostrando que o impossível era pouco. A meu irmão Luan, por me auxiliar e me ajudar entender que não podemos brincar com a vida e que devemos aproveitar as oportunidades que ela nos oferece.

Aos amigos, familiares e companheiros, que nos momentos de minha ausência devido minha dedicação a minha formação, sempre fizeram entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente!

A Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA – UNESP de Botucatu, ao Grupo de Plantio Direto – GPD.

Ao meu Professor, orientador, conselheiro e amigo Paulo Arbex.

O que dizer a cada um de vocês? Obrigado pela paciência, pelo incentivo, pela força e principalmente pelo carinho. Valeu a pena toda distância, todo sofrimento, todas as renúncias. Valeu a pena esperar. Hoje estamos colhendo, juntos, os frutos de todo esse empenho! Esta vitória é muito mais de vocês do que minha.

“Um espírito nobre engrandece o menor dos homens.”

Theodore Roosevelt

RESUMO

A agricultura moderna utiliza-se de técnicas que possibilitam o aumento da produtividade e possível redução dos custos. Aplicar dose exatas e precisas dos insumos, condizentes com as reais necessidades da planta, além de proporcionar os nutrientes necessários para o bom desenvolvimento da mesma, possibilita reduzir custos e impactos ambientais causados pelo uso incorreto de fertilizantes e agroquímicos. A qualidade física do fertilizante é um fator que pode afetar negativamente sua aplicação no momento do plantio. Fertilizantes com baixa qualidade granulométrica sofrem mais com o efeito da segregação, que é a separação das partículas por ordem de tamanho, dentro do reservatório de uma semeadora-adubadora. Baseado nessas informações, o objetivo desse trabalho é avaliar o efeito da distribuição no sulco de diferentes fertilizantes granulados no momento do plantio em diferentes níveis do reservatório da semeadora-adubadora. O experimento foi conduzido na área experimental da Fundação de Pesquisa e Desenvolvimento da empresa ICL®, localizada no Km 125 da Rodovia Marrafon, pertencente ao município de Iracemápolis – SP. Para a coleta dos dados foi utilizado uma semeadora-adubadora da marca John Deere® e diferentes fertilizantes de plantio. Para essa avaliação, foram utilizados 5 diferentes tipos de fertilizantes (F1, F2, F3, F4 e F5) e 3 diferentes níveis do reservatório da semeadora-adubadora (100%, 50% e 25% da capacidade do reservatório), em sistema fatorial de 3x5, com 4 repetições em 6 linhas. Foram realizadas as seguintes análises: Índice de dispersão de partículas, ângulo de repouso, densidade, umidade e índice de pó. Os grânulos dos fertilizantes sofreram quebra com o primeiro contato com o helicóide do dosador, gerando maior quantidade de pó. Fertilizantes com baixo grau de dureza do grânulo proporcionam maior quebra do fertilizante. Estatisticamente, os fertilizantes apresentaram diferença na dosagem nos diferentes níveis de preenchimento do reservatório, porém, deve-se levar em consideração que a variação foi baixa, considerando o teste de Tukey a 95% de probabilidade. A granulometria é um ponto que afeta a qualidade de distribuição dos fertilizantes. A qualidade física do fertilizante, quanto a formação de pó, no presente trabalho, não demonstrou resultados expressivos, a formação de pó afetara principalmente a qualidade química e nutricional quando em contato com o solo.

palavras-chave: Adubação; Coeficiente de variação; Fertilizantes; Granulometria.

ABSTRACT

Modern agriculture uses techniques and technologies that make it possible to increase productivity and possibly reduce costs. Applying exact and precise dosages of inputs, consistent with the real needs of the soil, in addition to providing the necessary nutrients for the proper development of the plant, makes it possible to reduce costs and environmental impacts caused by the incorrect use of fertilizers and agrochemicals. The physical quality of the fertilizer is a factor that can negatively affect its application at the time of planting. Fertilizers with low granulometric quality suffer more from the effect of segregation, which is the separation of particles in order of size, inside the reservoir of a seeder-fertilizer. Based on this information, the objective of this work is to evaluate the effect of the distribution in the furrow of different granulated fertilizers at the time of planting at different levels of the seeder-fertilizer reservoir. The experiment was conducted in the experimental area of the Research and Development Foundation of the Compass Minerals® company, located at Km 125 of Rodovia Marrafon, belonging to the municipality of Iracemápolis – SP. For data collection, a John Deere® seeder-fertilizer and different planting fertilizers were used. For this evaluation, 5 different types of fertilizers were used (F1, F2, F3, F4 and F5) and 3 different levels of the seeder-fertilizer reservoir (100%, 50% and 25% of the reservoir capacity), in a factorial system 3x5, with 4 repetitions in 6 lines. The following analyzes were performed: Particle dispersion index, angle of repose, density, moisture and dust index. The fertilizer granules suffered breakage with the first contact with the feeder auger, generating a greater amount of powder. Fertilizers with low granule hardness provide greater fertilizer breakage. Statistically, the fertilizers showed differences in dosage at different levels of filling the reservoir, however, it should be taken into account that the variation was low, considering the tukey test at 95% probability. Particle size is a point that affects the quality of fertilizer distribution. The physical quality of the fertilizer, regarding the formation of dust, in the present work, did not show expressive results, the formation of dust mainly affected the chemical and nutritional quality when in contact with the soil.

keywords: Fertilization; Coefficient of variation; Fertilizers; Granulometry.

LISTA DE ABREVIATURAS

CV	Coeficiente de Variação
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
GSI	<i>Granulometric Spread Index</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
m.s ⁻¹	Metros por segundo
MAPA	Ministerio da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
N-P-K	Nitrogenio, Fósforo e potássio
SPD	Sistema de Plantio Direto
IFP	Índice de formação de pó

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
2	REVISÃO DE LITERATURA	25
2.1	Aplicação de fertilizantes	25
2.2	Modos de aplicação	27
2.2.1	Aplicação localizada (semeadora-adubadora)	27
2.2.2	Aplicação a lanço (distribuidor)	28
2.3	Características dos fertilizantes	30
2.4	Fertilizantes e sua interação ao modo de aplicação	31
3	MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1	Área experimental	34
3.2	Fertilizantes	34
3.3	Conjunto Trator-Semeadora	35
3.3.1	Manutenção e limpeza do sistema	35
3.3.2	Regulagem e aferição do sistema	36
3.3.3	Metodologia de coleta.....	37
3.4	Tratamentos	38
3.5	Ângulo de repouso	38
3.6	Densidade e Umidade.....	39
3.7	Índice de Dispersão de Partículas.....	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1	Ângulo de repouso	43
4.2	Granulometria	44
4.3	Índice de dispersão de partículas (GSI).....	47
5	CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é referência na agricultura, apresentando grande potencial de produção e de expansão em área plantada. Por ser um país tropical, proporciona condições favoráveis para o desenvolvimento de várias culturas, sendo algumas com alto valor econômico, como a cultura da soja, por exemplo.

Nas últimas décadas ocorreu uma importante evolução na agricultura brasileira, a qual duplicou a produção e a produtividade de algumas das principais culturas produzidas no Brasil sem, no entanto, aumentar o tamanho das áreas de produção na mesma proporção.

Considerando que os grãos de maior produção agrícola no Brasil são milho e soja, estas culturas possuem grande demanda por fertilizantes granulados, pode-se inferir que o mercado de fertilizantes apresentam constante evolução com novas tecnologias.

No que diz respeito a aplicação de insumos, os fertilizantes e corretivos se destacam, pois são responsáveis por aproximadamente 50% dos ganhos de produtividade das culturas. Para que esse ganho seja alcançado é preciso conhecer, em profundidade, os fatores que influenciam na boa qualidade de distribuição dos fertilizantes.

É sabido que os fertilizantes granulados devem apresentar uniformidade no tamanho das suas partículas, boa granulometria, a fim de evitar possíveis problemas, como a segregação das partículas dentro do depósito de fertilizantes no momento da aplicação.

A segregação de partículas acontece devido a diferença do tamanho dos grânulos e densidade das partículas. A separação dessas partículas ocorre devido a perturbação física, fazendo com que os grânulos se separem. Grânulos com maior diâmetro tende a se separar dos grânulos com menor diâmetro.

Atualmente, as principais formas de aplicação dos fertilizantes granulados para grandes culturas são: o método de aplicação em sulco no momento da semeadura, utilizando semeadora-adubadora; outra forma é aplicação do fertilizante a lanço, utilizando um distribuidor centrifugo, possibilitando maior rendimento operacional.

A aplicação dos fertilizantes granulados no sulco de semeadura é a forma mais utilizada, pois pode aplicar dosagens exatas e precisas dos insumos, condizentes com as reais necessidades do solo, além de proporcionar os nutrientes necessários para o bom desenvolvimento da planta, possibilita reduzir custos e impactos ambientais causados pelo uso incorreto de fertilizantes

Baseado no grande destaque que possui a aplicação do fertilizante granulado no sulco de semeadura, este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento na distribuição de diferentes fertilizantes granulados com diferentes níveis do fertilizante dentro do reservatório durante a operação de semeadura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aplicação de fertilizantes

De acordo com Broch e Ranno (2008), os nutrientes encontrados nos fertilizantes são fundamentais para que a planta cresça e atinja seu potencial genético produtivo, sendo macro ou micronutrientes. A expressão de todo potencial genético da planta é totalmente dependente das condições físicas e químicas do solo, além de clima e outros fatores difíceis de serem controlados e quantificados (REETZ, 2017).

A aplicação dos fertilizantes deve apresentar uniformidade na distribuição, com o mínimo de variação, a fim de proporcionar a quantidade de fertilizante necessária para o bom crescimento e desenvolvimento da planta (KÜLZER, 2019). As operações mecanizadas de aplicação de fertilizantes consistem basicamente em aplicação localizada, no sulco de plantio e aplicação a lanço, podendo ser em área total ou parcial, com ou sem incorporação.

A aplicação localizada de fertilizante consiste na dosagem, aplicação do fertilizante e da semente ao mesmo tempo na linha de semeadura, utilizando uma semeadora-adubadora. Já a aplicação do fertilizante a lanço, em área total ou parcial, consiste em antecipar a aplicação do fertilizante, assim permitindo que o processo de semeadura ocorra de forma mais rápida. A aplicação tradicional de fertilizante em sulco de plantio vem sendo substituída pela aplicação a lanço sem incorporação, a fim de obter maior rendimento operacional nas janelas de semeaduras (KÜLZER, 2019).

O sistema de aplicação de fertilizante a lanço, realizada antes ou após o plantio (NUNES *et al.*, 2011 ;BARBOSA *et al.*, 2015), tem se intensificado devido algumas razões, como por exemplo a condução de áreas de cultivo de grande extensão, comum na região do Cerrado, onde o rendimento operacional é de suma importância, explana Kurihara e Hernani (2011), assim dispensando a adubação localizada via semeadora, que elimina o processo de carga/recarga do fertilizante no dia do plantio e possibilitando focar a total atenção na qualidade de distribuição das sementes. Resende (2017) enfatiza que a aplicação de fertilizante a lanço tem condicionantes técnicos, não sendo recomendável para qualquer situação de fertilidade do solo (áreas com deficiência de nutrientes), topografia do terreno (áreas declivosas) e clima (regiões com alto índice de déficit hídrico). Valadão *et al.*, (2017) em um dos seus

trabalhos com a cultura da soja, mostra que, a adubação a lanço em áreas compactadas reduz a eficiência da adubação fosfatada com redução da produtividade.

A cultura do milho, por exemplo, apresenta rápido crescimento inicial, e o desenvolvimento da lavoura é visivelmente estimulado por condições de elevada fertilidade do solo. Sendo assim, sobretudo quando a área de cultivo ainda apresenta déficit de nutrientes a adubação no sulco promove ganhos de produtividade (VASCONCELLOS, *et al.*, 1982; PERON *et al.*, 2019).

O sistema de aplicação localizada responde com maior vigor de plantas e antecipação dos estádios de desenvolvimento vegetativo (RAIJ, 2011), o que representa vantagens na definição do potencial de rendimento de grãos que ocorre nesse período inicial e pode minimizar prejuízos decorrentes de estresses ambientais, inclusive dos veranicos. De acordo com Resende (2017), a resposta à aplicação localizada de fertilizante é menos provável no caso do milho safrinha em áreas de fertilidade construída e plantio direto consolidado em regiões com melhores volumes e distribuição de chuvas, condições em que a fertilidade atual e a reposição via adubação a lanço suprem satisfatoriamente a demanda fisiológica de nutrientes para os níveis de produtividade normalmente obtidos no cultivo de safrinha. Mas, quando se trata de lavouras de alto desempenho, como o milho safra verão ou irrigado, maiores tetos de produtividade são alcançados quando se emprega a adubação no sulco de semeadura (TORRES *et al.*, 2018).

Diante do exposto, intercalar aplicações a lanço com as aplicações localizadas é uma possibilidade para maior estabilidade produtiva ao longo do tempo. Essa estratégia visa principalmente manter níveis adequados de disponibilidade de fósforo em maior profundidade, visto que esse nutriente apresenta mobilidade muito baixa no solo e se concentra na superfície quando adicionado exclusivamente a lanço, citam Torres *et. al* (2018) e Lana *et al.*, (2003). Comparativamente à soja, o milho é mais responsivo à adubação no sulco e isso pode ser levado em conta no gerenciamento da fertilidade no sistema de culturas (adubação de sistema).

De acordo com Peter (2016), com a utilização do sistema de aplicação a lanço, é necessário priorizar a qualidade do plantio direto, com ajustes para produzir grande quantidade de resíduos vegetais e assim manter a palhada. O mesmo autor relata que, dentre outras funções, a presença de palhada irá diminuir o risco de o fertilizante

da superfície ser carregado por erosão e ajudará a conservar a umidade no solo para melhor solubilização e aproveitamento dos nutrientes pela cultura em questão.

2.2 Modos de aplicação

Os diferentes modos de aplicação de fertilizantes, seja localizada ou a lanço, consiste em garantir que o fertilizante seja depositado e esteja disponível para a absorção da planta (BARBOSA *et al.*, 2015). O dosador, de acordo com Brondani (2013), tem a função de dosar a quantidade pré-estabelecida do produto, ou seja, define a quantidade de produto que sai do reservatório.

Atualmente existe dois principais modos de aplicação. A aplicação localizada do fertilizante e a aplicação a lanço.

2.2.1 Aplicação localizada (semeadora-adubadora)

Os mecanismos responsáveis em dosar e depositar o fertilizante em uma semeadora-adubadora podem ser afetados, principalmente, pela característica física do fertilizante (GILBERTSON e VALLIN, 2016). De acordo com Rodella e Alcarde (2000) e Gilbertson e Vallin (2016), a variação do tamanho dos grânulos do fertilizante, higroscopicidade, índice de dispersão e densidade do fertilizante são propriedades que afetam a dosagem e a qualidade de distribuição.

O mecanismo dosador helicoidal, ou “rosca sem fim”, é o principal e mais difundido, segundo Francetto *et al.*, (2012). O dosador de fertilizante encontrado, atualmente, nas semeadoras-adubadoras pode ser composto por um helicoide posicionado abaixo do reservatório de fertilizante, o qual transporta o fertilizante até a saída do dosador. A dose do fertilizante se dá pela variação de rotação do eixo que movimenta o helicoide, que pode ser ajustada alterando a relação de transmissão (SIQUEIRA, 2008).

Siqueira (2008) relata que a desuniformidade de distribuição ao longo da linha de plantio é dada pelo modo de liberação do fertilizante utilizando o mecanismo dosador volumétrico.

O dosador de fertilizante encontrado nas semeadora-adubadora tem como característica a liberação do fertilizante em pulsos, ocasionando desuniformidade na distribuição ao longo do sulco de plantio, alega Siqueira (2008).

A distribuição do fertilizante é afetada significativamente quando o dosador é submetido a diferentes inclinações de trabalho, assim afirma Reynaldo e Gamero (2015). O mesmo autor relata que helicoidais com menor passo do helicoide apresentam maiores variações nas dosagens, quando submetida a diferentes angulações longitudinais e transversais.

Resende *et al.*, (2006a) avaliaram a aplicação de Superfosfato triplo a lanço e a aplicação localizada, e não encontraram diferenças significativas na produtividade da cultura do milho. Resende (2017), contrapõe, explicando que a resposta à aplicação localizada de fertilizante é menos provável no caso do milho safrinha em áreas de fertilidade construída e plantio direto consolidado.

2.2.2 Aplicação a lanço (distribuidor)

Os distribuidores de insumos centrífugos são equipamentos, geralmente, destinado a aplicação de fertilizantes, corretivos e sementes de forrageiras. Tais equipamentos apresentam fácil montagem, regulagem e de alta capacidade operacional (REYNADO; MACHADO, 2016).

Os distribuidores de fertilizantes do tipo centrífugos são os mais populares, equipam máquinas de pequeno porte, montadas e de arrasto, com mecanismo dosador gravitacional e/ou autopropelidas, com mecanismo dosador volumétrico de esteira. A largura efetiva dessas máquinas depende da sobreposição das camadas de aplicação e sempre há incertezas associadas à decisão (HACHUY, 2008).

Segundo Milan e Gadanha Junior (1996), nos distribuidores a lanço, o mecanismo dosador e distribuidor são os principais componentes, pois tem a responsabilidade de dosar e distribuir adequadamente a quantidade pré-selecionada do produto a ser aplicado.

Esse mecanismo pode ser classificado de acordo com o tipo de funcionamento.

-Dosador gravitacionais: utilizam a força da gravidade para promover e controlar o fluxo das partículas, de acordo com Milan e Gadanha Junior (1996).

- Dosadores volumétricos: Operam librando, continuamente, um determinado volume de produto retirado do reservatório e colocado no mecanismo distribuidor.

O mecanismo distribuidor é o conjunto de elementos que tem como objetivo de espalhar o produto oriundo do dosador. Por se tratar do principal mecanismo dos distribuidores, responsável pela faixa de deposição ou aplicação Gilbertson e Vallin (2016). O mecanismo distribuidor é um critério normalmente usado para agrupar os

equipamentos para qualquer finalidade de análises (MOLIN, 2002). Classificados de acordo com o princípio utilizado no lançamento do produto ao solo.

- Queda livre: equipamento com mecanismo que libera certa quantidade de produto a determinada altura do solo, normalmente denominadas “distribuidoras de rastilho”. O produto liberado pelo dosador gravitacional é lançado ao solo e queda livre, sendo depositada em linhas (rastilho).

- Inércia (pendular): equipamento que distribuem o produto dosado através de um movimento pendular, possuem um tubo horizontal cujo o movimento oscilante horizontal determina o caminhamento das partículas, ao longo do seu comprimento, peça ação da inércia e o lançamento em arco.

- Força Centrifuga: equipamento que se caracteriza por utilizar um ou dois rotores (discos) horizontais, com aletas fixas ou não, para o lançamento radial do produto.

O sistema de distribuição a lanço do fertilizante, geralmente, é feito por distribuidores com sistema de aceleração centrífuga por pratos giratórios. Gilbertson e Vallin (2016) afirmam que, o processo de aplicação de fertilizante granulado a lanço depende fundamentalmente do tamanho da partícula e densidade. O efeito da balística pode ser diminuído, na operação a campo, pela sobreposição de faixas de aplicação, afirma Molin *et al.*, (2009) e Gilbertson e Vallin (2016)

A granulometria dos fertilizantes é determinada principalmente pelo tamanho e forma de suas partículas, como consequência da composição granulométrica, os fertilizantes sólidos podem apresentar o fenômeno da segregação (RODELLA; ALCARDE, 2000). Durante a aplicação de fertilizante a lanço, a segregação das partículas pode ocorrer devido a diferenças na resistência aerodinâmica entre as partículas, vibração e trepidação da máquina, assim, afetando negativamente a qualidade de distribuição do fertilizante, afirma Padilha (2005).

Quando o fertilizante entra em contato com o prato giratório do distribuidor, o fertilizante é propelido através do ar, as partículas de diferentes tamanhos seguem diferentes caminhos devido a ação da gravidade e velocidade do vento, por exemplo, explana Hoffmeister (1979) corroborando com Padilha (2005).

Ao analisar as distribuições dos fertilizantes aplicados por um distribuidor a lanço é possível constatar que os fertilizantes apresentaram diferenças significativas na sua formulação ao longo da largura de aplicação, relata Molin *et al.* (2009), em um

de seus trabalhos. Os distribuidores de fertilizantes apresentam grande dependência da qualidade e da condição física do fertilizante a ser aplicado, principalmente relacionado à uniformidade granulométrica, ressaltam os mesmos autores.

2.3 Características dos fertilizantes

Para os fertilizantes, as características físicas, químicas e físico-químicas devem ser levadas em consideração quando se discutem aspectos relacionados a tecnologia de aplicação. Molin *et al.*, (2009) explica que, basicamente, as características físicas dos fertilizantes definem a qualidade de distribuição. Ressalta ainda que as principais características que devem ser analisadas são: estado físico do fertilizante, granulometria, dureza dos grânulos, fluidez, densidade, higroscopicidade e empedramento.

A granulometria dos fertilizantes, de acordo com Luz *et al.*, (2010), é avaliada através do uso de peneiras com diferentes malhas e dividida de acordo com os tamanhos das partículas. O mesmo autor explica que o formato da partícula também é importante, e a forma granulada é a mais comum e também a que apresenta melhor desempenho, levando em consideração os aspectos de fluidez, higroscopicidade e empedramento, pois esses fatores implicam em menor superfície de contato e exposição com o meio. Os fertilizantes granulados podem apresentar segregação, que é a separação das partículas de diferentes formatos, tamanhos e densidades.

De acordo com Lopes (2000) a segregação das partículas pode ser definida pelo grau de segregação, que é a separação e acomodação seletiva das partículas por ordem de tamanho, devido a movimentação e trepidação do produto dentro do reservatório. Tal fenômeno pode comprometer seriamente a homogeneidade, em especial de mistura de grânulos, onde a separação por ordem de tamanho e densidade leva, automaticamente, à separação dos nutrientes (LOPES, 2000). A segregação é indesejável porque pode afetar a resposta agrônômica (PADILHA, 2005; MOLIN *et al.*, 2009).

O fenômeno da segregação ocorre quando os grânulos ou as partículas de fertilizantes diferem em propriedades físicas a tal ponto que respondem diferentemente às perturbações mecânicas, como trepidações e transportes e manuseio (LOBATO, 2013 e BRONDANI, 2013). Durante a agitação do fertilizante, as partículas de propriedades físicas semelhantes tendem a se juntar, afetando diretamente na homogeneidade do produto (MOLIN *et al.*, 2009; BRONDANI, 2013).

Molin *et al.*, (2009) explana que as características físicas de uma partícula de fertilizante que mais afeta a tendência a segregação é o seu tamanho. partículas de tamanho diferente tendem a segregar durante o manuseio (PADILHA, 2005; BRONDANI, 2013).

De acordo com Padilha (2005), é possível separar em 3 diferentes tipos de segregação, sendo a segregação devido a vibração, formação de cones e efeito balísticos.

A segregação das partículas dos fertilizantes acontece quando são submetidos a vibrações durante o seu transporte por caminhões, por vagões, ou por outros meios de transporte e, principalmente, devido aos manuseios e vibrações que existem na operação de plantio (PADILHA, 2005).

A segregação por formação de cone é a separação de partículas por tamanho, que ocorre quando o material escorre, e as partículas mais finas ficam retidas em sua maior parte por resistência a fricção sobre a superfície da pilha, tendendo a permanecer mais atrás e terminam alojadas no centro da pilha, enquanto as partículas maiores tendem a descender mais se alojando na parte inferior da pilha.

No sistema de aplicação de fertilizante a lança, quando o produto entra em contato com o prato giratório do distribuidor, o fertilizante é propelido através do ar, as partículas de diferentes tamanhos seguem diferentes caminhos devido a ação da gravidade e velocidade do vento, por exemplo, explana Hoffmeister (1979) corroborando com Padilha (2005).

Ao analisar as distribuições dos fertilizantes aplicados por um distribuidor a lança é possível constatar que os fertilizantes apresentaram diferenças significativas na sua formulação ao longo da largura de aplicação, relata Molin *et al.*, (2009) em um de seus trabalhos. Os distribuidores de fertilizantes apresentam grande dependência da qualidade e da condição física do fertilizante a ser aplicado, principalmente relacionado à uniformidade granulométrica, ressalta os mesmos autores.

2.4 Fertilizantes e sua interação ao modo de aplicação

A disponibilidade dos macronutrientes, N, P e K, é de suma importância para o bom desenvolvimento da planta. De acordo com Raij (2011), dos principais nutrientes encontrados nas plantas, o nutriente com menor teor é o fosforo (P), sendo inferior aos teores de nitrogênio (N) e potássio (K). O mesmo autor explana que o fosforo (P),

mesmo em baixo teor nas plantas, é o macronutriente que mais limita as produtividades das culturas.

As doses de aplicação dos fertilizantes fosfatados e, principalmente, os métodos de aplicação ainda têm sido testados e discutidos devido ao grande desempenho, qualidade e crescente nível tecnológico que estão sendo adotados a cada ano.

As principais formas de aplicação de fertilizantes na agricultura são: a aplicação no sulco de semeadura, durante a operação de plantio e a aplicação a lanço em área total. Malavolta (1981) explana que a aplicação de fertilizante no sulco de plantio diminui a adsorção do fósforo (P), como consequência disso apenas um pequeno volume de raízes entra em contato com o fertilizante.

A aplicação do fertilizante a lanço em área total e a sua incorporação posterior proporciona maior nível de adsorção de P, segundo Teixeira *et al.*, (2013). O mesmo autor ressalta que, devido maior adsorção de P no solo, as plantas tem baixo aproveitamento de tal nutriente. No entanto, existe uma grande discussão sobre a resposta desse método em relação aos teores de fósforo (P) já existentes no solo, bem como o alto rendimento operacional que o método aqui mencionado proporciona.

A adubação fosfatada a lanço no sistema de plantio direto (SPD) proporciona maior rendimento operacional no plantio, podendo ser realizada antes ou após a operação de semeadura, segundo Nunes *et al.* (2011) e Barbosa *et al.*, (2015), entretanto, tal operação causa o efeito de maior complexação aos colóides do solo (TEIXEIRA *et al.*, 2013).

A semeadura realizada apenas com sementes, de acordo com Nunes *et al.*, (2011) e Barbosa *et al.*, (2015), proporciona o aumento significativo no rendimento operacional, por não haver a necessidade do abastecimento do fertilizante nas semeadoras, aumentando a eficiência gerencial da operação.

Tem-se observado que muitos produtores com alto nível tecnológico optam em realizar a aplicação do fertilizante a lanço, já que existem semeadoras com caixa central de sementes (sem compartimento para fertilizantes) com grande capacidade, tornando a operação de semeadura mais eficiente (KURIHARA; HERNANI, 2011). Os mesmos autores ressaltam que as operações de plantio, as quais utilizam a aplicação localizada do fertilizante, tendem a ter menor rendimento operacional, maior quantidade de parada para o abastecimento da máquina.

A forma de aplicação dos fertilizantes e a interação com os componentes edáficos e da natureza da fonte são fatores que influenciam diretamente na produtividade, apontam Santos *et al.*, (2008) e Lobato (2013).

Diante dos pontos aqui descrito, nota-se que o principal gargalo para uma boa qualidade de distribuição de fertilizantes, seja a aplicação localizada ou a aplicação a lanço, consiste, principalmente, na boa qualidade física do fertilizante.

3 MATERIAL E MÉTODOS

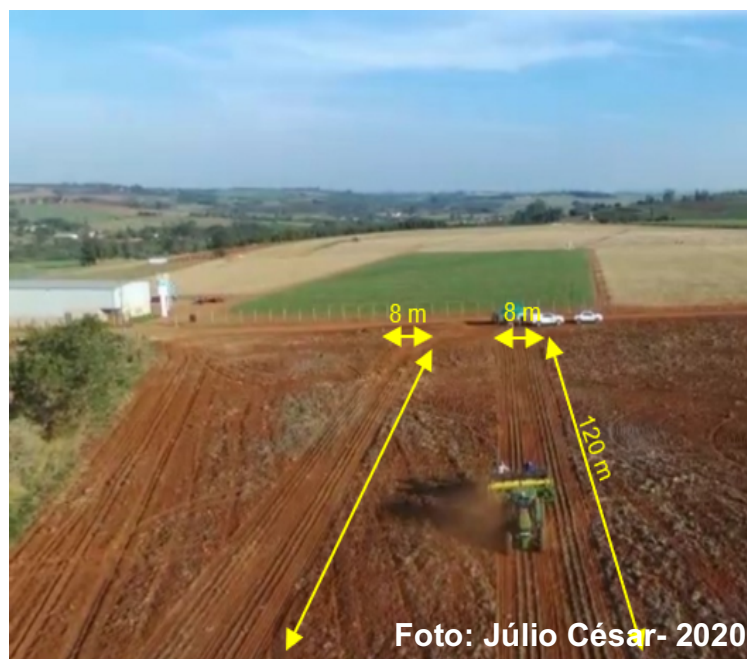
3.1 Área experimental

O presente trabalho foi conduzido na área experimental da Fundação de Pesquisa e Desenvolvimento da empresa Compass Minerals®, localizada no Km 125 da Rodovia Marrafon, com coordenadas geográficas de 22°38'40.2" S latitude e longitude de 47° 30'17.8" W, município de Iracemápolis – SP.

O conjunto trator-semeadora trabalhou sob condições de solo solto trabalhado (Sistema convencional), com a operação de gradagem, utilizando uma grade intermediária e a grade niveladora, para uniformizar as condições do ensaio.

Para a coleta de dados, estabeleceu-se duas faixas, com 8 metros de largura por 120 metros de comprimento (Figura 1).

Figura 1- Imagem aérea da área experimental



3.2 Fertilizantes

Para a presente pesquisa foram utilizados 5 diferentes fertilizantes granulados fosfatados, de mineral complexo, ou seja, todos os nutrientes em um só grânulo. As garantias nominais dos fertilizantes utilizados estão descritas na tabela 1.

Tabela 1- Descrição dos elementos e garantias nominais dos fertilizantes.

TRATAMENTOS	ELEMENTOS	
	GARANTIAS NOMINAIS	
F1	N = 11 %; P2O5 (CNA + H2O) = 52 %	
F2	N = 9 %; P2O5 (CNA + H2O) = 38 %; S (TOTAL) = 11,5 %; B= 0,1 %; Cu = 0,1 %; Mn = 0,3 %; Zn = 0,3 %	
F3	N = 9 %; P2O5 (CNA + H2O) = 44 %; S (TOTAL) = 9 %; B= 0,05 %; Cu = 0,05 %; Mn = 0,1 %; Zn = 0,1 %	
F4	N = 4 %; P2O5 (CNA + H2O) = 28 %; K2O (H2O) = 8 %; Ca = 3,9 %; S (TOTAL) = 7,1 %; B= 0,03%; Mn = 0,05 %; Zn = 0,1 %	
F5	N = 4 %; P2O5 (CNA + H2O) = 30 %; K2O (SOL. H2O) = 10 %; Ca= 7,1 %; Mg = 1,3 %	

3.3 Conjunto Trator-Semeadora

Para a coleta dos resultados a campo, foi utilizada uma semeadora-adubadora pneumática de 8 linhas da marca John Deere, modelo 1109, equipada com o sistema dosador de fertilizante da mesma marca, com transporte de fertilizante pelo sistema helicoidal, com passo de 1 polegada. O trator utilizado durante o ensaio é da marca John Deere 4x2 TDA (tração dianteira auxiliar), modelo 6100 da série “j” (Figura 2).

Figura 2- Conjunto Trator-Semeadora

Foto: Júlio César-

3.3.1 Manutenção e limpeza do sistema

Para garantir um bom funcionamento do dosador de fertilizante foi realizada a manutenção e limpeza do sistema distribuidor de fertilizante. Com auxílio de um paquímetro, realizou-se a aferição dos helicoides afim de padronizar seu tamanho para evitar variação na dosagem.

Figura 3- Limpeza dos helicoidais da semeadora

3.3.2 Regulagem e aferição do sistema

A semeadora utilizada no presente trabalho estava equipada com um motor de acionamento hidráulico responsável por movimentar o eixo do dosador de fertilizante. Com a movimentação do eixo feita através de um motor hidráulico, toda a variação do sistema como deslizamento da roda motriz, diferença entre pressão dos pneus e problemas com caixa de engrenagem foram anulados, garantindo maior estabilidade e confiabilidade nos dados coletados.

A regulagem da dose foi realizada através do monitor presente dentro da cabine do trator (Figura 4). A dose pré-estabelecida para todos os fertilizantes foi de 200 kg.ha-1. A regulagem do sistema dosador da semeadora foi realizada previamente, de acordo com as características físicas do fertilizante, como peso e densidade, por exemplo.

Figura 4- Calibragem do sistema

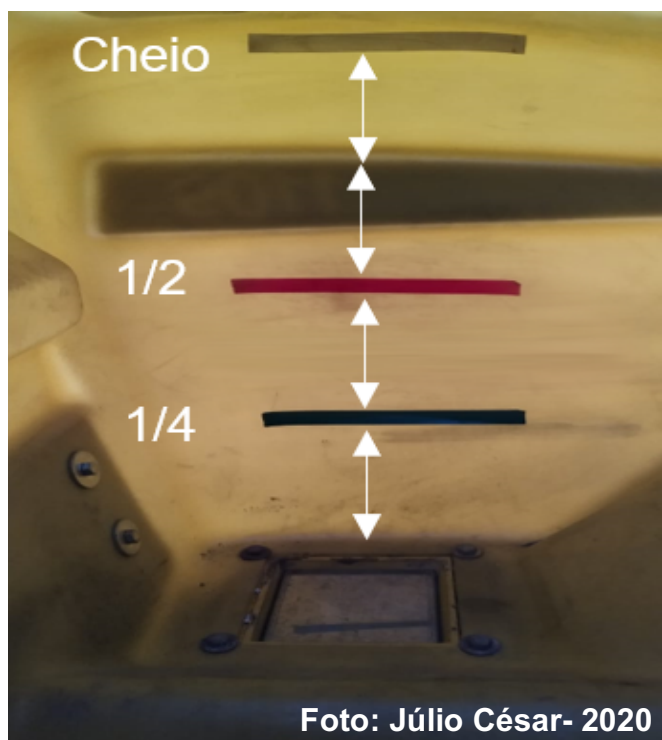
3.3.3 Metodologia de coleta

Para a obtenção dos dados de campo, foi estabelecida uma distância de 120 metros da faixa de coleta, sendo 20 metros para estabilização do sistema dosador de fertilizante, antes de cada repetição, e 100 metros de coleta efetiva.

Foram realizadas demarcações de 3 diferentes níveis dentro do reservatório de fertilizantes, sendo o reservatório cheio (100%), $\frac{1}{2}$ (50%), e $\frac{1}{4}$ (25%), de acordo com a figura 5.

O reservatório de fertilizante foi demarcado através da sua capacidade de volume, de acordo com suas dimensões. O formato do reservatório de fertilizante é geometricamente padrão, facilitando as demarcações.

Figura 5- Demarcação do reservatório de fertilizante



Foram coletadas amostras das 6 linhas da semeadora em cada nível do reservatório sendo, 100%, 50% e 25% de enchimento, com 4 repetições para cada nível.

Foram coletados os fertilizantes com auxílio de sacos plásticos e posteriormente pesados em balança eletrônica (Figura 6).

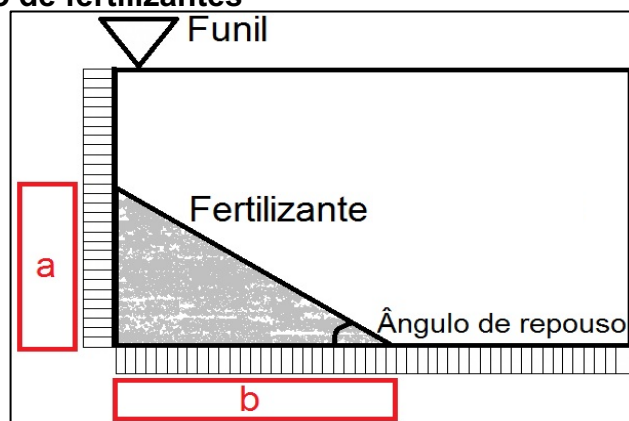
Figura 6- Coleta do fertilizante

3.4 Tratamentos

Para essa avaliação foram utilizados 5 diferentes tipos de fertilizantes (F1, F2, F3, F4 e F5) e 3 diferentes níveis do reservatório da semeadora-adubadora (100%, 50% e 25% da capacidade do reservatório). Delineamento experimental foi em esquema fatorial duplo 3x5, com (3 níveis do reservatório e 5 tipos de fertilizantes) e 4 repetições em cada tratamento.

3.5 Ângulo de repouso

Para a determinação do ângulo de repouso dos fertilizantes foi utilizado uma caixa com as laterais de acrílico e um funil para direcionar o fertilizante até o fundo da caixa de acrílico, representado pela figura 12, seguindo a metodologia proposta por Reynaldo & Gamero (2015). Para maior confiabilidade dos dados, foram realizadas 4 repetições para cada fertilizante.

Figura 7-Representação esquemática de equipamento para determinação do ângulo de repouso de fertilizantes

Fonte: CRISPIM (2017).

Figura 8- Caixa para análise do angulo de repouso



Os dados obtidos nessa etapa foram calculados a partir da equação descrita abaixo.

$$\text{Ângulo de repouso} = \text{Arc Tang} \times \frac{a}{b} \quad (1)$$

Onde a é representado pelo eixo vertical e b é representado pelo eixo horizontal.

3.6 Densidade e Umidade

Para a determinação do teor de umidade a 65°C da amostra, foi utilizada a metodologia proposta pelo MAPA (2017).

A avaliação da umidade dos fertilizantes foi realizada através do método clássico. Com as amostras de fertilizantes dentro de uma capsula de alumínio, pesou-se as amostras *in natura* (G1) em uma balança com precisão de 0,01 grama e levou-se as amostras em estufa com temperatura de $65 \pm 5^\circ$ celsius até a massa permanecer constante. Após esse período, pesou-se novamente as amostras (G2) e determinou-se a umidade por diferença de peso.

Para calcular o percentual de umidade da amostra a 65°C utilizando dos dados coletados, utilizou-se a seguinte equação.

$$U_{65}(\%) = \frac{100(G1-G2)}{G1} \quad (2)$$

Onde $U_{65}(\%)$ é a umidade da amostra a 65°C. G1 é a massa da amostra "*in natura*", em gramas e G2 é a massa da amostra secada a 65°C, em gramas.

A densidade do fertilizante foi calculada com base na massa (g) e volume (ml) do mesmo. Com auxílio de uma balança com precisão de 0,01 grama e um recipiente com graduação volumétrica.

$$\text{Densidade} = \frac{M}{V} \quad (3)$$

Onde M é a massa do produto em gramas e V é o volume em mililitros.

3.7 Índice de Dispersão de Partículas

Baseado na metodologia proposta pelo MAPA (2017) realizou-se a análise granulométrica das amostras de cada nível do reservatório. Foram utilizadas 300 gramas de cada amostra, pesado com precisão de 0,01 g, e transferida para o conjunto de peneiras com tamanho de 4; 3,36; 2,38; 2 e 1 mm, na qual foram encaixadas umas sobre as outras, em ordem crescente de abertura de malha, ficando a de malha maior acima.

Figura 9- Agitador mecânico



Foto: Júlio César- 2020

Com as peneiras acopladas em um agitador mecânico, o mesmo agitou por 10 minutos, em seguida realizou-se a pesagem de cada peneira, e calculada o percentual em massa do material passante em cada peneira (equação 3).

$$\text{Porcentagem de amostra passante na 1ª peneira} = 100 - \left(\frac{100R1}{G} \right) \quad (4)$$

Onde G é representado pela massa da amostra analisada, em gramas; $R1$ é a massa da fração retida na primeira peneira em específico, em gramas.

É de suma importância que, durante o cálculo, a partir da segunda peneira (3,36 mm), o retido acumulado deve também incluir a porcentagem retida na peneira de cima (4 mm) e assim sucessivamente. Para a peneira de 2,38 mm, por exemplo, deve-se somar a porcentagem de retido na própria peneira mais as porcentagens retidas nas peneiras de 4 e 3,36 mm.

O Índice de Dispersão Granulométrica ou de Partículas (GSI, de *Granulometric Spread Index*), de acordo com MAPA (2017), foi determinado através da análise granulométrica do fertilizante. Para a confecção dos cálculos, foi utilizado as seguintes equações.

$$GSI = \left(\frac{D16 - D84}{2D50} \right) \times 100 \quad (5)$$

Onde $D16$ é o diâmetro teórico de abertura de malha em que a contagem acumulada de massa retida é de 16%; $D84$ é o diâmetro teórico de abertura de malha em que a porcentagem acumulada de massa retida é de 84% e $D50$ é o diâmetro teórico de abertura de malha em que a porcentagem acumulada de massa retida é de 50%.

Para realizar os cálculos de $D16$, $D84$ e $D50$ foi utilizado as seguintes equações.

$$D84 = P84 + \left(\frac{\%RP84 - 84}{\%RP84 - \%RPM84} \right) \times (PM84 - P84) \quad (6)$$

$$D50 = P50 + \left(\frac{\%RP50 - 50}{\%RP50 - \%RPM50} \right) \times (PM50 - P50)$$

$$D16 = P16 + \left(\frac{\%RP16 - 16}{\%RP16 - \%RPM16} \right) \times (PM16 - P16)$$

Sendo: P_{84} , P_{50} e P_{16} são as malhas das peneiras, em milímetros, nas quais as porcentagens acumuladas de partículas, em massa, são iguais ou superiores a

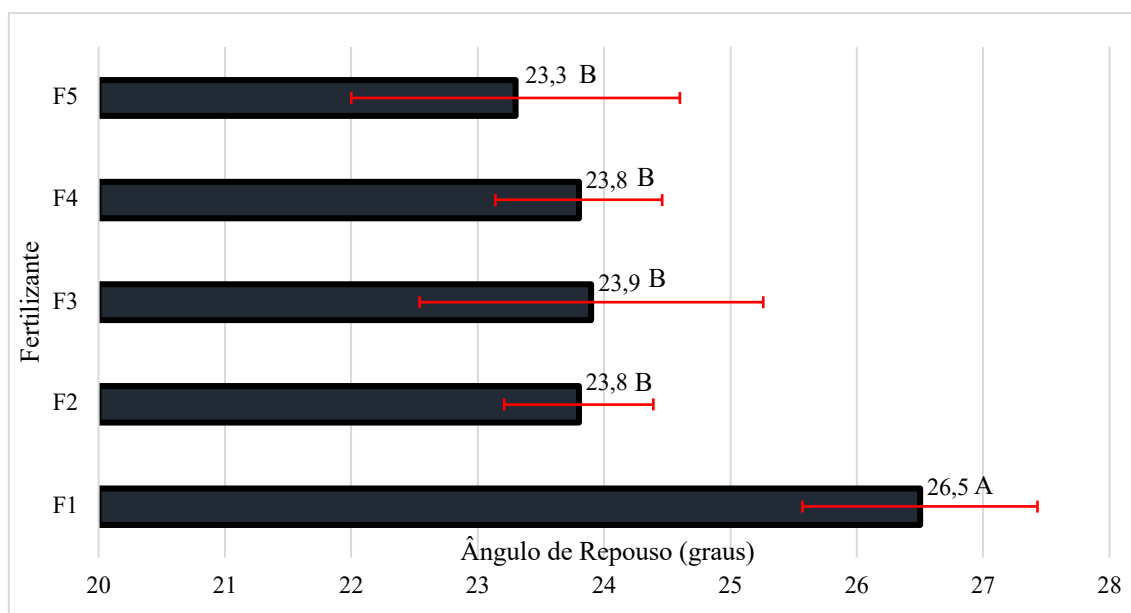
84%, 50% e 16%, respectivamente. PM_{84} , PM_{50} e PM_{16} são malhas das peneiras, em milímetros, nas quais as porcentagens acumuladas de partículas, em massa, são iguais ou inferiores a 84%, 50% e 16%, respectivamente. As porcentagens retidas acumuladas nas malhas de PM_{84} , PM_{50} e PM_{16} são representadas, respectivamente, por $\%RPM_{84}$, $\%RPM_{50}$ e $\%RPM_{16}$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ângulo de repouso

Os valores de ângulo de repouso dos fertilizantes são apresentados na tabela 2.

Tabela 2-Teste de médias para o ângulo de repouso dos fertilizantes; diferença mínima significativa indicada pela barra em vermelho.



**Letras maiúsculas indicam diferenças de médias pelo teste de Tukey à 95% de probabilidade em relação ao ângulo de repouso do fertilizante.

Pode-se definir o ângulo de repouso como sendo o ângulo máximo de inclinação no qual o fertilizante está em repouso. Quando submetido a um ângulo de inclinação acima, o material começa a fluir; abaixo deste ângulo, o material é estável (KLEINHANS, 2011). Gaylord e Gaylord (1984) explanam que o ângulo de repouso influencia no fluxo do material, de acordo com a tabela 3.

Tabela 3- Fluxo dos produtos (GAYLORD e GAYLORD, 1984)

Ângulo de repouso (°)	Tipo de fluxo
25 a 30	Fluxo Livre
30 a 38	Fluxo Fácil
38 a 45	Instabilidade no tipo de fluxo
45 a 55	Podem requerer equipamentos especiais
55 a 70	Requerem equipamentos especiais

Segundo a Enciclopédia Agrícola Brasileira (1994), citada por Mialhe (1996), os fertilizantes que apresentam ângulo de repouso menor que 40 graus, são denominados fertilizantes com boas características de escoamento. FERREIRA (2018), em sua pesquisa, aborda que o ângulo de repouso está associado a aplicações específicas e ao comportamento correspondente (ou seja, fluidez, atrito, etc.)

Pelos resultados obtidos, observa-se que todos os fertilizantes estão abaixo do valor citado por Gaylord e Gaylord (1984) e Mialhe (1996). Estatisticamente, o fertilizante F1 apresenta menor índice de escoabilidade (“drillability”) do que os demais fertilizantes analisados.

Camacho-Tamayoto *et al.*, (2009) relata em um dos seus trabalhos, avaliando diferentes dosadores comerciais de fertilizantes e corretivos que, o ângulo de repouso apresentado pelo fertilizante tem influência direta na quantidade a ser dosada, devido o maior índice de escoabilidade do produto.

4.2 Granulometria

De acordo com o teste de granulometria, quanto mais o fertilizante segregar, ou seja, quanto mais ele se separar nas peneiras, menor será a qualidade de aplicação do mesmo. De acordo com Mobius *et al.*, (2001), os fertilizantes granulados se diferem de outros materiais na forma que respondem aos distúrbios mecânicos, a vibração.

A avaliação realizada por Mobius *et al.*, (2001) está intimamente ligada ao relatório de número 300 da International Fertilizer Society- IFA (2018) que, quando a razão da distribuição granulométrica é maior que 1,2: 1, a segregação tem maior propensão a ocorrer.

Analisando os resultados apresentados na tabela 4, é possível identificar a regularidade da granulometria dos fertilizantes.

Tabela 4- Teste de médias entre as peneiras e os fertilizantes**Taxa granulométrica dos fertilizantes (%)**

	Peneiras (mm)					
	4 mm	3,36 mm	2,38 mm	2 mm	1 mm	Fundo
F1	4,91 Ab	43,75 Aa	45,56 Ca	2,63 Cbc	2,78 CDbc	0,37 Abc
F2	0,03 Cc	21,98 Bb	75,94 Aa	1,22 Cc	0,64 Dc	0,19 Bc
F3	1,09 Bd	8,51 CDc	67,01 Ba	13,89 Bb	9,07 Cc	0,43 Abd
F4	0,46 BCd	7,02 Dc	51,25 Ca	17,37 Ab	22,57 Ab	1,33 Abcd
F5	4,74 Ac	15,69 BCb	47,46 Ca	13,73 Bb	16,00 Bb	2,38 Ac

**Letras minúsculas indicam diferença de médias entre fertilizantes pelo teste de Tukey à 95% de probabilidade; Letras maiúsculas indicam diferenças de médias pelo mesmo teste em relação as peneiras.

Um fertilizante com regularidade no tamanho de suas partículas promove melhor desempenho, segundo Reynaldo (2016). A regularidade granulométrica é evidente no F2, nota-se que 97% dos grânulos estão presentes nas peneiras 3,36 mm e 2,38 mm, sendo que 75,93% apenas na peneira com abertura de 2,38 mm. O fertilizante F1 apresentou resultado similar, sendo 89% dos grânulos nas peneiras P2 e P3, sendo 43,7% na P2 e 45,5% na 2,38 mm, não apresentando diferença estatística. Em relação a qualidade granulométrica de fertilizantes, o F1 e F2 apresentam melhores resultados, apresentando baixa segregação. Molin *et al.*, (2009) em uma das suas pesquisas com diferentes fertilizantes e aplicação por um distribuidor centrífugo, relatou que, fertilizantes com alta taxa de segregação têm desuniformidade na qualidade de distribuição, corroborando com a pesquisa realizada com Reynaldo (2016).

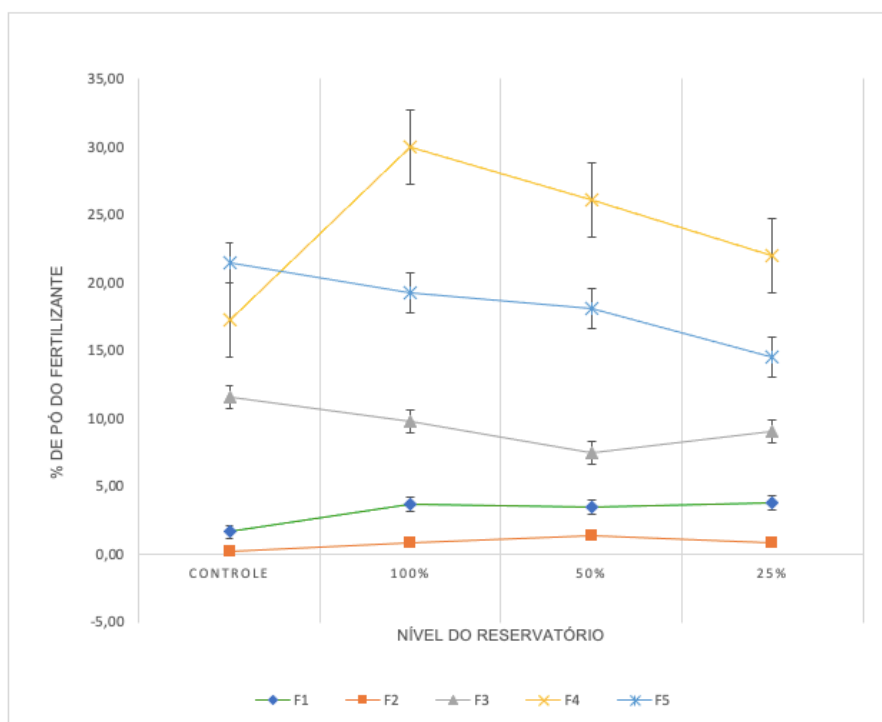
A qualidade física do fertilizante F3 apresenta diferença quando comparados com o F1 e F2. Nota-se que, o F3 tem maior concentração de grânulos nas peneiras 2,38 mm, sendo 67,02%, e 2 mm com 13,9%, totalizando 80,02%, apresentando grânulos menores.

No fertilizante F4 é possível notar que 51,26% dos grânulos ficaram retidos na 2,38 e 22,56% ficaram retido na peneira com abertura de malha de 1mm. Já o F5 apresenta, nesse teste, o maior índice de dispersão de partículas, se separando em todas as peneiras. O F4 e F5 apresentaram os piores resultados no teste de granulometria, sendo separado em diferentes peneiras. Camacho-Tamayoto *et al.* (2009) relatam que, a precisão de dosagem dos fertilizantes depende do tamanho das partículas, velocidade do helicóide e a densidade aparente do produto.

A consistência física de um grânulo de fertilizante é uma medida utilizada para determinar a dureza, ou seja, a capacidade de suportar uma determinada carga sem que o grânulo quebre, afetando a qualidade granulométrica e aumentando a formação de partículas de menor tamanho e pó. De acordo com Padilha (2005), os fertilizantes podem sofrer segregação e quebra dos grânulos no processo de manuseio e transporte. Para analisar a qualidade física dos fertilizantes e sua resistência, analisou-se o índice de formação de pó antes e após a passagem do fertilizante no dosador.

Os fertilizantes F1 e F2 apresentaram os melhores resultados, demonstrando valores extremamente baixos de índice de pó, quando comparados aos demais fertilizantes, conforme tabela 5.

Tabela 5- Índice de formação de pó dos fertilizantes



De acordo com a instrução normativa de número 39, de 8 de agosto de 2018, da ABNT (2018), os fertilizantes devem apresentar suas especificações de natureza física e garantia granulométrica. A especificação de natureza física dos fertilizantes deve apresentar, para a peneira de 4,8 mm (ABNT 4) uma quantidade de grânulos passantes de 95%, para a peneira com malha de 2mm (ABNT 10) 40% de partículas

passantes e para a peneira de malha de 1 mm (ABNT 18) apenas 5 % de partículas passantes.

O fertilizante F4 apresentou um comportamento no qual o resultado está diretamente ligado a dureza do grânulo. Para a coleta de controle, o fertilizante apresentou um resultado de 17,3%, para a coleta com o nível do reservatório a 100% o resultado de 30,05%, para 50% de capacidade do reservatório o valor de 26,14% e o valor de 22,01% com o reservatório a 25% da sua capacidade. Esse comportamento é característico de grânulos com baixa dureza e resistência a abrasão. O contato do fertilizante com o reservatório e com o movimento dos helicoides dentro do dosador de fertilizante promoveu uma maior quebra dos grânulos e, conseqüentemente, maior formação de pó.

O fertilizante F5 apresentou resultados de grânulos mais estáveis e decrescente, com o declínio linear entre os valores. O controle apresentou um resultado de 21,5%, O reservatório com 100% da capacidade com o valor de 19,26%, com 50% o valor de 18,08% e para 25% da capacidade do reservatório com o valor de 14,53%.

Nota-se um comportamento regular entre os fertilizantes no presente teste. O declínio no índice de formação de pó é nítido na tabela apresentada acima, esse comportamento é característico ao índice de segregação, no qual o princípio de segregação é a divisão de partículas em diferentes tamanhos, as partículas de menor tamanho tentem a ficar no fundo da caixa e as partículas maiores, na superfície (WILLIAMS, 1990).

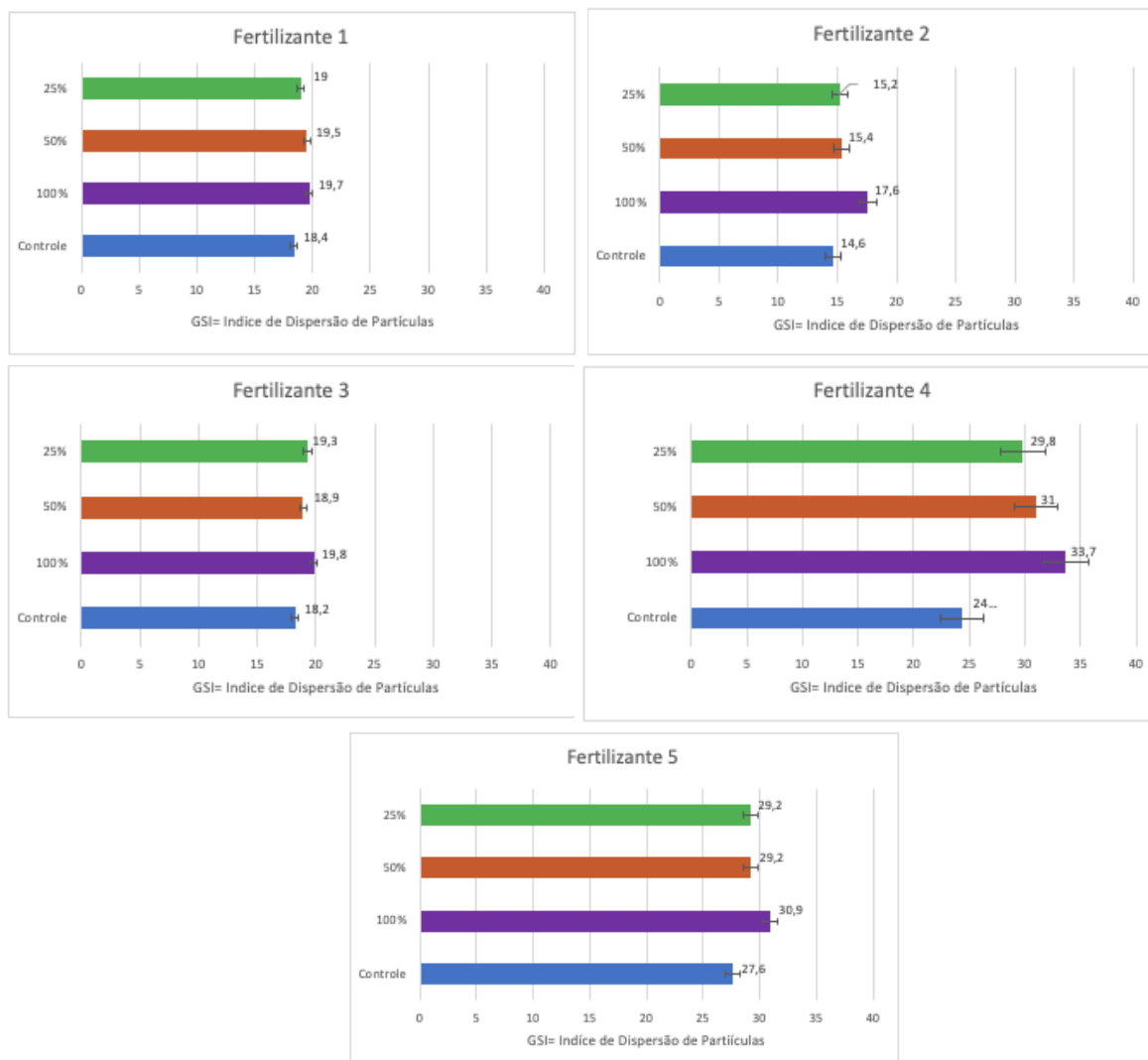
Grafton *et al.*, (2015) cita que, partículas com diferentes tamanhos nos fertilizantes afetam a qualidade de distribuição. A irregularidade no tamanho dos grânulos implicará em problemas na uniformidade de aplicação, alterando principalmente a quantidade de fertilizante dosado (GRAFTON, *et al.*, 2015).

4.3 Índice de dispersão de partículas (GSI)

De acordo com o MAPA (2017), o Índice de Dispersão de Partículas (GSI) é uma medida da dispersão do tamanho das partículas, utilizado para expressar a dispersão granulométrica das partículas de um produto. Os dados podem ser interpretados de acordo com a tabela 6.

É possível observar o comportamento dos diferentes fertilizantes quando expostos às condições do dosador de fertilizantes.

Tabela 6- Índice de dispersão de partículas (GSI) dos fertilizantes



Apenas os fertilizantes F1, F2 e F3 apresentaram resultados médios com o GSI abaixo de 25, no qual o MAPA (2017) descreve como “produto com alta uniformidade de aplicação”. Os fertilizantes F4 e F5 apresentam valores do GSI alto, implicando negativamente na uniformidade de aplicação do produto.

O F2 apresentou menor índice de dispersão de partículas, com o GSI médio de 15,7. Os fertilizantes F1 e F3 obtiveram comportamentos similares na avaliação do GSI.

Os fertilizante F4 e F5 foram os que apresentaram maior GSI, sendo os fertilizantes com baixa qualidade de aplicação, de acordo com o MAPA (2017).

O índice de dispersão de partículas está ligado diretamente com o índice de formação de pó, com isso, a tabela a seguir mostra todos os dados para melhor interpretação.

Tabela 7- Valores de Índice de formação de pó (IFP) e valores de índice de dispersão de partículas (GSI)

	F1		F2		F3		F4		F5	
	IFP	GSI	IFP	GSI	IFP	GSI	IFP	GSI	IFP	GSI
Controle	1,66%	18,4	0,23%	14,6	11,58%	18,2	17,30%	24,3	21,50%	27,6
100%	3,68%	19,7	0,83%	17,6	9,78%	19,8	30,05%	33,7	19,26%	30,9
50%	3,52%	19,5	1,40%	15,4	7,53%	18,9	26,14%	31	18,08%	29,2
25%	3,80%	19	0,86%	15,2	9,06%	19,3	22,01%	29,8	14,53%	29,2

O Fertilizante 2 apresentou menor GSI e consequentemente menor índice de formação de pó.

A dureza do grânulo é um ponto importante a se considerar, pois a coleta referente a 100% do reservatório representa a primeira coleta após o fertilizante passar pelo sistema dosador. O aumento significativo da formação de pó e, consequentemente, do GSI entre as coletas Controle e 100% do reservatório mostram que o grânulo sofreu quebra nesse primeiro processo. A dureza do grânulo faz com que ele seja mais resistente aos impactos e abrasões.

Ao analisar a tabela 8, observa-se que a quantidade de fertilizante dosada, apresentou baixa variação entre as condições de preenchimento do reservatório de fertilizantes.

Tabela 8-Teste de médias para coleta dos fertilizantes em diferentes níveis do reservatório.

Nível do Reservatório	Fertilizantes (kg/ha)				
	F1	F2	F3	F4	F5
100%	192,6 Ac	177,8 Bd	237,7 Aa	221,8 Ab	179,9 Bd
50%	193,8 Ac	180,2 ABd	228,7 Ba	220,2 Ab	181,6 Bd
25%	195,1 Ac	182,9 Ad	229,2 Ba	223,1 Ab	185,9 Ad

**Letras minúsculas indicam diferença de médias entre fertilizantes pelo teste de Tukey à 95% de probabilidade; Letras maiúsculas indicam diferenças de médias pelo mesmo teste em relação ao nível de preenchimento da caixa de fertilizantes.

Ao analisar os fertilizantes da tabela 8, nota-se diferença de quantidade entre os tratamentos. Essa diferença se dá pela diferença de densidade e fluidez dos fertilizantes. No processo de coleta de dados, a semeadora passou por ajustes na dosagem para cada fertilizante, e nota-se que os tratamentos F3 e F4 apresentaram maior quantidade de dosagem média.

Estatisticamente, os fertilizantes testados apresentaram diferenças significativas ao teste de Tukey à 95 % de probabilidade. Vale ressaltar que 5 % de significância, para a distribuição de fertilizantes, é uma análise rigorosa, devido ao tipo de operação.

O comportamento dos fertilizantes dentro do reservatório da semeadora é um ponto pouco estudado. Sabe-se que a fluidez, densidade e granulometria são pontos que influenciam nesse comportamento, assim explanado por Gayloard e Gayloard (1984) e Ferreira (2018).

Os tratamentos F1, F2 e F5 apresentaram uma dosagem de fertilizante crescente ao longo das coletas nas diferentes condições de preenchimento do reservatório. Já o F3 apresentou comportamento contrário, a quantidade de fertilizante dosado foi decrescente ao longo das coletas.

As características físicas dos fertilizantes são importantes para analisar tal situação, porém, no presente estudo, nota-se que o comportamento dos fertilizantes apresentam mais alguns aspectos que causam influência no comportamento dos grânulos dentro do reservatório, como a disposição construtiva do dosador de fertilizantes, inclinação da semeadora, ângulo de repouso, densidade, granulometria, teor de água no fertilizante, tipo de helicóide, velocidade de acionamento, rotação do sistema e nível do reservatório, também citado por Becker (2020). Observa-se que há a necessidade de mais estudos relacionado a dinâmica física dos fertilizantes.

Para melhor compreender a dinâmica de comportamento dos fertilizantes, diante das suas condições físicas, submeteu-se os dados a uma análise de dispersão. Ao aplicar os dados a essa análise de dispersão (Tabela 10), é possível observar a regularidade e a variação da distribuição dos fertilizantes nas diferentes condições de preenchimento do reservatório da semeadora.

Tabela 9 - Coeficiente de variação aplicado as diferentes condições de preenchimento do reservatório

Fertilizantes	Coeficiente de Variação (%)		
	Nível do Reservatório		
	100%	50%	25%
F1	4,56	3,13	2,48
F2	3,17	3,34	3,31
F3	2,82	3,37	2,66
F4	2,11	2,53	2,44
F5	2,64	2,63	1,81

Através da estatística descritiva aplicada aos resultados da tabela 10, nota-se que os fertilizantes F1 e F2 apresentaram maiores variações. Tal resultado pode ser comparado com as características granulométricas de cada fertilizante, presente na tabela 4.

De acordo com Becker (2020), quanto menor a granulometria do fertilizante maior será o fluxo mássico. O F1 e F2 apresentam grande parte de seus grânulos em apenas duas peneiras, sendo a peneira de malha 3,36 mm e 2,38 mm.

O tamanho dos grânulos e o sistema de dosagem do fertilizante são pontos que podem afetar o coeficiente de variação, pois como explanado por Becker (2020), a disposição construtiva do dosador, tipo de helicóide e qualidade granulométrica dos fertilizantes são pontos que afetam a distribuição.

O F2 apresentou resultados linear quanto aos diferentes níveis do reservatório da semeadora. O F2 possui alta regularidade nos tamanhos dos grânulos, isso justifica baixa variação nas diferentes condições de preenchimento.

5 CONCLUSÃO

Todos os fertilizantes analisados apresentaram ângulo de repouso menor que 40 graus, sendo classificados como de boa escoabilidade.

Todos os fertilizantes, independente da tecnologia, sofreram quebra dos grânulos no contato com o helicoide do dosador.

O fertilizante 2 apresentou maior uniformidade granulométrica, menor índice de formação de pó e um ângulo de repouso mais baixo. Fertilizantes com essa característica são ideais para aplicação via sulco e distribuição a lanço.

O fertilizante 4 apresentou alto índice de formação de pó e baixa qualidade granulométrica, mas não apresentou influência na quantidade a ser distribuída.

A diferença do enchimento da semeadora com os fertilizantes (níveis do reservatório), para as condições e fertilizantes analisados, não causou diferença expressiva na deposição.

REFERÊNCIAS

- ASABE. ASAE S341.3. **Procedure for measuring distribution uniformity and calibrating granular broadcast spreaders**. St Joseph: ASABE Standards, 2006. p. 215-218.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 5990: **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 39, DE 8 DE AGOSTO DE 2018**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-39-2018-fert-minerais-versao-publicada-dou-10-8-18.pdf>. Acessado em 08. Ago. 2021.
- BARBOSA, N. C. et al. Distribuição vertical do fósforo no solo em função dos modos de aplicação. **Bioscience Journal**, Darmstadt, v. 31, n. 1, p. 87-95, 2015.
- BARBOSA, N. C.; ARRUDA, E. M.; BROD, E.; PEREIRA, H. S. Distribuição vertical do fósforo no solo em função dos modos de aplicação. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 1, 2015.
- BEAKAWI AL-HASHEMI, H. M.; BAGHABRA AL-AMOUDI, O. S. A review on the angle of repose of granular materials. **Powder Technology**, v. 330, n. May, p. 397–417, 2018.
- BETTIO, C. S.; GANASCINI, D.; WUNSCH, C. A.; RENOSTO, L. D.; GURGACZ, F. **Avaliação do perfil de distribuição transversal de um distribuidor a lanço pendular**. in: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA. 73. 2016. Foz do Iguaçu, PF:2016. Disponível em: <https://confea.org.br/sites/default/files/uploads-imce/contecc2016/agronomia/avalia%C3%A7%C3%A3o%20do%20perfil%20de%20distribui%C3%A7%C3%A3o%20transversal%20de%20um%20distribuidor%20a%20lan%C3%A7o%20pendular.pdf>. Acesso em 05 fev. 2021.
- BECKER, R. S. **Desenvolvimento de sensor para quantificação do fluxo de massa de fertilizantes sólidos**. 2020.
- BRASIL. MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Secretaria de defesa agropecuária. Brasília, DF:MAPA, 2017.
- BROCH, D.L.; RANNO, S. K. Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura da soja. **Tecnologia de produção de soja e milho**, v. 2009, p. 5-36, 2008.
- BRONDANI, L. B. **Desempenho de protótipos de disco para distribuição de ureia a lanço**. 2013.(Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria,2013.

CAMACHO-TAMAYO, J. H; BARBOSA, A. M; PÉREZ, N.M; LEIVA, F.R; RODRIGUES, G. A. Operational characteristics of four metering systems for agricultural fertilizers and amendments. **Engenharia Agrícola**, v. 29, p. 605-613, 2009.

CRISPIM, V, C. **Fluidez de fertilizantes**. Universidade Estadual de Mato Grosso, 2017. Disponível em: <http://agrosenso.blogspot.com/2017/09/fluidez-de-fertilizantes.html>. Acesso em: 07 Dez. 2020

DALLMEYER, A.U. **As máquinas utilizadas na distribuição e incorporação de calcário**. In: SIMPÓSIO SOBRE APLICAÇÃO DE CALCÁRIO NA AGRICULTURA, 1., 1986, Campinas. Anais... Campinas: Fundação Cargill, 1986. p.23-29.

FERREIRA, I. S. B. **Análise do Sistema de Medição e de Fatores do Ângulo de Repouso em Fertilizantes**. 70p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, Catalão, GO. 2018.

FRANCETTO, T. R; DAGIOS, R. F.; FERREIRA, M .F.;ALONÇO, A. S. **Mecanismos dosadores de sementes e fertilizantes presentes nas semeadoras-adubadoras de precisão no Brasil**. CLIA/COMBEA,2012. Londrina-PR,2012. 4 p.

Gaylord, E. H.; Gaylord, C. N. **Design of stell bins for storage of bulk solids** . New Jersey: Prentici–Hall, 1984. 359p.

GILBERTSON, J.; VALLIN, E. Handbook of solid frtiliser blending: Code of good praice for quality. 3. Ed. Laval, França: **European Fertiliser Blenders Association**, 2016.

GONÇALVES, A.O.; MOLIN, J.P.; MENEGATTI, I. A.A. Adulanço 2.0 – Software para análise de distribuição transversal In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., Foz do Iguaçu. Anais...Foz do Iguaçu: **Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola**, 2001.

Grafton, M. C., Yule, I. J., Robertson, B. G., Chok, S. M., & Manning, M. J. Ballistic modeling and pattern testing to prevent separation of New Zealand fertilizer products. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 31, n. 3, p. 405-413, 2015.

HOFFMEISTER, G. Propriedades físicas de fertilizantes e métodos para sua avaliação. Traduzido por Mario Luiz de Castro Mattos. CEFER/IPT 1989. Tradução de: NFDC **National Fertilizer Development Center**. Alabama, 1979.

INTERNATIONAL FERTILIZER ASSOCIATION - IFA. IFA DATA. disponível em <http://ifadata.fertilizer.org/ucSearch.aspx>, acesso em 14 de janeiro de 2018.

KLEINHANS. M. G.; MARKIES, H.; VET, S. J.; VELD, A. C.; POSTEMA, F. N. **Static and dynamic angles of repose in loose granular materials under reduced gravity**. Journal of Geophysical Research: Planets, v. 116, p. 1-13, 2011.

KÜLZER, R. G. **Eficiência agrônômica de diferentes fertilizantes fosfatados na cultura da soja**. 2019. TCC (Agronomia)- Universidade Federal da Fronteira do Sul “Campus Cerro Largo”, Cerro Largo, 2019.

KURIHARA, C. H.; HERNANI, L. C. **Adubação antecipada da soja em plantio direto requer observação de alguns critérios**. [S. l.], 2011. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2011_3/AdubacaoAntecipada/index.htm. Acesso em: 5 jun. 2014.

LANA, R. M. Q., VILELA FILHO, C. E., JÚNIOR, L. A. Z., PEREIRA, H. S., & LANA, Â. M. Q. Adubação superficial com fósforo e potássio para a soja em diferentes épocas em pré-semeadura na instalação do sistema de plantio direto. **Scientia Agraria**, v. 4, n. 1-2, p. 53-60, 2003.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas. ANDA, **Associação Nacional para Difusão de Adubos**. Setembro de 2000.

LUZ, P. H. C., OTTO, R., VITTI, G. C., QUINTINHO, T. A., ALTRAN, W. S., IKEDA, R. Otimização da aplicação de corretivos agrícolas e fertilizantes. IPNI. **International plant nutrition Institute**. Informações agrônômicas. n°129. Março 2010.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: Agrônômica Ceres adubos e adubação**. 3 ed. São Paulo, 1981. 596 p.

MOBIUS, M. E; LAUDERDALE, B. E; NAGEL, S. R.; JAEGER, H. M. Brazil-nut Effect. Size Separation of Granular Particles, **Nature**, v. 414, p. 270, 2001.

MOLIN, J. P.; MACHADO, T. M.; MAGALHAES, R. P.; FAULIN, G. D. C. Segregação de fertilizantes aplicados a lanço. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, p. 614-622, 2009. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162009000400011&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 25 nov. 2020.

MOLIN, J.P.; COELHO, J.L.D.; VASARHELYI, A. **Programa computacional para análise de distribuição transversal em aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21., SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA DO CONE SUL, 1., 1992, Santa Maria. Anais... Santa Maria: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1992. 4 v.

MOLIN, J.P.; MAZZOTTI, H.C. **Influência da utilização e do tipo de amortecedores de ricochete em ensaios de aplicadores a lanço**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.4, n.2, p.281-285, 2000.

MOLIN, J.P.; RUIZ, E.R.S. Validação de métodos simplificados de determinação da largura efetiva para distribuidores de fertilizantes e corretivos a lanço. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., 1999, Pelotas. Anais... Pelotas: **Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola**, 1999.

MOTOMIYA, W. R.; FABRÍCIO, C. F.; MARCHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C.; ROBAINA, A. D.; NOVELINO, J. O. **Métodos de aplicação de fosfato na soja em plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 4, p. 307-312, 2004.

NUNES, R. S.; SOUSA, D. M. G.; GOEDERT, W. J.; VIVALDI, L. J. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Vicosa, MG, v. 35, n. 3, p. 877-888, 2011.

PADILHA, C. S. **Uniformidade de aplicação de fertilizante com diferentes características físicas**. 2005. TCC(Agronomia)-Centro de ciências agrárias, Universidade Estadual de Santa Catarina.

PERON, G. D. C., VON PINHO, R. G., JÚNIOR, L. A. Y. B., VANDER FILLIPE, D. S., PEREIRA, F. D. C., JUNIOR, I. C. V., CARDOSO, D. A. D. B.. influência de formas de adubação de semeadura na produtividade de grãos de híbridos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 1, p. 88-98, 2019.

PETER, D. G., VILAR, C. C., USHIWATA, S. Y., RODRIGUES, O. L. **Modos de aplicação de fertilizante formulado NPK na cultura da soja em sistema de plantio direto**. Global Science and Technology, v. 9, n. 1, 2016. Disponível em <https://www.researchgate.net/profile/Cesar-Vilar-2/publication/308713396_Modos_de_Aplicacao_de_Fertilizante_Formulado_NPK_na_Cultura_da_Soja_em_Sistema_de_Plantio_Direto/links/57ec605908ae92a5dbd06f68/Modos-de-Aplicacao-de-Fertilizante-Formulado-NPK-na-Cultura-da-Soja-em-Sistema-de-Plantio-Direto.pdf>. Acessado em 30 de mar. 2021.

PORTELLA, J. A.; BATISTA, D. G. **Teste eletrônico. Cultivar Máquinas**, Não Me Toque. n. 118, p.12-14, 2012.

RAIJ, B. Van. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: **International Plant Nutrition Institute**, 2011. 420 p.

REETZ, Harold F. **Fertilizantes e seu uso eficiente**. São Paulo: ANDA, 2017.

RESENDE, A. V. **Adubação no sulco do milho garante melhor arranque**. Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado, 2017. Disponível em <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1081572/1/Adubacaosulco.pdf>>. Acessado em 30 de mar. 2021.

RESENDE, A. V. R.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPARA, D. I.; ZILTON, J.; SANTOS, L.; CARNEIRO, L. F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 453-466, 2006a.

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; LAGO, F. J. Resposta do milho a fontes e modos de aplicação de fósforo durante três cultivos sucessivos em solo da região do cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 458-466, 2006b.

REYNALDO, É. F.; GAMERO, C. A. Avaliação de mecanismos dosadores de fertilizantes helicoidais em ângulos de nivelamento longitudinal e transversal. **Energia na Agricultura**, v. 30, n. 2, p. 125-136, 2015.

REYNALDO, É. F.; MACHADO, T. M. Inspeção de distribuidores de fertilizantes sólidos na região centro sul do Estado do Paraná. **Revista Ceres**, v. 63, n. 6, p. 893-898, 2016.

RODELLA, A. A.; ALCARDE, J. C. **Requisitos de qualidade física e química de fertilizantes minerais**. Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: IPEF, p. 59-78, 2000.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BALBINO, L. C. **Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um Latossolo Vermelho do Cerrado**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 43, n. 1, p. 115- 122, 2008.

SIQUEIRA, R. Milho: Semeadoras-adubadoras para sistema de plantio direto com qualidade. In: **XXVII congresso nacional de milho e sorgo**.2008.
SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. Piracicaba, Potafos, 2003. 16 p. (Informações Agronômicas, 102).

TEIXEIRA, R. B. O; ROQUE, C. G.; LEAL, A. J. F.; MINOTTO, V. A.; FREITAS, U. C. Formas de aplicação da adubação fosfatada na cultura da soja em semeadura direta. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v. 11, n. 1, p. 9-15, 2013.

TORRES, A. G., BUENO, M. R., TORRES, U. F., DE OLIVEIRA, M. A. V. G. **comparação da adubação à lanço e em sulco de semeadura na cultura do milho** (Zea mays L.). e-RAC, v. 7, n. 1, 2018.

VALADÃO, F. C. A., DOS SANTOS WEBER, O. L., JÚNIOR, D. D. V., SANTIN, M. F. M., & SCAPINELLI, A. Teor de macronutrientes e produtividade da soja influenciados pela compactação do solo e adubação fosfatada. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 183-195, 2017.

VASCONCELLOS, C. A., DOS SANTOS, H. L., BAHIA FILHO, A. F. C., OLIVEIRA, A. C., PACHECO, E. B. **Amostragem de solo em área com adubação fosfatada aplicada a lanço e no sulco de plantio**. Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado, 1982.

WEISS, A. **Desenvolvimento de um distribuidor helicoidal para calcário seco**. 1986. 79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1986.

WILLIAMS, J. C., **Mixing and Segregation in Powders**, In: Rhodes, M. J. (Org.) Principles of Powder Technology, New York: John Wiley & Sons, Ltd, 1990, cap. 4, p. 71-90.