



EFICIÊNCIA NO RECOBRIMENTO DE FERTILIZANTES FORMULADOS COM MICRONUTRIENTES EM PÓ E POLÍMERO VEGETAL

ALYSSON CICHOSKI ZATOR¹
ANGÉLICA DA SILVA²
MAURICIO FRANCESCHI³

RESUMO: Micronutrientes em pó tendem a segregar em misturas granulares, com impacto direto na qualidade física do produto. O recobrimento dos grânulos com polímeros vegetais surge como alternativa para reduzir esse problema, além de proporcionar uma aplicação mais uniforme no campo. Dessa forma, objetivou-se avaliar, em ambiente industrial, se o recobrimento com polímero vegetal como veículo para micronutrientes em pó melhora a homogeneidade do produto e assegura conformidade com a IN nº 39/2018. A pesquisa foi realizada em uma indústria de fertilizantes no município de Sinop, Mato Grosso, utilizando como base duas formulações 00-18-18, enriquecidas com cálcio, enxofre e os micronutrientes boro, cobre, zinco e manganês. A emulsão utilizada combinava o polímero vegetal com o produto micronutriente em pó, sendo aplicada no misturador durante a homogeneização dos componentes. As coletas de amostras foram feitas de forma aleatória e representativa, abrangendo três safras: 2021/2022, 2022/2023 e 2023/2024, totalizando nove lotes. As amostras foram analisadas em laboratório certificado, com foco na composição química (macro e micronutrientes) e nas características físicas, especialmente a granulometria dos grânulos. Os resultados indicaram que todas as amostras estavam dentro dos limites exigidos pela IN nº 39/2018, tanto em relação às garantias mínimas de nutrientes quanto as garantias químicas exigidas. A aplicação dos micronutrientes por meio do polímero mostrou-se eficiente, proporcionando boa fixação nos grânulos e evitando a separação dos elementos. Com base nos dados obtidos, conclui-se que o uso do polímero vegetal como veículo de aplicação para micronutrientes em pó é uma alternativa tecnicamente viável e eficaz, melhorando a homogeneidade do produto final. O estudo também destaca a relevância de um rigoroso controle de qualidade em todas as etapas da produção, assegurando a conformidade com a legislação vigente e com as exigências do setor agrícola.

PALAVRAS-CHAVE: Fertilizantes minerais; Mistura de fertilizantes; Segregação de nutrientes;

EFFICIENCY IN THE COATING OF FERTILIZERS FORMULATED WITH MICRONUTRIENT POWDER AND PLANT-BASED POLYMER

ABSTRACT: Powdered micronutrients tend to segregate in granular mixtures, directly impacting the physical quality of the product. Coating the granules with plant-based

¹ Acadêmico de Graduação, Curso de Agronomia, Centro Universitário Fasipe - UNIFASIFE. E-mail: alyssonzator@hotmail.com.

² Professora Mestre em Ciência do Solo, Curso de Agronomia, Centro Universitário Fasipe - UNIFASIFE. E-mail: angelicasilva.agronomia@hotmail.com.

³ Professor Doutor em Agricultura Tropical, Curso de Agronomia, Centro Universitário Fasipe - UNIFASIFE. E-mail: mauriciofranceschi123@hotmail.com.



polymers has emerged as an alternative to reduce this issue, in addition to providing a more uniform application in the field. Therefore, the objective was to evaluate, in an industrial setting, whether coating with a plant-based polymer as a carrier for powdered micronutrients improves product homogeneity and ensures compliance with Normative Instruction No. 39/2018. The research was conducted at a fertilizer industry in Sinop, Mato Grosso, using two formulations from 00-18-18 line, enriched with calcium, sulfur, and the micronutrients boron, copper, zinc, and manganese. The emulsion combined the plant polymer with the powdered micronutrient product, applied via a helical mixer during homogenization. Samples were collected randomly and representatively over three growing seasons: 2021/2022, 2022/2023, and 2023/2024, totaling nine batches. These samples were analyzed at a certified laboratory, focusing on chemical composition (macro- and micronutrients) and physical characteristics, especially granule size distribution. Results showed that all samples met the requirements of IN No. 39/2018, both in terms of minimum nutrient guarantees and chemical specifications. The use of the polymer proved effective in ensuring good adhesion of micronutrients to the granules, preventing segregation. Based on the data, the use of a plant-based polymer as a vehicle for powdered micronutrients is a technically feasible and effective alternative. The study also emphasizes the importance of strict quality control at all stages of production to ensure compliance with current legislation and agricultural sector requirements.

KEYWORDS: Fertilizer mixture; Mineral fertilizers; Nutrient segregation.

1 INTRODUÇÃO

Os fertilizantes contribuem para o aumento da produtividade agrícola, pois fornecem às plantas os nutrientes essenciais para seu desenvolvimento. (CHIAREGATO *et al.*, 2022). Devido à crescente demanda por alimentos, a aplicação de fertilizantes minerais é fundamental para assegurar a nutrição adequada das plantas (OLIVEIRA *et al.*, 2019). A utilização de fertilizantes e corretivos tornou possível a exploração agrícola em solos de baixa fertilidade natural, permitindo maiores produções em áreas menores (OGINO *et al.*, 2020) através da complementação nutricional (SANTOS *et al.*, 2018).

Para assegurar o crescimento adequado das plantas, é essencial disponibilizar os macronutrientes primários (nitrogênio, fósforo e potássio), os secundários (cálcio, magnésio e enxofre), além dos micronutrientes (como cobre, manganês, boro e zinco) (DIAS DOS SANTOS, 2021). Esses nutrientes são geralmente aplicados na forma mineral, sendo a aplicação de grânulos a técnica mais comum (ZONTA *et al.*, 2021). Essa técnica garante uma distribuição equilibrada dos nutrientes no solo, favorecendo sua absorção pelas plantas (LOPES; GUIMARÃES GUILHERME, 2000). A eficiência da nutrição vegetal depende não apenas da composição dos fertilizantes, mas também do manejo adequado durante a aplicação, a fim de evitar problemas como a segregação de partículas (FURLAN, 2022).

A segregação entre essas formas físicas pode resultar em distribuição desigual de nutrientes, o que compromete a nutrição das plantas e, consequentemente, a produtividade das culturas (TRANI; TRANI, 2011).

No caso dos micronutrientes, quando aplicados em pó ou grânulos isolados, há maior risco de segregação, baixa disponibilidade e distribuição espaçada no campo, o que limita o alcance às plantas (MORTVEDT, 1991). Além disso, a presença de micronutrientes em pó dificulta a mistura homogênea com fertilizantes granulados (MENDONÇA, 2023).



Revestir grânulos com micronutriente em pó e polímero vegetal via emulsão, ajuda a melhorar a uniformidade e reduzir a segregação em fertilizantes (LOPES, 1999), sendo uma alternativa a forma convencional (WANG *et al.*, 2022). Conforme previsto na IN nº 39/2018, os polímeros vegetais podem ser utilizados como aditivos de revestimento e estabilização em fertilizantes (BRASIL, 2018b), e sua aplicação pode configurar uma alternativa promissora para melhorar a homogeneidade e reduzir a formação de pó (BAIRD *et al.*, 2023).

Tal tecnologia é classificada como 'Polímeros Vegetais' e, conforme o ANEXO III da INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 39, DE 8 DE AGOSTO DE 2018, pode ser incorporada aos fertilizantes de diferentes maneiras, atuando na estabilização, no revestimento ou na diminuição da geração de pó (BRASIL, 2018b). Os polímeros vegetais, por serem inertes e apresentarem excelente capacidade de secagem e dispersão, garantem a aderência dos micronutrientes à superfície dos grânulos, mesmo após longos períodos de armazenamento (BRASIL, 2018b).

A incorporação dos micronutrientes aos grânulos do fertilizante por meio de polímeros vegetais, busca melhorar a eficiência da distribuição, assegurando que cada grânulo contenha o micronutriente em sua composição e assim, promover uma distribuição mais uniforme.

Este trabalho tem por objetivo, avaliar a eficiência da técnica de recobrimento de fertilizantes com polímero vegetal e micronutriente em pó contém os teores químicos e físicos garantidos pela indústria. Nesse contexto, a hipótese é que a incorporação realizada garanta maior homogeneidade e integridade das análises, dentro das tolerâncias estabelecidas pela legislação vigente.

2.1 Importância dos fertilizantes minerais para o desenvolvimento agrícola

O desenvolvimento da agricultura no Brasil, desde o período de sua descoberta, está profundamente ligado, ainda que de forma empírica, à fertilidade do solo. No começo, as grandes culturas de cana-de-açúcar e café dependiam da fertilidade natural dos solos das regiões de mata, e quando essa fertilidade se esgotava, os agricultores se deslocavam para novas áreas (DEVECHIO, 2023). Somente após várias décadas, a partir de observações iniciais, começaram a surgir estudos sobre a fertilidade do solo e o uso de fertilizantes orgânicos e minerais. Os estudos tinham como objetivo, criar bases para a adubação, permitindo a exploração contínua das terras agrícolas (DEVECHIO, 2023).

Os fertilizantes, também chamados de adubos, são substâncias químicas, minerais ou orgânicas, naturais ou sintéticas, que possuem um ou mais nutrientes essenciais para suprir as necessidades das plantas. Quando aplicados ao solo nas quantidades corretas, esses fertilizantes promovem a melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, o que contribui para o aumento da produtividade e qualidade das colheitas (ZONTA *et al.*, 2021).

Os fertilizantes desempenham um papel crucial na agricultura contemporânea. O uso de fertilizantes nas práticas agrícolas tem contribuído substancialmente para o aumento da produção de alimentos, rações, combustíveis, fibras e outros produtos vegetais (TIMILSENA *et al.*, 2015).

2.2 Perdas de fertilizante

As plantas não conseguem absorver todo fertilizante aplicado às lavouras, resultando em perdas por lixiviação, volatilização, nitrificação e outros processos. Essas perdas não apenas elevam o custo dos fertilizantes, mas também causam significativos



impactos ambientais (TIMILSENA et al., 2015), causando efeitos negativos no meio ambiente (CHEN, et al., 2018).

2.3 Fertilizantes ecológicos

Com o objetivo de reduzir os impactos ambientais provocados pelos fertilizantes, foram elaboradas diversas estratégias. Destacam-se os fertilizantes ecológicos (EFFs), que apresentam uma solução eficiente para aumentar a eficiência na utilização dos nutrientes, diminuir as perdas por lixiviação e volatilização, além de minimizar os riscos ambientais ao controlar ou retardar a liberação dos nutrientes (CHEN, et al., 2018).

No entanto, ainda existem desafios a serem enfrentados. Primeiramente, os materiais usados no revestimento dos fertilizantes devem ser degradáveis e econômicos. Além disso, o processo de fabricação deve ser simples e acessível para estimular a produção em grande escala. Para isso, a utilização de materiais naturais degradáveis, que têm atraído crescente interesse para fertilizantes revestidos, pode ser considerada no desenvolvimento de novos tipos de EFFs. Em segundo lugar, os EFFs ideais devem ser capazes de fornecer os nutrientes necessários às culturas durante todo o ciclo (CHEN, et al., 2018).

2.4 Legislações para comercialização

No Brasil, a recomendação para o uso de adubos nas culturas é orientada pelos manuais de calagem e adubação. A comercialização desses produtos segue as normas estabelecidas pela Legislação Brasileira de Fertilizantes do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Esta legislação, composta por diversas leis, decretos e instruções normativas, define a classificação dos fertilizantes, as garantias mínimas dos nutrientes que eles devem conter, as tolerâncias permitidas tanto químicas, quanto físicas, os níveis aceitáveis de metais pesados, além de controlar a inspeção, supervisionar a fabricação e a comercialização de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas voltados à agricultura (ZONTA et al., 2021).

2.5 Tipos de fertilizantes

Conforme o capítulo II da INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 39, DE 8 DE AGOSTO DE 2018, os macronutrientes primários, macronutrientes secundários e micronutrientes nos fertilizantes, são expressos como a seguir:

- I - Macronutrientes primários: Nitrogênio (N), Fósforo (P₂O₅) e Potássio (K₂O);
- II - Macronutrientes secundários: Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S);
- III - Micronutrientes: Boro (B), Cloro (Cl), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Níquel (Ni), Selênio (Se), Silício (Si) e Zinco (Zn).

2.6 Aplicação de micronutrientes via solo

A adubação com micronutrientes tem como objetivo aumentar a produtividade das culturas em solos que apresentam deficiência desses elementos. Para isso, a quantidade de fertilizante a ser aplicada deve ser determinada com base no teor do micronutriente requerido pelo solo, conforme indicado pela análise química, e nas necessidades específicas da cultura (COSTA, 2024).

É importante considerar que a maioria dos micronutrientes, com exceção do Boro, se move por difusão para alcançar a superfície das raízes e ser absorvido, desempenhando suas funções fisiológicas na planta. O deslocamento por difusão alcança apenas alguns



milímetros a partir do local onde foi aplicado, ao contrário do fluxo de massa, que ocorre a distâncias maiores. Para micronutrientes como Cu, Fe, Mn e Zn, a distribuição adequada ao longo da linha de plantio e a posição correta em relação às sementes são fatores essenciais para melhorar a eficácia agrônômica da aplicação no solo (ABREU et al., 2007).

O comportamento dos micronutrientes no solo é influenciado por diversos fatores, como a textura e a mineralogia do solo, a quantidade de matéria orgânica, o pH, as condições de oxirredução e as interações entre os próprios nutrientes. Esses elementos tornam a dinâmica dos micronutrientes bastante complexa, afetando sua disponibilidade para as plantas. Além disso, é frequente ocorrerem interações antagônicas entre os nutrientes no solo e nas plantas, o que pode causar desequilíbrios nutricionais e deficiências de micronutrientes. (ZONTA et al., 2021).

Em decorrência das quantidades reduzidas utilizadas, a aplicação uniforme de micronutrientes nas lavouras representa um desafio significativo no manejo da adubação. Uma das práticas mais comuns para a aplicação de micronutrientes na agricultura é a sua incorporação ou revestimento em misturas de grânulos de fertilizantes. A principal vantagem dessa abordagem é que os micronutrientes podem ser combinados com os fertilizantes, resultando em fórmulas específicas que atendem às necessidades tanto de NPK quanto dos micronutrientes (ZONTA et al., 2021). Dessa forma, esse produto possibilita a implementação de uma abordagem de prescrição precisa (LOPES, 2009).

2.7 Garantia mínima para micronutrientes

De acordo com o capítulo II, inciso III, INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 39, DE 8 DE AGOSTO DE 2018, para fertilizantes mistos ou complexos aplicados ao solo que contém apenas micronutrientes ou tanto micronutrientes quanto macronutrientes secundários, e que são usados diretamente no solo ou em combinação com outros fertilizantes para fornecer esses nutrientes, as garantias mínimas dos micronutrientes nesses produtos não devem ser inferiores conforme o Quadro 01 (BRASIL, 2018c):

Tabela 01- Teores mínimos de nutrientes

NUTRIENTE	TEOR MÍNIMO (%)
Boro (B)	0,2
Cloro (Cl)	0,5
Cobalto (Co)	0,05
Cobre (Cu)	0,2
Ferro (Fe)	0,2
Manganês (Mn)	0,2
Molibdênio (Mo)	0,05
Níquel (Ni)	0,05
Selênio (Se)	0,03
Silício (Si)	0,5
Zinco (Zn)	0,3

Fonte: Instrução Normativa nº 39, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2018.

2.7.1 Recobrimento de fertilizantes

O ANEXO III da INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 39, DE 8 DE AGOSTO DE 2018, trata o Polímero vegetal como Estabilizante/Conservante, capaz de preservar as condições físicas, químicas, físico-químicas e biológicas do produto, assegurando sua durabilidade e as características desejadas (BRASIL, 2018b).

A união de partículas finas para formar grânulos maiores é uma estratégia eficaz para diminuir a produção de pó. Isso é possível através da seleção correta dos



equipamentos, assegurando a eficiência do processo. As técnicas desenvolvidas para reduzir a quantidade de partículas finas refletem, os avanços tecnológicos e as perspectivas da engenharia no setor de fertilizantes, proporcionando vantagens econômicas, maior rapidez operacional, promovendo maior flexibilidade nos métodos de granulação e revestimento das partículas (MENDONÇA, 2023).

2.8 Funções e deficiência dos micronutrientes

2.8.1 Boro

O boro possui baixa mobilidade no floema, os primeiros sintomas de sua deficiência surgem em órgãos jovens. Esses sintomas incluem: inibição do crescimento da parte aérea devido à morte das gemas apicais; encurtamento dos internódios; folhas pequenas e deformadas; folhas espessas e duras, que podem ser quebradiças; folhas necrosadas; nervuras salientes; baixa produção de sementes; caules e frutos apresentando rugas, rachaduras, quebras e manchas ou estrias de cortiça, além do acúmulo de bolsas de gomas no mesocarpo dos frutos. (DURAN et al., 2018; PRADO, 2020).

Seus efeitos nas plantas incluem a biossíntese da parede celular, a manutenção da integridade da membrana plasmática, o transporte de carboidratos e o desenvolvimento reprodutivo (COSTA, 2024).

2.8.2 Cobre

O cobre apresenta baixa mobilidade dentro das plantas, fazendo com que os sintomas de sua deficiência apareçam primeiro em órgãos mais jovens. Geralmente, as folhas ficam amareladas ou com uma tonalidade verde-azulada, murchas e com as bordas enroladas para cima, podendo até crescerem além do tamanho normal. Os caules ou colmos tornam-se frágeis e murchos, mesmo com o solo úmido, e pode haver a morte das gemas apicais (YRUELA, 2005; PRADO, 2020).

Seus efeitos nas plantas são responsáveis pela fase fotoquímica e bioquímica da fotossíntese; respiração; desintoxicação celular e resistência das plantas às doenças (COSTA, 2024).

2.8.3 Manganês

A deficiência de manganês caracteriza-se pela clorose internerval, que apresenta um padrão reticulado grosso, onde as nervuras formam uma densa rede verde sobre um fundo amarelado nas folhas jovens (LAVRES JÚNIOR et al., 2012; PRADO, 2020).

Seus efeitos nas plantas são responsáveis pela fase fotoquímica da fotossíntese; desintoxicação celular; redução do N; nodulação em leguminosas e resistência de plantas às doenças (COSTA, 2024).

2.8.4 Zinco

A deficiência de zinco é identificada por folhas pequenas que apresentam faixas amareladas ou brancas entre as nervuras. Além disso, ocorre o encurtamento dos internódios, resultando na formação de nós sucessivos, fazendo com que as folhas se aproximem e criem uma estrutura em roseta (SUDHALAKSHMI et al., 2014; PRADO, 2020).

Seus efeitos nas plantas são responsáveis pelo crescimento apical; síntese de proteínas; redução do N; desintoxicação celular; fase bioquímica da fotossíntese; respiração e resistência de plantas às doenças (COSTA, 2024).

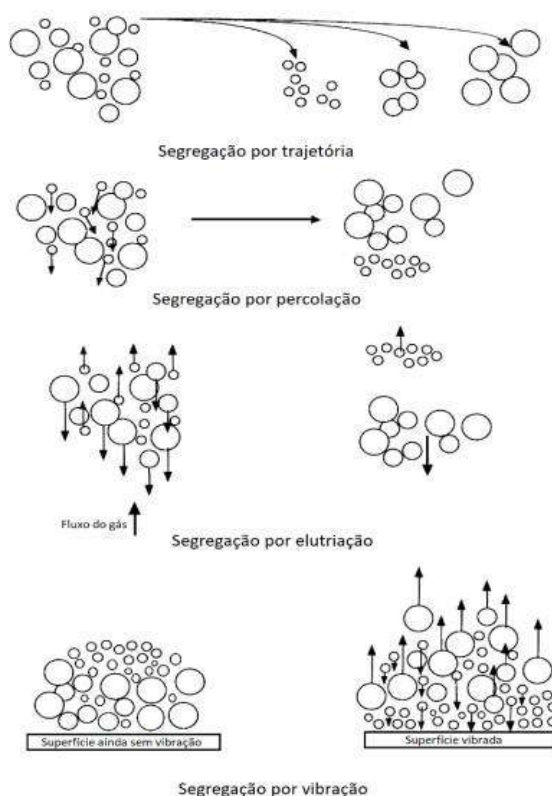


2.9 Segregação de fertilizantes

A segregação é o rearranjo das partículas dentro de um leito de material a granel, originando-se de uma população homogênea em relação ao tamanho, forma, densidade ou textura da superfície (FARNISH;BRADLEY, 2007).

As principais características que afetam a segregação de uma mistura sólido-sólido incluem a distribuição granulométrica, o tamanho nominal das partículas, a densidade aparente, o ângulo de repouso, a capacidade de escoamento, a resistência à aglomeração, a forma das partículas e a lubrificação, conforme a figura 1 (FISCHER, 1960).

Figura 1 – Tipos de segregação



Fonte: adaptado (Rhodes, 2008).

Por essa razão, em uma pilha de fertilizantes em um armazém de mistura, os grânulos maiores tendem a se acumular na parte superior, enquanto os menores se concentram no meio e na base da pilha (MENDES, 2018). A explicação fundamental para esse fenômeno é que as partículas maiores, ao se aproximarem, criam espaços vazios, que são preenchidos pelas partículas menores, resultando em percolação (RHODES, 2008).

A segregação de fertilizantes deve ser controlada desde o recebimento da matéria prima na indústria (figura 2), pois a altura de caimento e distribuição no box tem grande influência na segregação de partículas (CARVALHO, 2001).



Figura 2- Recebimento de matéria prima e distribuição no box de armazenamento através de canos de PVC.



Fonte: Própria (2024).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma indústria misturadora de fertilizantes, sediada no KM 01 da MT-220 em Sinop-MT. As formulações selecionadas para desenvolvimento deste trabalho foram a 00-18-18 + 9% Ca + 4% S (4% S-SO₄) + 0,05% B + 0,05% Cu + 0,1% Zn + 0,1% Mn e a 00-18-18 + 11% Ca + 5% S (5% S-SO₄) + 0,05% B + 0,05% Cu + 0,1% Zn + 0,1% Mn, cujas matérias primas contidas nestas formulações para o fornecimento dos nutrientes foram: Superfosfato simples (SSP), Superfosfato Triplo (TSP) e Complexo mineral 00-20, como fonte de P₂O₅; Cloreto de Potássio (KCL) como fonte de K₂O, de aspecto físico granulado.

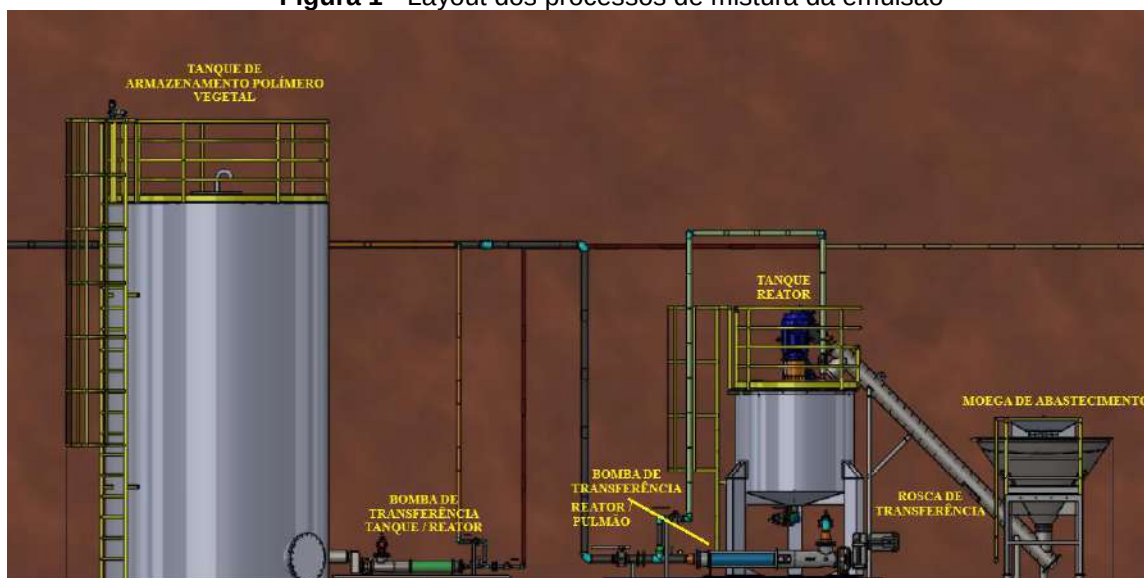
Para o provimento de micronutriente na fórmula, foi utilizado o produto que possui como garantia química 5% de Boro (B), 5% de Cobre (Cu); 10% de Zinco (Zn) e 10% de Manganês (Mn), de natureza física pó, identificado como MIB205, o qual era incorporado ao polímero vegetal.

A emulsão de polímero vegetal e micronutrientes era preparada inicialmente, após emissão da Ordem para carregamento. Era composta por 50% de polímero vegetal, e 50% do micronutriente pó, os quais eram misturados até completa homogeneização.

Seu preparo era realizado no Tanque reator (Figura 1), que possuía em sua base três células de carga, utilizadas para a pesagem das matérias-primas. Em sua parte superior, haviam dois motores com discos, que tinham como objetivo de incorporação.



Figura 1 - Layout dos processos de mistura da emulsão



Fonte: Própria, 2024.

Iniciava-se o processo ligando a bomba de transferência tanque/reactor, retirando o polímero do tanque de armazenamento e transferindo por tubulação para o reator, até que atingisse o peso solicitado para a emulsão. Quando o peso era alcançado, a bomba desligava-se e os dois motores acima do reator eram acionados. Em seguida, a rosca de transferência era acionada, estando pronta para retirar o micronutriente pó da moega de abastecimento. A partir daí o material era levado ao tanque reator por meio de um transportador de rosca, enquanto o polímero já era agitado.

Após o reator atingir o peso composto por 50% de polímero e 50% do micronutriente, a rosca desligava-se e iniciava-se a contagem de 15 minutos de agitação, durante os quais o conteúdo era completamente misturado para sua homogeneização.

Ao finalizar o tempo de mistura, a emulsão ficava disponível para uso, sendo realizada a transferência via bomba helicoidal do reator para o tanque pulmão, localizado ao lado do misturador.

O sistema era programado por meio de um CLP (Controlador Lógico Programável), o qual liberava as matérias-primas nas quantidades corretas após a pesagem individual de cada componente, conforme previamente cadastrado. Após a pesagem, os materiais eram liberados pelo acionamento das comportas e direcionadas para uma correia transportadora, a qual conduzia o produto até o elevador de canecas. Este elevador transportava verticalmente o material até a peneira rotativa, responsável por realizar a primeira segregação do produto.

Após a passagem pelas peneiras, as matérias-primas estavam prontas para o processo de homogeneização, realizado em um misturador helicoidal (Figura 2). Nessa etapa, ocorria a mistura dos componentes por aproximadamente 40 segundos, contados a partir da chegada total do produto ao misturador. Durante a queda do produto no misturador, também era feita a aplicação da solução líquida, armazenada no tanque pulmão, na proporção de 20 kg da emulsão para cada 980 kg de matéria-prima.



Figura 2 - Equipamento onde ocorre o recobrimento com micronutriente e mistura dos fertilizantes



Fonte: Própria (2024).

Após ser realizada a incorporação ao produto, onde todos os grânulos de fertilizante ficavam recobertos pelos micronutrientes, a formulação ficava finalizada, sendo então armazenada no silo de big bag e disponível para envase, conforme a pesagem solicitada pelo cliente.

Foi utilizada a estatística descritiva para analisar e interpretar os dados, através da amostragem estratificada, dividindo as amostras em três safras anteriores e, em seguida, selecionando aleatoriamente três amostras por safra, conforme Tabela 02 a seguir.

Tabela 02 - Lotes selecionados em cada safra

SAFRA	LOTE	DATA DE COLETA DA AMOSTRA
2021/2022	11261	03/12/2022
	11409	09/12/2022
	11636	16/12/2022
2022/2023	17596	03/07/2023
	19264	17/08/2023
	19340	18/08/2023
2023/2024	26845	16/04/2024
	27283	21/05/2024
	27362	28/05/2024

Fonte: Própria (2024).

As amostras coletadas foram enviadas ao laboratório credenciado pelo MAPA para realização das análises físicas e químicas do produto acabado.

Para as análises de boro, cobre, manganês e zinco em fertilizantes organominerais foram realizados métodos analíticos específicos conforme instruções do MAPA.

A determinação do boro foi realizada utilizando espectrofotometria com o reagente azometina-H. Este reagente se dissociava em ácido 4-amino-5-hidroxi-2,7-naftalenodissulfônico e aldeído salicílico em solução aquosa, formando um complexo



estável com o ácido bórico sob condições controladas. A análise foi feita por espectrofotometria na faixa de UV-visível, com leitura a 410 nanômetros.

Para o cobre, utilizou-se o método de espectrometria de absorção atômica, após a extração do elemento da amostra por digestão ácida. A concentração de cobre foi quantificada com essa técnica.

A quantificação do manganês foi realizada por espectrometria de absorção atômica, com extração do nutriente por digestão ácida e posterior determinação da sua concentração usando a mesma técnica.

Na determinação do zinco, foi realizada por espectrometria de absorção atômica, com extração do elemento da amostra por digestão ácida. A concentração de zinco foi quantificada por meio dessa técnica espectrométrica.

Para garantir os processos de qualidade granulométrica, após realizada a coleta da amostra, para finalidade de controle interno, garantindo que as cargas expedidas fossem de acordo com a legislação, o setor de qualidade realizava a análise física de granulometria da amostra. Sobre um agitador, durante 5 minutos, eram colocadas quatro peneiras, uma com malha de 4,80 mm, onde a amostra era despejada, e outras três com malhas de 2,8 mm, 2,0 mm e 1 mm, finalizando com uma de fundo, onde somente a passante na peneira de 1 mm ficava retida. Os valores eram referenciados conforme o Art. 3 da INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 39, DE 8 DE AGOSTO DE 2018, para granulado e mistura de granulado (Figura 03).

Figura 03 - Garantia granulométricas

NATUREZA FÍSICA	ESPECIFICAÇÃO DE NATUREZA FÍSICA	GARANTIA GRANULOMÉTRICA	
		Peneira	Partículas Passantes
SÓLIDO	Granulado e Mistura de Grânulos	4,80 mm (ABNT 4)	95% mínimo
		2 mm (ABNT 10)	40% máximo
		1 mm (ABNT 18)	5% máximo
	Microgranulado	2,8 mm (ABNT 7)	90% mínimo
		1 mm (ABNT 18)	10% máximo
	Pó	2,0 mm (ABNT 10)	100%
		0,84 mm (ABNT 20)	70% mínimo
		0,3 mm (ABNT 50)	50% mínimo
	Farelado	4,80 mm (ABNT 4)	90% mínimo
		2,8 mm (ABNT 7)	80% mínimo
		0,50 mm (ABNT 35)	30% máximo
	Pastilha	Frações moldadas de formato e tamanho variáveis	

Fonte: Instrução Normativa nº 39, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2018.

Sobre os limites de tolerâncias, o Capítulo IV da Instrução Normativa nº 39, de 8 de agosto de 2018, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, define os limites de tolerância aplicáveis aos fertilizantes comercializados no Brasil (BRASIL, 2018d). Esses limites abrangem variações tanto para mais quanto para menos nos teores declarados dos produtos, incluindo sua composição química e características físicas, como a granulometria.

Os limites aceitáveis de variação para deficiências em comparação aos nutrientes declarados, sejam eles macronutrientes primários, secundários ou micronutrientes, devem



obedecer a valores máximos estabelecidos, não podendo ultrapassar os percentuais definidos pela norma (Figura 04). Esses limites variam conforme a concentração do nutriente no produto e visam assegurar que a diferença entre o valor garantido e o efetivamente encontrado esteja dentro de uma faixa aceitável, garantindo a qualidade e a eficácia do fertilizante.

Figura 04 - Garantia para macronutrientes primários

Teores Garantidos (Tg) em %	Tolerância (T) Para Fertilizantes Minerais Simples e Complexos	Tolerância (T) Para Fertilizantes Minerais Mistos
Até 0,1	25%	30%
Acima de 0,1 até 1	20%	25%
Acima de 1 até 5	$T_{(p.p.)} = (0,1375 \times Tg) + 0,0625$	$T_{(p.p.)} = (0,1875 \times Tg) + 0,0625$
Acima de 5 até 10	$T_{(p.p.)} = (0,0500 \times Tg) + 0,5000$	$T_{(p.p.)} = (0,0500 \times Tg) + 0,7500$
Acima de 10 até 40	$T_{(p.p.)} = (0,0333 \times Tg) + 0,6667$	$T_{(p.p.)} = (0,0417 \times Tg) + 0,8333$
Acima de 40	2 p.p.	2,5 p.p.

Fonte: Instrução Normativa nº 39, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2018

No caso do Boro (B), é permitida uma quantidade até uma vez e meia maior que o teor declarado quando o nutriente estiver presente em misturas com outros componentes. Entretanto, se o Boro for comercializado de forma isolada, o excesso não pode ultrapassar 25% (um quarto) do valor garantido.

Para os micronutrientes Cobre (Cu), Manganês (Mn) e Zinco (Zn), admite-se um teor até três vezes superior ao declarado quando esses elementos forem utilizados em misturas com macronutrientes primários, micronutrientes ou com macronutrientes secundários, em função da heterogeneidade da mistura. Contudo, quando vendidos isoladamente, o limite de tolerância para excesso também é de até 25% do valor garantido.

Em relação ao tamanho das partículas, a norma especifica faixas aceitáveis de variação com base na malha das peneiras utilizadas para a análise, determinando os percentuais máximos e mínimos permitidos de material que deve passar por cada tipo de peneira, conforme Figuras 05 e 06 a seguir.

Figura 05 - Granulometria dos produtos para as partículas passantes mínimas

Peneira	Tolerância
4,8mm (ABNT nº 4)	Até 2 unidades para menos, no mínimo , passante.
3,36mm (ABNT nº 6)	Até 5 unidades para menos, no mínimo , passante.
2,8mm (ABNT nº 7)	Até 5 unidades para menos, no mínimo , passante.
2,0mm (ABNT nº 10)	Até 5 unidades para menos, no mínimo , passante
0,84mm (ABNT nº 20)	Até 5 unidades para menos, no mínimo , passante
0,3 mm (ABNT nº 50)	Até 5 unidade para menos, no mínimo , passante.
0,15 mm (ABNT nº 100)	Até 5 unidades para menos, no mínimo , passante.
0,075 mm (ABNT nº 200)	Até 5 unidades para menos, no mínimo , passante.

Fonte: Instrução Normativa nº 39, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2018.



Figura 06 - Granulometria dos produtos para as partículas passantes máximas

Peneira	Tolerância
2,0mm (ABNT nº 10)	até 5 unidades para mais, no máximo, passante.
1,0mm (ABNT nº 18)	Até 1 unidade para mais, no máximo, passante.
0,84mm (ABNT nº 20)	até 5 unidades para mais, no máximo, passante.
0,5mm (ABNT nº35)	Até 5 unidades para mais, no máximo, passante.

Fonte: Instrução Normativa nº 39, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2018.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme a regulamentação vigente disposta na Subseção IV, artigo 9º da Instrução Normativa nº 39/2018, os fertilizantes minerais, sejam mistos ou complexos, contendo combinações dos macronutrientes primários (como NPK, NP, NK ou PK), com ou sem a presença de macronutrientes secundários ou micronutrientes, destinados à aplicação via solo ou fertirrigação, devem apresentar os teores primários expressos em números inteiros. Já os teores de secundários e micronutrientes, quando apresentados em porcentual com uma, duas ou, no máximo, três casas decimais, devem obrigatoriamente ser arredondados por truncamento na respectiva casa decimal, conforme o limite regulamentar (BRASIL, 2018c).

As análises químicas das amostras foram organizadas e compiladas na Tabela 03, onde constam as formulações declaradas e os resultados obtidos para os micronutrientes incorporados.

Tabela 03 - Resultado análise química dos micronutrientes

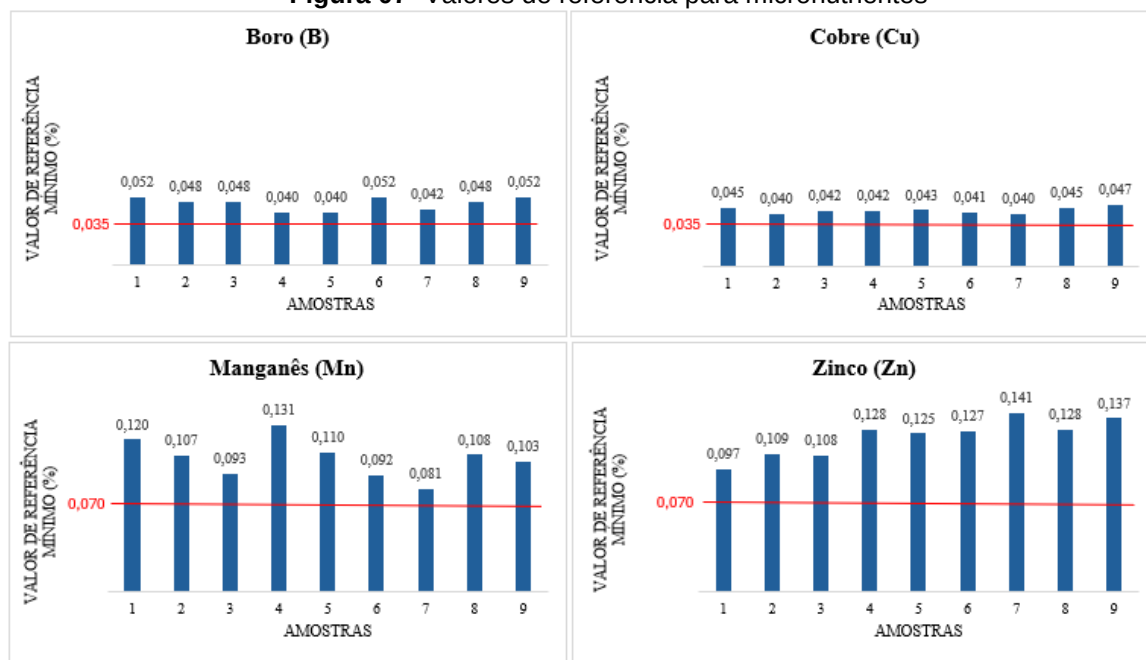
AM	LOTE	DATA DA COLETA	FÓRMULA	RESULTADOS ANÁLISE QUÍMICA			
				B	Cu	Mn	Zn
1	11.261	03/12/2022	00-18-18+ 9Ca+ 4S+ 0,05B+ 0,05Cu+ 0,1Mn+ 0,1Zn	0,052	0,045	0,120	0,097
2	11.409	09/12/2022	00-18-18+ 9Ca+ 4S+ 0,05B+ 0,05Cu+ 0,1Mn+ 0,1Zn	0,048	0,040	0,107	0,109
3	11.636	16/12/2022	00-18-18+ 9Ca+ 4S+ 0,05B+ 0,05Cu+ 0,1Mn+ 0,1Zn	0,048	0,042	0,093	0,108
4	17.596	03/07/2023	00-18-18+ 11Ca+ 5S+ 0,05B+ 0,05Cu+ 0,1Mn+ 0,1Zn	0,040	0,042	0,131	0,128
5	19.264	17/08/2023	00-18-18+ 11Ca+ 5S+ 0,05B+ 0,05Cu+ 0,1Mn+ 0,1Zn	0,040	0,043	0,110	0,125
6	19.340	18/08/2023	00-18-18+ 11Ca+ 5S+ 0,05B+ 0,05Cu+ 0,1Mn+ 0,1Zn	0,052	0,041	0,092	0,127
7	26.845	16/04/2024	00-18-18+ 11Ca+ 5S+ 0,05B+ 0,05Cu+ 0,1Mn+ 0,1Zn	0,042	0,040	0,081	0,141
8	27.283	21/05/2024	00-18-18+ 11Ca+ 5S+ 0,05B+ 0,05Cu+ 0,1Mn+ 0,1Zn	0,048	0,045	0,108	0,128
9	27.362	28/05/2024	00-18-18+ 11Ca+ 5S+ 0,05B+ 0,05Cu+ 0,1Mn+ 0,1Zn	0,052	0,047	0,103	0,137

Fonte: Própria (2025).



Conforme a mesma Instrução Normativa nº 39, fertilizantes mistos ou complexos que contenham apenas micronutrientes ou a combinação de micronutrientes com macronutrientes secundários, desde que destinados à aplicação direta no solo ou utilizados em misturas com outros fertilizantes como fontes desses nutrientes, devem atender aos limites mínimos de garantias estabelecidos para os micronutrientes. Os resultados analíticos demonstram que todas as amostras atenderam às exigências estabelecidas, conforme apresentado na Figura 07.

Figura 07- Valores de referência para micronutrientes



Fonte: Própria (2025).

Os resultados reforçam a eficácia da técnica de recobrimento já discutida por Lopes (1999), que destaca a importância da formação de uma emulsão homogênea para garantir aderência e estabilidade. Os dados evidenciam a homogeneidade do produto final, corroborando com Lopes e Guimarães Guilherme (2000), onde destacam o uso de sistemas de recobrimento de grânulos, para favorecer uma distribuição uniforme e adequada dos nutrientes no solo.

Outro aspecto relevante associado ao uso de revestimentos em fertilizantes é a sua capacidade de reduzir a higroscopicidade, minimizar a aglomeração dos grânulos e aprimorar as características de manuseio e a qualidade física do produto, sem comprometer a eficiência na liberação dos nutrientes (BAIRD *et al.*, 2023).

Quanto às análises físicas, também conduzidas em laboratório e cujos resultados encontram-se organizados na Tabela 04, observou-se que os fertilizantes analisados apresentaram características compatíveis com suas respectivas formas físicas.



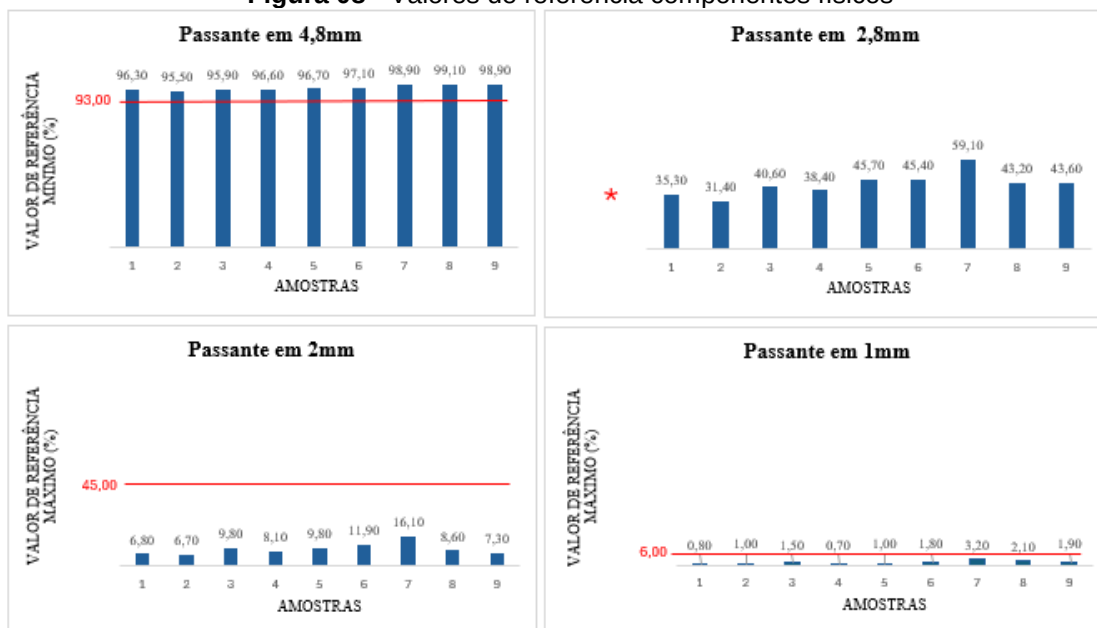
Tabela 04 - Resultados análise física

AM	LOTE	DATA DA COLETA	FÓRMULA	RESULTADOS ANÁLISE FÍSICA			
				PASSANTE EM 4,8mm	PASSANTE EM 2,8mm	PASSANTE EM 2mm	PASSANTE EM 1mm
1	11.261	03/12/2022	00-18-18+ 9Ca+ 4S+ 0,05B+ 0,05Cu+ 0,1Mn+ 0,1Zn	96,30	35,30	6,80	0,80
2	11.409	09/12/2022	00-18-18+ 9Ca+ 4S+ 0,05B+ 0,05Cu+ 0,1Mn+ 0,1Zn	95,50	31,40	6,70	1,00
3	11.636	16/12/2022	00-18-18+ 9Ca+ 4S+ 0,05B+ 0,05Cu+ 0,1Mn+ 0,1Zn	95,90	40,60	9,80	1,50
4	17.596	03/07/2023	00-18-18+ 11Ca+ 5S+ 0,05B+ 0,05Cu+ 0,1Mn+ 0,1Zn	96,60	38,40	8,10	0,70
5	19.264	17/08/2023	00-18-18+ 11Ca+ 5S+ 0,05B+ 0,05Cu+ 0,1Mn+ 0,1Zn	96,70	45,70	9,80	1,00
6	19.340	18/08/2023	00-18-18+ 11Ca+ 5S+ 0,05B+ 0,05Cu+ 0,1Mn+ 0,1Zn	97,10	45,40	11,90	1,80
7	26.845	16/04/2024	00-18-18+ 11Ca+ 5S+ 0,05B+ 0,05Cu+ 0,1Mn+ 0,1Zn	98,90	59,10	16,10	3,20
8	27.283	21/05/2024	00-18-18+ 11Ca+ 5S+ 0,05B+ 0,05Cu+ 0,1Mn+ 0,1Zn	99,10	43,20	8,60	2,10
9	27.362	28/05/2024	00-18-18+ 11Ca+ 5S+ 0,05B+ 0,05Cu+ 0,1Mn+ 0,1Zn	98,90	43,60	7,30	1,90

Fonte: Própria (2025).

De acordo com o Capítulo II, artigo 3º da Instrução Normativa nº 39/2018, fertilizantes minerais devem atender a requisitos específicos de natureza física e granulometria, variando conforme sua apresentação: granulados, misturas de grânulos, microgranulados, em pó, farelados ou em pastilhas.

Figura 08 - Valores de referência componentes físicos



* A formulação em análise se enquadra como Granulado e Mistura de Grânulos, não sendo levado em consideração os valores obtidos na peneira passante em 2,8mm, utilizada para Microgranulado.

Fonte: Própria (2025).



Conforme a Figura 08, os dados granulométricos obtidos evidenciam uma distribuição uniforme de tamanhos de partículas nas amostras analisadas, sem ocorrência de segregação entre os componentes da mistura. Essa uniformidade é crucial, pois, conforme apontam Farnish e Bradley (2007), a homogeneidade granulométrica desempenha um papel fundamental na prevenção da segregação durante o armazenamento e a aplicação, reduzindo significativamente as variações químicas indesejadas no campo. Além disso, Carvalho (2018) reforça que a má distribuição dos componentes em uma formulação pode comprometer a eficiência agrônômica, tornando o controle da granulometria um aspecto determinante para garantir a qualidade e o desempenho do fertilizante.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados das análises químicas confirmaram que todas as amostras atenderam aos limites mínimos exigidos para os nutrientes declarados. A aplicação dos micronutrientes por meio da emulsão mostrou-se tecnicamente eficiente, mesmo os procedimentos não estando descritos na Instrução Normativa, promoveram boa adesão às partículas sólidas e garantiram a homogeneidade do produto, essencial para proporcionar elevada eficácia técnica a campo. Isso assegura melhor disponibilidade dos nutrientes e maior uniformidade na sua distribuição, fortalecendo a relevância agrônômica do processo.

No aspecto físico, os dados granulométricos evidenciaram uma distribuição uniforme das partículas, sem ocorrência de segregação dos componentes, demonstrando a eficiência do processo de mistura adotado.

REFERÊNCIAS

ANDA. ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. ***Coleta de amostras: fertilizantes minerais simples, complexos e mistos. Embalagens de 25 a 50 kg e Big Bag.*** São Paulo: ANDA, 2021. 16 p.

BAIRD, Roslyn. *et al.* **Hydrophobic coatings for granular fertilizers to improve physical handling and nutrient delivery.** Powder Technology, v. 424, p. 118521, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.118521>, acesso em: 22/10/2024.

BRASIL. Instrução normativa, nº. 39, DE 8 DE AGOSTO DE 2018b. MAPA—Ministérios da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, **Anexo III**, v. 20, 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>, acesso em: 01/04/2025.

BRASIL. Instrução normativa, nº. 39, DE 8 DE AGOSTO DE 2018c. MAPA—Ministérios da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, **Capítulo II, Art 9**, v. 20, 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>, acesso em: 01/04/2025.



BRASIL. Instrução normativa, nº. 39, DE 8 DE AGOSTO DE 2018d. MAPA–Ministérios da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, **Capítulo IV, Art 20**, v. 20, 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>, acesso em: 01/04/2025.

CARVALHO, Felipe Mendes Cardoso. **A segregação de partículas no contexto das misturadoras de fertilizantes**. 2018. p.171. Universidade de Uberaba, UNIEB, Minas Gerais. Tese de Doutorado. Disponível em: <http://dspace.uniube.br:8080/jspui/handle/123456789/520>, acesso em: 12/09/2025.

CHIAREGATO, Camila Gruber. *et al.* **A review of advances over 20 years on polysaccharide-based polymers applied as enhanced efficiency fertilizers, Carbohydrate Polymers**, v. 279, 2022. Laboratório de Materiais Poliméricos e Biossorventes, Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, Araras, São Paulo. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.119014>, acesso em: 08/10/2025

DIAS DOS SANTOS, Fernanda. *et al.* **Fatores que afetam a disponibilidade de micronutrientes no solo**. Revista Tecno-Lógica, v. 25, n. 2, 2021. Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul. Disponível em: DOI: 10.17058/tecnolog.v25i2.15552, acesso em: 17/10/2024.

FARNISH, Richard.; BRADLEY, Mike. S. A. **Segregation during fertiliser handling: occurrence, assessment and control**. 2007. Livro, IFS. The International Fertiliser Society.

FURLAN, Murilo Aquilino. **Segregação de fertilizante mineral formulado em protótipo de semeadora-adubadora**. 2022. p. 34. Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/237483>, acesso em: 18/09/2025.

LOPES, Alfredo Scheid. **Micronutrientes: filosofias de aplicação e eficiência agrônômica**. São Paulo - ANDA, 1999. 58p. (Boletim Técnico, 8).

LOPES, Alfredo Scheid.; GUILHERME, Luiz Roberto Guimarães. **Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas: aspectos agrônômicos**. 3. ed. revisada e atualizada. São Paulo: ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2000. (Boletim técnico, 4).

MENDONÇA, Ana Karoline Miranda. **Revisão sobre mistura de fertilizantes, geração e alternativas de minimização de finos**. 2023. p.37. Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/38481>, acesso em: 11/11/2024.

MORTVEDT, Jhon. **Micronutrients fertilizer technology**. Micronutrients in agriculture. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p. 523-548. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssabookser4.2ed.c14>, acesso em: 02/09/2025.



OGINO, Cristiane Mitie. *et al.* **Poder de compra, preço e consumo de fertilizantes minerais: uma análise para o centro-oeste brasileiro.** Universidade de São Paulo (USP), 2020. Artigo. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.220367>, acesso em: 26/09/2025.

OLIVEIRA, Mayara Prates; MALAGOLI, Guilherme Augusto; CELLA, Daltro. **Mercado de fertilizantes: dependência de importações do Brasil.** Revista Interface Tecnológica, v. 16, n. 1, p. 489-498, 2019.

SANTOS, Gustavo Alves. *et al.* **Addition of micronutrients to NPK formulation and initial development of maize plants.** Periódico. Biosci. p. 927-936, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/BJ-v34n1a2018-36690>, acesso em: 06/04/2025.

TRANI, Paulo Espíndula.; TRANI, André Luis. **Fertilizantes: Cálculo de fórmulas comerciais.** Campinas: Instituto Agrônômico, 2011. 29 p. (Boletim Técnico IAC, 208).

WANG, Chongqing. *et al.* **Biochar-based slow-release of fertilizers for sustainable agriculture: A mini review.** Environmental Science and Ecotechnology, p. 19, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.es.2022.100167>, acesso em: 28/04/2025.

ZONTA, Everaldo.; STAFANATO, Juliano Bahiense.; PEREIRA, Marcos Gervasio. **Fertilizantes minerais, orgânicos e organominerais. Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá.** Brasília: Embrapa, p. 263-303, 2021.