



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA



ANA KAROLINE MIRANDA MENDONÇA

**REVISÃO SOBRE MISTURA DE FERTILIZANTES, GERAÇÃO E
ALTERNATIVAS DE MINIMIZAÇÃO DE FINOS**

UBERLÂNDIA

2023

ANA KAROLINE MIRANDA MENDONÇA

**REVISÃO SOBRE MISTURA DE FERTILIZANTES, GERAÇÃO E
ALTERNATIVAS DE MINIMIZAÇÃO DE FINOS**

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia *Campus* Santa Mônica.

Orientador: Prof. Dr. Danylo de Oliveira Silva

UBERLÂNDIA

2023

ANA KAROLINE MIRANDA MENDONÇA

**REVISÃO SOBRE MISTURA DE FERTILIZANTES, GERAÇÃO E
ALTERNATIVAS DE MINIMIZAÇÃO DE FINOS**

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia *Campus* Santa Mônica.

Orientador: Prof. Dr. Danylo de Oliveira Silva

Uberlândia, 27 de junho de 2023

Banca examinadora:

Prof. Dr. Danylo de Oliveira Silva
Orientador
Engenharia Química / FEQUI – UFU

Prof. Dr. Jader Conceição da Silva
Engenharia Química / FEQUI – UFU

Prof. Dr. Ricardo Amâncio Malagoni
Engenharia Química / FEQUI - UFU

AGRADECIMENTOS

Primeiramente eu agradeço aos meus pais, por todo apoio, suporte e confiança ao longo dessa jornada. À minha mãe, muito obrigada pela calma, paciência, força, conselhos e motivação nos momentos que mais precisei, sempre sendo minha inspiração de perseverança e meu porto seguro. Ao meu pai, sou grata por todo carinho e por me mostrar que todos os dias devemos lutar por nossos sonhos. Agradeço também à minha irmã Amanda, em quem me espelho diariamente, por sempre estar ao meu lado e por ser minha maior companheira nessa trajetória. Sou grata também aos meus avós por apoiar e acreditar em mim.

Aos meus amigos, muito obrigada pela força, companheirismo, ajuda e motivação. Obrigada por deixarem minha graduação mais leve com sorrisos e palavras de afeto. Sou imensamente grata às amigadas que a Universidade Federal de Uberlândia me proporcionou, essas que levarei para sempre ao longo da vida.

Também gostaria de agradecer às entidades da UFU que participei no meu período da graduação. Ao Diretório Acadêmico da Engenharia Química e ao AIChE-UFU, muito obrigada por me proporcionarem os melhores momentos da faculdade e por fazerem parte do meu crescimento pessoal e profissional. Sem esses projetos acadêmicos o caminho não teria sido tão leve. Sou grata pelo acolhimento nessas entidades e por fazerem parte da minha trajetória até o mercado de trabalho.

Agradeço também aos colegas de trabalho pelo conhecimento compartilhado na área de fertilizantes e, com isso, meu interesse nessa área só aumenta a cada dia.

E, por fim, agradeço meus professores da FEQUI-UFU pelos ensinamentos e amigadas, em especial meu orientador professor Danylo, pela paciência, sabedoria e apoio para a conclusão desse trabalho!

RESUMO

Os fertilizantes desempenham um papel fundamental na agricultura do Brasil, pois ajudam a suprir os nutrientes necessários para as plantas quando a disponibilidade do solo não é suficiente, além de aumentar a produtividade agrícola. Entretanto, o país é dependente da importação desses produtos, já que a demanda interna é maior que a produção nacional. É importante destacar que além de indústrias de fertilizantes, no Brasil há misturadoras, muitas delas sendo regionais, como é o caso de uma unidade localizada no sudoeste do estado de Goiás. A empresa em questão formula misturas de fertilizantes que são adequadas para cada tipo de solo e cultura, de acordo com as especificações exigidas. Entretanto, o processo de mistura, as diferenças nos requisitos de qualidade físico-químicos e as condições de armazenamento dos fertilizantes são fatores que influenciam a geração de finos na misturadora. Diante do exposto, o trabalho apresenta uma revisão bibliográfica acerca das técnicas para minimizar o teor de partículas finas, evidenciando os requisitos de qualidade dos fertilizantes granulados e suas especificações, além de demonstrar as perspectivas de atuações do engenheiro químico na área. Como resultados obtidos nesse estudo, fica evidente a variedade de técnicas que podem ser utilizadas para minimizar o teor de finos, dentre elas o leito de jorro, granulação por compactação e recobrimento de partículas utilizando um agente polimérico.

Palavras-chaves: misturadora, qualidade, partículas, granulação.

ABSTRACT

Fertilizers play a fundamental role in agriculture in Brazil, as they supply the nutrients needed by plants when soil availability is not sufficient, besides increasing agricultural productivity. However, the country depends on fertilizer imports, because the internal demand is greater than the national production. It is important to highlight that besides fertilizer industries, there are blenders in Brazil, many of them being regional, as is the case of a unit located in the southwest of the state of Goiás. The company in question formulates fertilizer blends that are suitable for each type of soil and crop, according to the required specifications. However, the blending process, differences in physicochemical quality requirements, and fertilizer storage conditions are factors that influence the generation of fines in the blender. In view of the above, this work presents a bibliographic review of techniques to minimize the content of fine particles, highlighting the quality requirements of granulated fertilizers and their specifications, and demonstrating the perspectives of a chemical engineer in this area. As results obtained in this study, it is evident the variety of techniques that can be used to minimize the content of fines, among them the spouted bed, the granulation by compacting, and the coating of particles using a polymeric agent.

Keywords: mixer, quality, particles, granulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mercado de fertilizantes no Brasil - em massa.....	2
Figura 2 – Processo produtivo de misturas de fertilizantes da empresa MIXER.....	3
Figura 3 – Representação das categorias dos fertilizantes convencionais.	8
Figura 4 – Ilustração de fertilizante mineral granulado NPK (16.16.16) com baixa dureza.	11
Figura 5 – Fluxo do movimento do ar saturado de vapor d'água.	13
Figura 6 – Ilustração de fertilizante mineral granulado NPK (16.16.16) desintegrado devido à alta absorção de umidade.....	13
Figura 7 – Curva de absorção de água em relação ao percentual de umidade relativa.....	15
Figura 8 – Matriz de compatibilidade de Fertilizantes.	17
Figura 9 – Representação do paredão formado por pressão na descarga do fertilizante mineral 00.21.00 (13% sol. H_2O).	18
Figura 10 – Representação do transporte e manuseio para a qualidade do produto.	20
Figura 11 – Aplicação do aditivo antidusting em NPK.....	21

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Interpretação dos valores de GSI.....	11
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificação e garantia granulométrica de fertilizantes sólidos.....	9
--	---

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos

B – Boro

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

Ca – Cálcio

Cl – Cloro

Co – Cobalto

Cu – Cobre

CNA – Citrato de Amônio

Fe – Ferro

H_2O - Água

IN – Instrução Normativa

K – Potássio

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Mg – Magnésio

Mn – Manganês

Mo – Molibidênio

N – Nitrogênio

Ni – Níquel

P – Fósforo

S – Enxofre

Se – Selênio

Si – Silício

Zn – Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVO GERAL.....	5
2.1	Objetivos Específicos.....	5
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
3.1	Fertilizantes.....	6
3.1.1	Classificação.....	6
3.1.2	Elementos químicos.....	8
3.1.3	Natureza Física.....	9
3.2	Características de qualidade de fertilizantes minerais.....	10
3.2.1	Característica de natureza física.....	10
3.2.2	Características de natureza físico-químicas.....	12
3.3	Mecanismos responsáveis pela formação de partículas finas.....	17
3.4	Medidas para redução do teor de finos de fertilizantes granulados.....	19
3.4.1	Peneiramento.....	19
3.4.2	Metodologia de armazenamento a granel.....	19
3.4.3	Manuseio e transporte.....	19
3.4.4	Blend.....	20
3.4.5	Recobrimento.....	20
3.4.6	Granulação por compactação.....	21
4	CONCLUSÃO.....	22
	REFERÊNCIAS.....	24

1 INTRODUÇÃO

No ano de 1950 a maior parte da população brasileira vivia no campo. Entre as décadas de 1950 e 1970, o país observou as migrações rural-urbanas e, com isso, um novo ciclo na economia na década de 1960 se expandiu. Diante disso, o governo estabeleceu ações para a modernização da economia agropecuária do Brasil, impulsionando e diversificando o processo de industrialização (EMBRAPA, 2022).

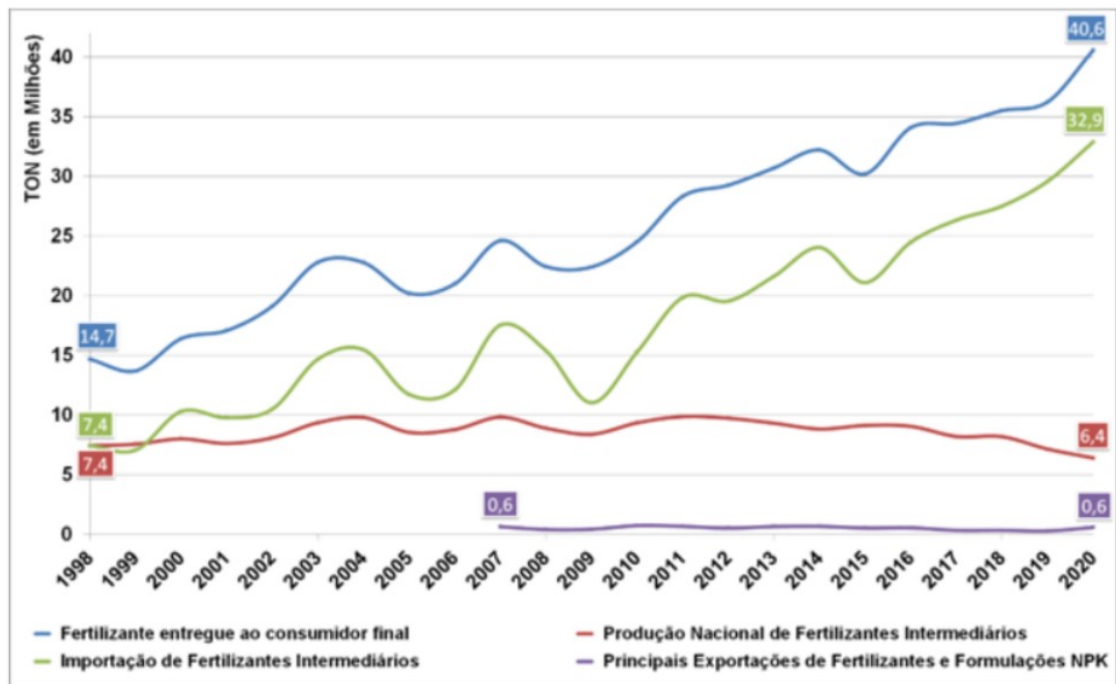
Dados estatísticos apontam uma rápida urbanização, entre 1950 e 1990, e um aumento na demanda por alimentos cresceu em 6% ao ano (ALVES et al., 2011). A política de industrialização transformou a economia do Brasil, gerando mercados para os produtos agropecuários. Sendo assim, intensificou-se a tecnologia na produção, desenvolvendo a produtividade (EMBRAPA, 2022).

Entretanto, sabe-se que o solo brasileiro, em boa parte, é naturalmente ácido e de baixa fertilidade, o que exige correção e reposição de nutrientes. Dessa forma, entre os anos de 2000 e 2015, o uso de fertilizantes cresceu 87% no Brasil, contribuindo, portanto, para um aumento significativo de 150% na produção de grãos (EMBRAPA, 2018).

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2022), o Brasil, atualmente, é responsável por cerca de 8% do consumo global de fertilizantes, ocupando a quarta posição, atrás apenas da China, Índia e dos Estados Unidos. As commodities soja, milho e cana-de-açúcar representam mais de 73% do consumo de fertilizantes do país. Essa produtividade no setor do agronegócio gera renda para famílias, empregos, alimentos à população brasileira, além de incentivar a indústria de fertilizantes do país.

Todavia, a produção de fertilizantes no Brasil é inferior à demanda interna, o que faz aumentar a dependência do país em relação às importações. Segundo dados da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), em 2020, a importação de fertilizantes totalizou 32.872.543 toneladas, volume 11% superior ao registrado no ano de 2019 (MAPA, 2022). A Figura 1 representa o crescimento das importações de fertilizantes ao longo dos anos e a produção nacional.

Figura 1 – Mercado de fertilizantes no Brasil - em massa.



Fonte: ANDA (2021).

Como pode ser visto na Figura 1, o Brasil depende fortemente das importações de fertilizantes para suprir sua demanda. No entanto, o país também tem investido na produção nacional de fertilizantes NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio).

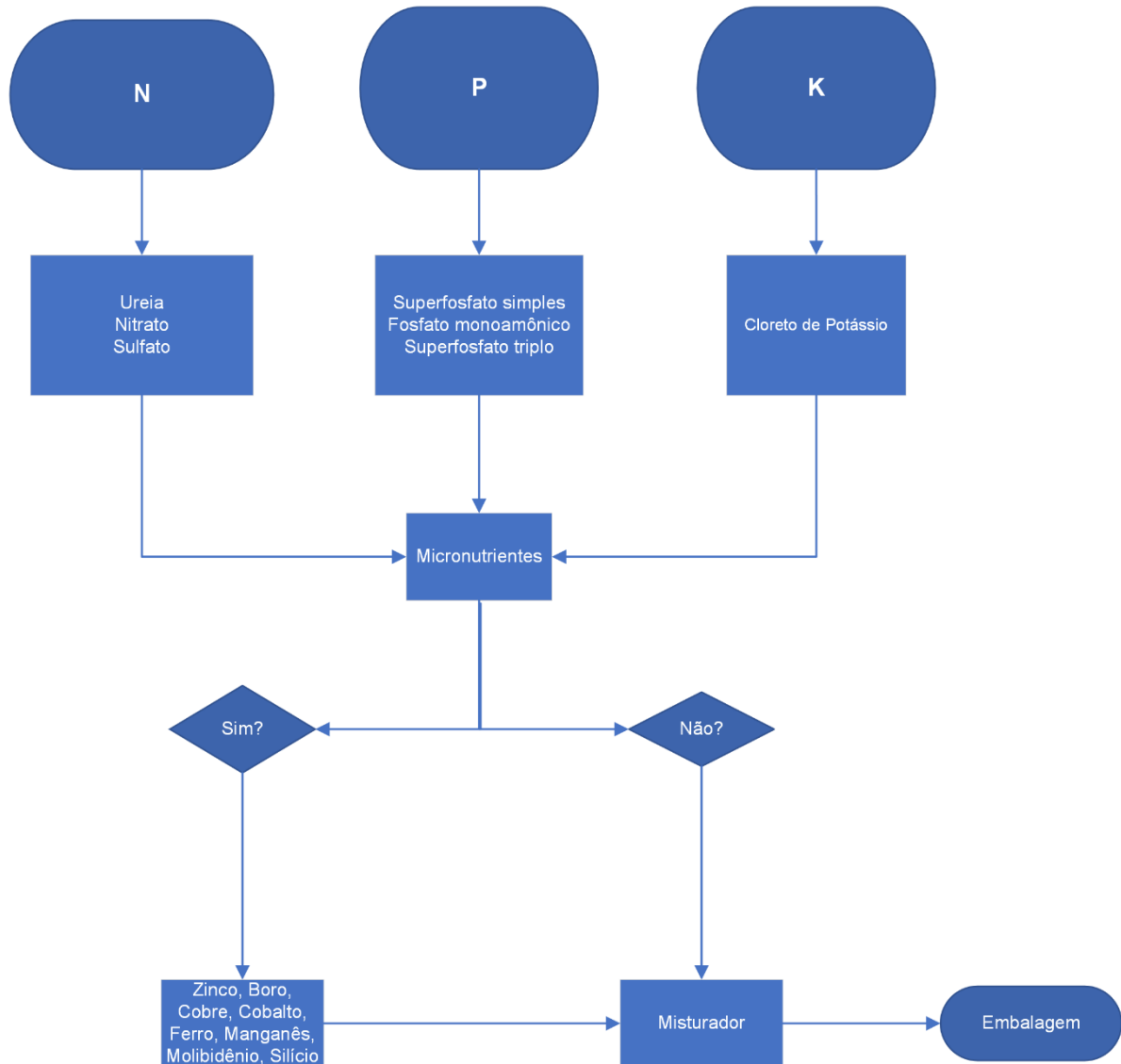
Há grandes empresas no Brasil na indústria de fertilizantes agrícolas, dentre as quais se destacam: Yara Brasil Fertilizantes, Mosaic Fertilizantes, Fertipar, Heringer e EuroChem. Essas são responsáveis pela produção de diferentes tipos de fertilizantes, que incluem os nitrogenados, fosfatados, potássicos e mistos.

É importante ressaltar que o mercado de fertilizantes no país também inclui empresas menores e que são distribuidoras regionais, que atuam como misturadoras de fertilizantes e são especializadas em produzir misturas de acordo com as necessidades específicas de cada tipo de cultura agrícola, como é o caso de uma misturadora localizada no sudoeste do estado de Goiás, doravante denominada misturadora MIXER.

A companhia em questão recebe matérias-primas, tais como: ureia, fosfato monoamônico, superfosfato simples, superfosfato triplo, cloreto de potássio, nitrato

de amônio e sulfato de amônio, e os misturam em proporções adequadas para criar formulações personalizadas que atendam às demandas das condições de solo e cultivo. Na Figura 2 representa-se o esquema do processo produtivo das misturas com NPK da companhia MIXER.

Figura 2 – Processo produtivo de misturas de fertilizantes da empresa MIXER.



Fonte: Autora (2023).

A misturadora MIXER produziu cerca de 378.769,80 toneladas de fertilizantes no ano de 2022. Tal dado está relacionado ao carregamento de matérias-primas a granel e misturas de fertilizantes em embalagens de big-bags (1000 kg) e sacarias (50 kg).

O processo de mistura, as diferenças nas propriedades físicas e as condições de armazenamento dos fertilizantes são fatores que influenciam a geração de finos na misturadora. Diante do exposto, o presente trabalho busca realizar um levantamento bibliográfico sobre alternativas para minimizar o teor de partículas finas de fertilizantes granulados que são geradas na unidade da misturadora MIXER, localizada no interior de Goiás, em que para preservação da imagem, não será exposto o nome da empresa.

2 OBJETIVO GERAL

O principal objetivo do trabalho de conclusão de curso é apresentar, através de uma revisão da literatura de caráter descritivo, técnicas para minimizar o teor de finos (particulados) em fertilizantes granulados.

2.1 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, destacam-se:

- realizar uma revisão bibliográfica sobre fertilizantes e suas especificações;
- evidenciar os requisitos de qualidade física e química de fertilizantes minerais;
- estudar as técnicas para reduzir os particulados aumentando a eficiência do fertilizante;
- discutir as principais contribuições do engenheiro químico em uma indústria de fertilizantes;
- mostrar as perspectivas futuras da área em face das novas pesquisas realizadas na atualidade.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este trabalho se trata de uma revisão de literatura, método que analisa determinado tema já estudado em pesquisas anteriores, e que tem como objetivo principal a compreensão mais profunda do tema.

O estudo tem como desenvolvimento a identificação do eixo temático, a análise da problemática e, por fim, as tratativas com base em resultados encontrados nas pesquisas.

Para a elaboração do presente trabalho, é feita, portanto, uma pesquisa bibliográfica com auxílio de materiais já existentes, permitindo reconhecer a história e os aspectos atuais dos fertilizantes granulados. E, para isso, buscaram-se artigos científicos, livros e pesquisas de órgãos públicos, atuais e em língua portuguesa, mostram a realidade do mercado, as normas e as técnicas evolutivas de granulação dos fertilizantes no Brasil.

3.1 Fertilizantes

De acordo com a legislação brasileira, conforme definido pelo decreto nº86.955 de 18 de fevereiro de 1982, fertilizantes são “substâncias, minerais ou orgânicas, naturais ou sintéticas, fornecedoras de um ou mais nutrientes das plantas”. A sua função é repor ao solo os nutrientes, mantendo e impulsionando a produtividade agrícola (BNDES, 2006).

3.1.1 Classificação

De acordo com a Lei nº 6.894, de dezembro de 1980, os fertilizantes são classificados em diferentes categorias, como descrito na sequência.

a) Fertilizante mineral

“Produto de natureza fundamentalmente mineral, natural ou sintético, obtido por processo físico, químico ou físico-químico, fornecedor de um ou mais nutrientes de plantas.”

I) Fertilizante mineral simples

“Produto formado, fundamentalmente, por um composto químico, contendo um ou mais nutrientes de plantas.”

II) Fertilizante mineral misto

“Produto resultante da mistura física de dois ou mais fertilizantes minerais.”

III) Fertilizante mineral complexo

“Produto formado de dois ou mais compostos químicos, resultante da reação química de seus componentes, contendo dois ou mais nutrientes.”

b) Fertilizante orgânico

“Produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais.”

I) Fertilizante orgânico simples

“Produto natural de origem vegetal ou animal, contendo um ou mais nutrientes de plantas.”

II) Fertilizante orgânico misto

“Produto de natureza orgânica, resultante da mistura de dois ou mais fertilizantes orgânicos simples, contendo um ou mais nutrientes de plantas.”

III) Fertilizante orgânico composto

“Produto obtido por processo físico, químico, físicoquímico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matéria-prima de origem industrial, urbana ou rural, animal ou vegetal, isoladas ou misturadas, podendo ser enriquecido de nutrientes minerais, princípio ativo ou agente capaz de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas.”

c) Fertilizante organomineral

“Produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos.”

d) Biofertilizantes

“Produto que contém princípio ativo ou agente orgânico, isento de substâncias agrotóxicas, capaz de atuar, direta ou indiretamente, sobre o todo ou parte das plantas cultivadas, elevando a sua produtividade, sem ter em conta o seu valor hormonal ou estimulante.”

Na Figura 3 apresenta-se uma ilustração das diferentes categorias dos fertilizantes convencionais.

Figura 3 – Representação das categorias dos fertilizantes convencionais.



Fonte: Adaptado de Borelli (2020).

3.1.2 Elementos químicos

Os macronutrientes primários, macronutrientes secundários e micronutrientes dos fertilizantes previstos na Instrução Normativa N° 61, de 08 de julho de 2020 são apresentados a seguir.

- I. Macronutrientes primários: Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K).
- 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).

3.1.3 Natureza Física

Os fertilizantes minerais, de acordo com a sua natureza física, sólida, ou fluida, terão diferentes especificações de natureza física e garantias granulométricas, de acordo com Instrução Normativa N° 39, de 08 de agosto de 2018, conforme detalhado na sequência.

I – Para produtos sólidos granulados, mistura de grânulos, microgranulados, pó, farelados e pastilhas, são especificados na Tabela 1.

Tabela 1 – Especificação e garantia granulométrica de fertilizantes sólidos.

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: Adaptado de Instrução Normativa, N° 39 (2018).

II – Para os produtos fluidos: solução, suspensão e suspensão concentrada.

Geralmente, a qualidade do fertilizante é avaliada por meio dos seguintes critérios a seguir (BNDES, 2006).

- **Granulometria:** os grãos devem ser uniformes com tamanhos especificados pela legislação. A padronização dos fertilizantes granulados permite uma boa regulação dos equipamentos para aplicação e influência na velocidade com que o fertilizante será dissolvido e distribuído na área do plantio.
- **Consistência:** os grãos devem ter uma boa resistência física para que não esfarelem e virem pó (partículas finas), gerando perdas. A armazenagem e o transporte contribuem bastante a uniformidade da granulometria.
- **Fluidez:** analisa a capacidade livre de escoamento do fertilizante, que afeta a distribuição mecânica no local de plantio.

- Densidade: está relacionada a fluidez de fertilizantes líquidos.

3.2 Características de qualidade de fertilizantes minerais

As características de qualidade dos fertilizantes são as condições naturais ou artificiais com que esses produtos podem se apresentar, e têm relação direta ou indireta com a sua eficiência. Essas características podem ser de natureza física, química ou físico-química (ALCARDE et al., 1998).

3.2.1 Característica de natureza física

I) Estado físico

Os fertilizantes são, em sua maior parte, na forma sólida e podem ser de diferentes tipos (RODELLA; ALCARDE, s.d.), conforme detalhado na sequência.

- Misturas de grânulos: são os fertilizantes mistos ou misturas de fertilizantes obtidas pela mistura física de dois ou mais fertilizantes granulados.
- Misturas granuladas: são os fertilizantes mistos ou misturas de fertilizantes onde cada grânulo contém todos os nutrientes garantidos.
- Misturas complexas: são os fertilizantes mistos ou misturas resultantes de reação química entre matérias-primas.

II) Granulometria

A granulometria de fertilizantes sólidos é determinada pelo tamanho e pela forma de suas partículas, sendo expressa de maneira quantitativa por meio dos resultados de uma análise granulométrica. Essa análise consiste, basicamente, em fazer uma massa conhecida do produto passar por uma sequência de peneiras com tamanho de abertura de malha decrescente. Pesando-se a massa retida em cada peneira, expressa-se cada fração em termos percentuais. Como resultado da composição granulométrica, os fertilizantes sólidos podem apresentar o fenômeno da segregação, que é a separação das partículas componentes de uma mistura de fertilizantes por ordem de tamanho (RODELLA; ALCARDE, s.d.). O fator que mais favorece esse processo é a diferença de tamanho das partículas, além da densidade, forma, resistência mecânica e ângulo de repouso (CIBRA, 2022).

Existe um índice que é calculado de acordo com a granulometria do fertilizante, o chamado Índice de Dispersão de Partículas (GSI). Os valores desse

índice apresentam as interpretações apresentadas no Quadro 1, que mostram a possibilidade de segregação (CIBRA, 2022).

Quadro 1 – Interpretação dos valores de GSI.

VALOR DE GSI	INTERPRETAÇÃO
Até 20	Baixa segregação: indica que o produto tem alta uniformidade de aplicação.
Entre 20 e 25	Média segregação: indica que o produto tem média uniformidade de aplicação.
Maior do que 25	Alta segregação: indica que o produto tem baixa uniformidade de aplicação.

Fonte: Adaptado de CIBRA (2022).

III) Consistência

É interpretada como o grau de dureza ou resistência a quebra ou abrasão do grânulo de fertilizante. Quando os grânulos são frágeis ocorre a quebra e ou a formação de pó (geração de partículas finas), que resulta em partículas não uniformes (RODELLA; ALCARDE, s.d.).

A resistência ao esmagamento de partículas de fertilizantes se distingue conforme a composição química. A absorção de água apresenta efeitos negativos sobre a maioria dos fertilizantes. As partículas tendem a ficar mais compactadas e a se desintegrar, ou seja, perdem a dureza (YARA BRASIL, s.d.), como destacado na Figura 4.

Figura 4 – Ilustração de fertilizante mineral granulado NPK (16.16.16) com baixa dureza.



Fonte: Autora (2023).

A resistência mecânica é a capacidade do fertilizante de resistir às pressões impostas a eles na cadeia de transporte. A resistência mecânica depende da estrutura de superfície e da resistência da partícula (YARA BRASIL, s.d.).

IV) Fluidez

Representa a capacidade de escoar livremente pelos sistemas mecânicos de aplicação e se relaciona com a eficiência de distribuição dos fertilizantes. A tendência de escoamento dos fertilizantes é avaliada pelo parâmetro ângulo de repouso (medida da inclinação máxima de uma pilha de fertilizantes granulados), ou seja, quanto menor o ângulo, maior a fluidez (RODELLA; ALCARDE, s.d.).

V) Densidade

Relaciona massa e volume do produto. A densidade é importante para o dimensionamento de áreas de armazenamento e de embalagens (RODELLA; ALCARDE, s.d.).

As variações na distribuição de partículas causadas pela segregação irão influenciar a densidade aparente. Para o espalhamento mecânico, é importante que as variações dentro de um produto tenham especificações mínimas (YARA BRASIL, s.d.).

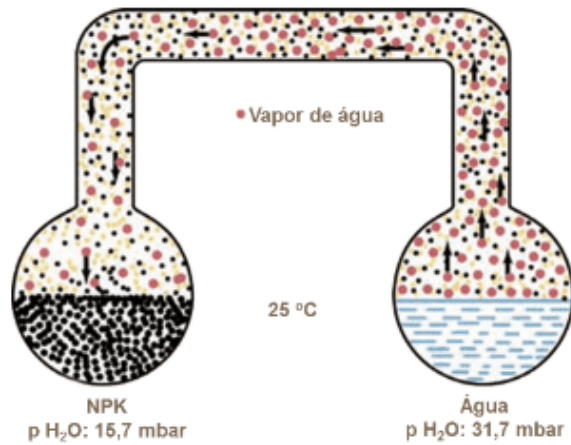
3.2.2 Características de natureza físico-químicas

I) Higroscopicidade

É uma característica que indica a tendência dos fertilizantes em absorver água do ar atmosférico. É uma característica expressa pelo parâmetro umidade relativa crítica, definida como a umidade relativa máxima a que o produto pode ser exposto sem absorver umidade (RODELLA; ALCARDE, s.d.).

O ar contém umidade em forma de vapor d'água e, portanto, exerce uma pressão de vapor d'água, a qual é determinada pela umidade e pela temperatura (YARA BRASIL, s.d.). Na Figura 6, é representado o ar saturado de vapor d'água, que se move da alta pressão para a baixa, isto é, da água para o fertilizante NPK.

Figura 5 – Fluxo do movimento do ar saturado de vapor d'água.



Fonte: YARA BRASIL (s.d).

Com a alta absorção de vapor d'água, o fertilizante granulado começa a se desintegrar, como pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 – Ilustração de fertilizante mineral granulado NPK (16.16.16) desintegrado devido à alta absorção de umidade.



Fonte: Autora (2023).

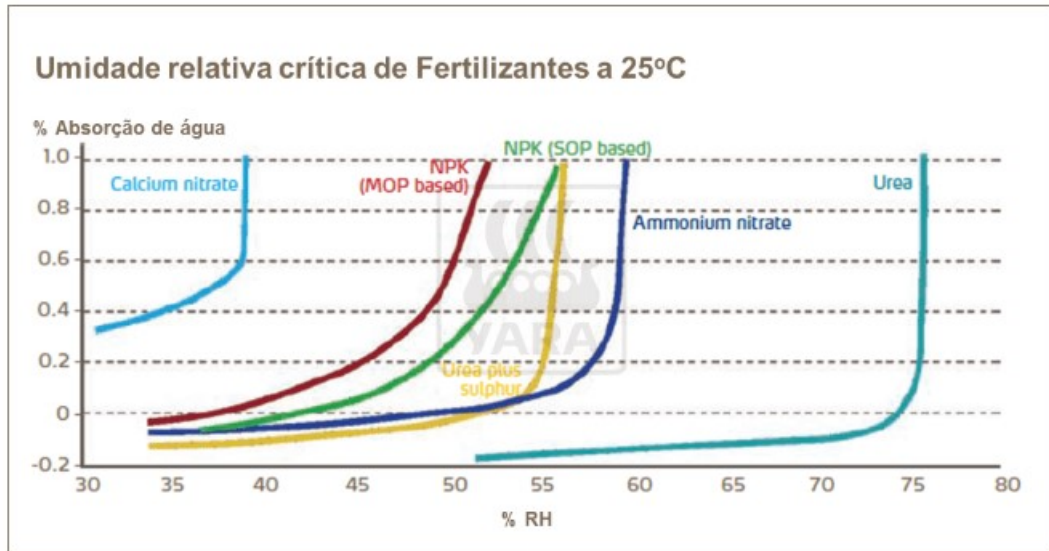
A absorção de umidade durante a forma de armazenamento e de manuseio pode reduzir a qualidade física do fertilizante. Conhecidas temperatura e umidade do ar, e a temperatura de superfície do fertilizante, pode-se determinar se a absorção de água irá ocorrer ou não (YARA BRASIL, s.d.).

Uma absorção de água significativa implicará em consequências para os fertilizantes, tais como (Yara BRASIL, s.d.):

- partículas moles e pegajosas;
- partículas com volume aumentado;
- desintegração da partícula;
- branqueamento e mudança na cor;
- baixa dureza;
- aumento na tendência do empedramento;
- aumento de partículas finas e formação de poeira;
- os boxes de armazenamento e locais de produção ficam úmidos e escorregadios;
- aumento da não conformidade às especificações.

Todos os fertilizantes são higroscópicos, sendo alguns mais e outros menos, isso quer dizer que começam a absorver umidade em um determinado valor específico ou a uma certa pressão de vapor d'água. Alguns fertilizantes muito higroscópicos absorvem umidade com mais facilidade e a uma umidade mais baixa que outros. A absorção de água ocorre se a pressão do vapor d'água do ar exceder a pressão do vapor d'água do fertilizante, como pode ser representado na Figura 7.

Figura 7 – Curva de absorção de água em relação ao percentual de umidade relativa¹.



Fonte: Adaptado de Yara Brasil (s.d.).

Conforme representado na Figura 8, a curva de absorção da água sobe, de forma lenta, a uma baixa umidade relativa, entretanto, ao atingir uma faixa de umidade, ela começa a subir de forma expressiva. Essa umidade é chamada de umidade crítica do fertilizante. Essa umidade crítica abaixa quando a temperatura aumenta (YARA BRASIL, s.d.).

II) Empedramento

É uma característica físico-química que está relacionada à formação de massas de partículas de fertilizantes de dimensões maiores que as originais. O motivo do empedramento é a formação de pontes cristalinas entre as partículas, atuando como pontos de ligação entre elas (RODELLA; ALCARDE, s.d.), além das forças adesivas e capilares entre as superfícies dos grânulos (YARA BRASIL, s.d.).

O empedramento pode ser resultado da absorção de água das partículas, a temperatura de estocagem e a altura das pilhas no armazenamento, pois a pressão com que o fertilizante é armazenado favorece esse empedramento (RODELLA; ALCARDE, s.d.). Quando as pressões são aliviadas, a cristalização ocorre nos locais

¹ Na figura, as informações estão em inglês e as traduções são: Calcium nitrate (nitrato de cálcio), NPK (MOP based) (cloreto de potássio), NPK (SOP based) (NPK fosfatado), Urea plus sulphur (ureia mais enxofre), Ammonium nitrate (nitrato de amônio) e Urea (ureia).

onde ocorreram os amolecimentos ou dissoluções, favorecendo a união das partículas (BERNARDES, 2006).

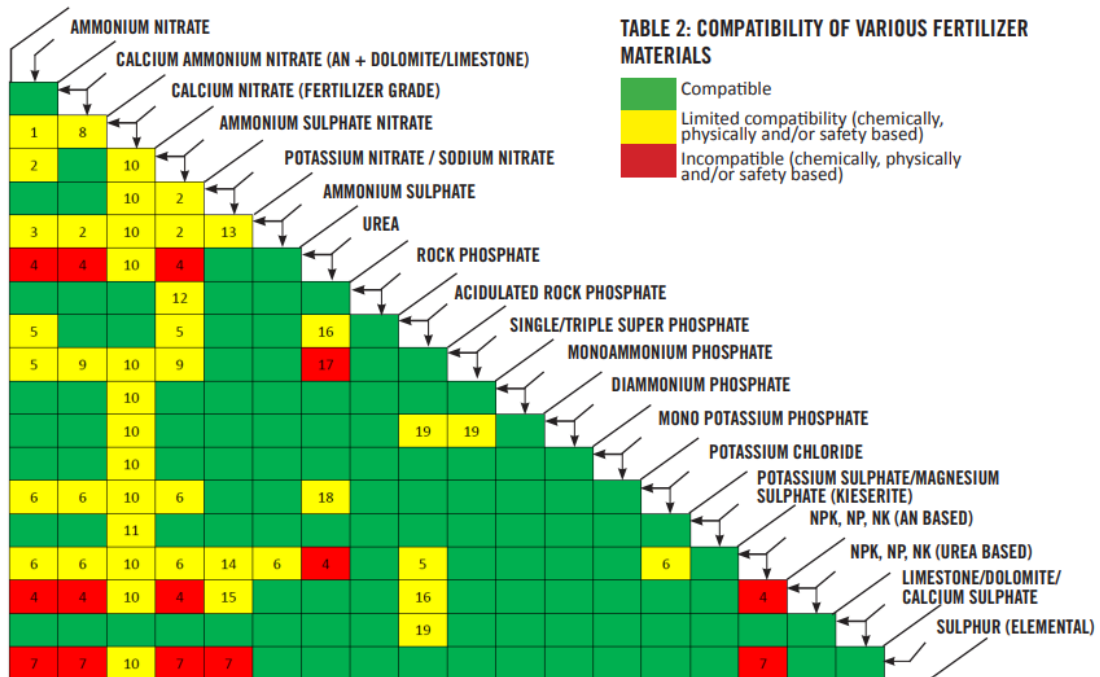
De forma geral, o empedramento de fertilizantes se deve à fragilidade dos grânulos ao se deformarem, proporcionando uma maior área de contato entre eles. A quebra dos fertilizantes granulados resulta em formação de pó (partículas finas) (RODELLA; ALCARDE, s.d.).

Sendo assim, o empedramento pode ser afetado pelos seguintes fatores (YARA BRASIL, s.d.): umidade do ar, dureza e formato da partícula, composição química, teor de umidade do fertilizante, temperatura e pressão do ambiente e, por fim, tempo de armazenamento.

III) Compatibilidade química e física

Essa propriedade está relacionada principalmente à mistura de diferentes fertilizantes, contaminação cruzada e outros problemas de segurança e qualidade, como, empedramento, perda de dureza, formação de poeira e perda de resistência à decomposição térmica no caso do nitrato de amônio (YARA BRASIL, s.d.). Na Figura 8 apresenta-se a compatibilidade de alguns fertilizantes.

Figura 8 – Matriz de compatibilidade de Fertilizantes.



Fonte: FERTILIZERS EUROPE (2006).

3.3 Mecanismos responsáveis pela formação de partículas finas

Diante do exposto, nota-se que as mudanças nas características físicas e físico-químicas dos fertilizantes granulados ocasionam a formação de partículas finas.

Na misturadora MIXER é possível observar um alto teor de finos gerados durante o manuseio dos granulados, e as principais razões por tal formação são descritas na sequência.

- Absorção de umidade: quando os fertilizantes estão expostos a condições de uma alta umidade relativa do ar durante o seu armazenamento, provocando perda de qualidade; análise granulométrica apresenta excesso de finos (peneira de 1 mm com teor de partículas passantes superior a 5%) e compactação e aglomeração dos grânulos, dificultando a fluidez.
- Baixa dureza (resistência mecânica da partícula): pode ser provocada pelo excesso de umidade ou pressões durante formação das pilhas na descarga aérea do fertilizante no box do armazém (Figura 9), sofrendo maior compactação, pois o material que está em baixo é pressionado pelo peso do que

foi descarregado por último sobre ele (ALVIM, 2013). Com isso, a partícula granulada é enfraquecida, podendo aumentar o teor de finos.

Figura 9 – Representação do paredão formado por pressão na descarga do fertilizante mineral 00.21.00 (13% sol. H_2O).



Fonte: Autora (2023).

- Desgaste das pás e superfícies internas do misturador: provocado pelo atrito com as partículas de fertilizantes.
- Processo de mistura: as partículas podem colidir com as superfícies do misturador, resultando na quebra dos grânulos e gerando finos; além disso, o tempo prolongado da mistura também pode levar a esse resultado.

Diante desses fatores que podem ocasionar o aumento de teor de finos dos fertilizantes granulados na misturadora MIXER, o percentual de varreduras também é elevado na unidade. As varreduras correspondem às “sobras” de misturas de fertilizantes ou partículas finas presentes nos boxes dos armazéns. Com isso, ressalta-se a perda de qualidade e composição dos nutrientes, pois pode haver contaminação e impurezas. Logo, esses resíduos de fertilizantes podem ser coletados e armazenados para posterior utilização em uma mistura, após passar por um processo de peneiramento ou segregação, e podem ser comercializados com um baixo valor agregado, pois há perdas dos nutrientes e das garantias mínimas de qualidade.

3.4 Medidas para redução do teor de finos de fertilizantes granulados

A formação de partículas finas geradas dos fertilizantes granulados é minimizada com algumas medidas adequadas na misturadora, que são detalhadas na sequência.

3.4.1 Peneiramento

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) define através da Instrução Normativa N° 46, o peneiramento como método convencional de análise granulométrica para controle de qualidade de fertilizantes. Este método consiste em colocar a amostra previamente pesada em um conjunto de peneiras empilhadas em ordem crescente, de acordo com o tamanho da abertura da malha. Com isso as peneiras são colocadas em um agitador mecânico que apresenta a quantidade de fertilizante retida em cada peneira. Em seguida, as amostras são pesadas para que sejam feitos os cálculos de percentual de massa (MENDONÇA et al., 2018).

Essa é uma técnica bastante utilizada na unidade da mistura em estudo, pois assim, é possível segregar partículas finas dos fertilizantes granulados, reduzindo, portanto, o percentual de excesso de finos.

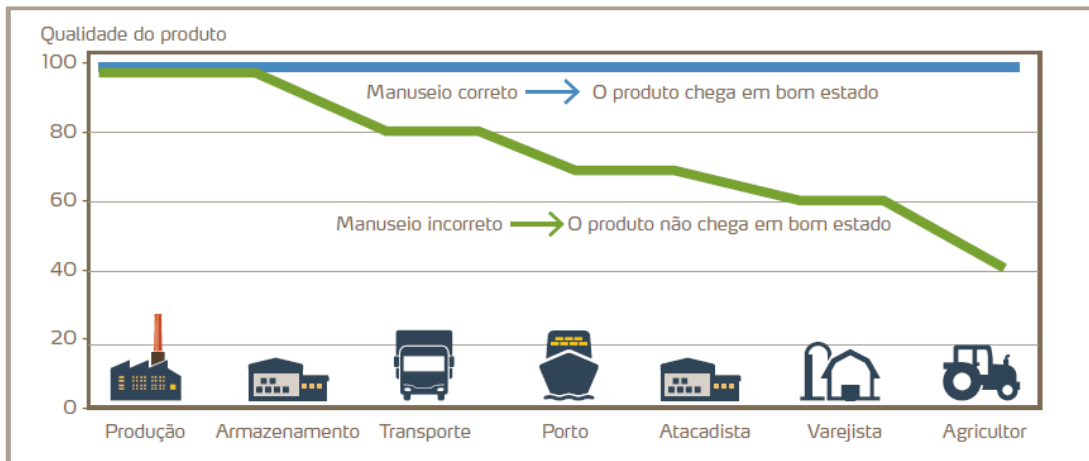
3.4.2 Metodologia de armazenamento a granel

Os fertilizantes a granel são armazenados em área coberta, seca e ventilada, pois grandes oscilações de temperatura podem danificar a estrutura do produto.

3.4.3 Manuseio e transporte

Conforme apresentado na Figura 10, o transporte é uma etapa muito importante para a qualidade do produto. Para minimizar a danificação na qualidade e evitar problemas de segurança no transporte, deve-se atentar às propriedades químicas e principalmente físicas do fertilizante quanto aos procedimentos corretos de manuseio da indústria ao campo. O manuseio e o transporte correto do fertilizante devem ser baseados nas condições climáticas, no tipo de fertilizante e na forma como é expedido (granel ou embalado) (YARA BRASIL, s.d.).

Figura 10 – Representação do transporte e manuseio para a qualidade do produto.



Fonte: YARA BRASIL (s.d).

3.4.4 Blend

A técnica de blend de fertilizantes granulados também é bastante realizada dentro da unidade MIXER no intuito de minimizar o teor de excesso de finos e diminuir as impurezas, melhorando a qualidade do produto. Tal técnica é feita diretamente no box do armazém ou no misturador, e consiste em misturar um mesmo produto com qualidades físicas e químicas diferentes. A quantidade dos produtos para a mistura dependerá do volume que será expedido e do grau de impurezas e finos presentes.

3.4.5 Recobrimento

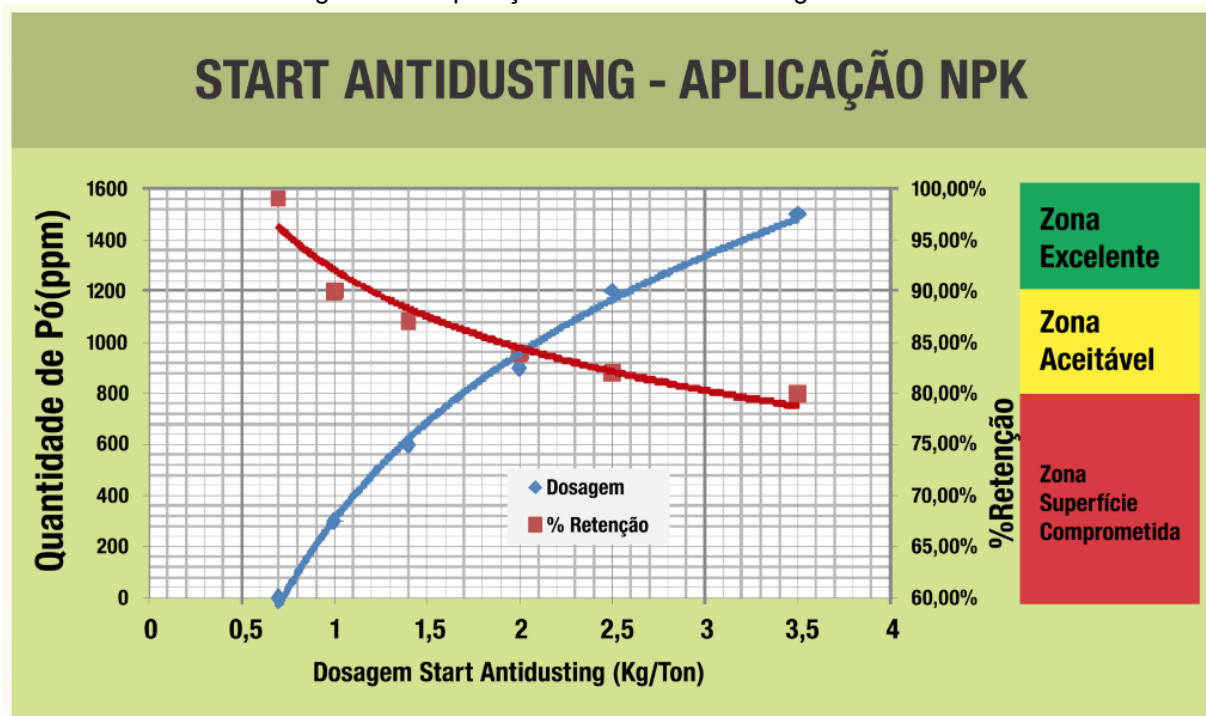
Essa medida consiste em aumentar o tamanho, a densidade e a dureza de grânulos, melhorar a granulação, reduzir os particulados (pó), melhorar o escoamento nos equipamentos ou aumentar a eficiência de aplicação do fertilizante, utilizando substâncias como: pó de rocha, polímeros, óleos, amiláceos, ceras, zeólitas e grafite (INSTRUÇÃO NORMATIVA N°61, 2020).

Na misturadora MIXER usa-se um óleo para reduzir o pó dos fertilizantes granulados, denominado Antidusting. Esse aditivo tem uma tecnologia de capturar e reter a poeira junto à superfície dos grânulos.

A cor trazida pelo aditivo ao fertilizante é também diretamente proporcional à quantidade de finos e particulados contidos junto aos grânulos. Quanto maior a área de superfície específica dos fertilizantes em função da granulometria maior será a

necessidade de dosagens do aditivo para transferir cor aos fertilizantes granulados, como pode ser observado na Figura 11.

Figura 11 – Aplicação do aditivo antidusting em NPK.



Fonte: ADFERT (s.d.).

A composição do aditivo é uma base de polímeros com agentes tensoativos de alto peso molecular que auxiliam na capacidade de adesão das partículas de poeira na superfície dos grânulos. Sendo assim, é uma tecnologia eficiente da engenharia para a melhoria da qualidade do processo de granulação e mistura de grânulos (ADFERT, s.d.).

3.4.6 Granulação por compactação

A granulação é um processo de aumento de partículas pela técnica de aglomeração, uma das operações mais importantes na produção de fertilizantes. O processo de granulação transforma pós finos em grânulos livres de poeira (METSO, 2020).

A produção de fertilizantes por meio da granulação é um procedimento que, de modo geral, aglomera partículas finas em uma massa úmida, contribuindo para que não haja perdas por segregação. A granulação permite que matérias-primas

sejam recuperadas e que os resíduos se transformem em produtos comercializáveis (METSO, 2020).

A maneira pela qual se chega ao resultado da mistura granulada é realizando o tamboreamento e rolagem do material como mecanismo de aglomeração (METSO, 2020).

A compactação, por sua vez, é indicada para materiais de difícil granulação, e plantas compactas e energeticamente eficientes. Ele permite a consolidação dos fertilizantes sólidos, em qualquer proporção, somente com o uso de pressão mecânica. É um método por via seca, no qual não há a necessidade de adição de líquidos e, por isso, dispensa o uso dos secadores, reduz o consumo de energia e dispensa os aglomerantes do processo úmido (METSO, 2020).

Esse tipo de granulação via seca é realizado por meio de rolos compactadores. A mistura de pós é comprimida entre dois rolos para produzir uma folha laminada de material. Nesse caso, utilizam-se técnicas de desintegração desses materiais compactados para a obtenção de grânulos que, normalmente, são peneirados (classificação granulométrica) para separar a fração de tamanho desejada. O material, fino e indesejado, retorna ao processo de mistura e compactação (BERNARDES, 2006).

Diante do exposto, pode-se afirmar que existem muitas técnicas possíveis para reduzir o teor de finos e garantir a qualidade física dos fertilizantes granulados facilitando o manuseio, a aplicação e a eficácia no fornecimento de nutrientes às plantas.

4 CONCLUSÃO

Foi possível observar a partir desta revisão bibliográfica que os fertilizantes desempenham um papel fundamental no setor do agronegócio, fornecendo nutrientes para o desenvolvimento das plantas e assim, aumentando a produtividade do cultivo.

Diante disso, para minimizar a formação de finos em fertilizantes, é essencial adotar um controle de qualidade físico-químico, que inclui grãos uniformes e tamanhos de acordo com o especificado pela legislação e minimizar os efeitos da higroscopicidade evitando empedramento e baixa dureza, por meio da granulação (via seca ou via úmida) e das boas condições de armazenamento dos fertilizantes nos boxes. Isso faz com que a geração de finos seja reduzida, e, conseqüente, o volume de varreduras gerado na misturadora.

Além disso, a aglomeração de partículas finas e sua transformação em partículas maiores, grânulos, é uma solução para minimizar o teor de pó gerado, por meio da escolha adequada dos equipamentos, garantindo a eficiência no processo.

Por meio das técnicas para minimizar o teor de finos, notam-se os avanços tecnológicos e as perspectivas de atuação da engenharia nesse setor, por meio dos benefícios econômicos, agilidade operacional e flexibilidade nos métodos de granulação e recobrimento de partículas.

Portanto, diante do exposto no presente trabalho, é visível que as pesquisas nesse setor de fertilizantes tendem a continuar sempre atualizadas, pois a demanda por uma alta produtividade irá permanecer com o constante aumento populacional. Além disso, as procuras por atualização e conhecimento trazem benefícios para a sociedade e profissionais das indústrias e misturadoras de fertilizantes.

REFERÊNCIAS

- ADFERT.** Alta eficiência na captura e retenção de poeira. Disponível em: <https://www.adfert.com.br/produtos/start-antidustingart> Antidusting (adfert.com.br) Acesso em: 11 de junho de 2023.
- ALCARDE, J.C.; GUIDOLIN, J.A.; LOPES, A. S. Os adubos e a eficiência das adubações; **ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos**, 1998. Disponível em: <http://anda.org.br/wp-content/uploads/2018/10/boletim_03.pdf> Acesso em: 10 de junho de 2023.
- ALVES, E.; SOUZA, G. S.; MARRA, R. Êxodo e sua contribuição à urbanização, de 1950 a 2010. **Revista de Política Agrícola**, v.20, n. 2, p. 80-88, 2011.
- ALVIM, Mateus Santarossa. **Análise de estoques: Avaliação do método de controle de inventário em uma misturadora de fertilizantes**. 2013. Trabalho de conclusão de curso. Departamento de Ciências Administrativas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- BERNARDES, L. J. L. A Granulação de Materiais. **Cerâmica Industrial**, Piracicaba, v. 11, n.3, 2006. Disponível em: <<https://ceramicaindustrial.org.br/article/5876572a7f8c9d6e028b46f7/pdf/ci-11-3-5876572a7f8c9d6e028b46f7.pdf>> Acesso em 10 de junho de 2023
- BORELLI, Laíze Matos. **Fertilizantes de eficiência aprimorada – Perspectivas e Potencial de uso de biopolímeros como matrizes de liberação lenta ou controlada**. 2020. Monografia. Curso de Engenharia Agrônoma, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2020.
- MAPA** – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto N° 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Estabelece normas sobre registro, padronização, classificação, inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinado à agricultura, 2004. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm?fbclid=IwAR0QGXn_uuN_P-8mF6TDunks9WHx3clHC3VhJqR5DS6eO4tAKkjLb1beyNw#:~:text=Aprova%20o%20Regulamento%20da%20> Acesso em: 10 de junho de 2023.
- MAPA** – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa N° 39, de 08 de agosto de 2018. Estabelecer as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura, 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 10 de junho de 2023.
- MAPA** – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa N° 46, de 06 de outubro de 2011. Estabelecer o Regulamento Técnico para os

Sistemas Orgânicos de Produção, bem como as listas de substâncias e práticas permitidas para uso nos Sistemas Orgânicos de Produção, 2011. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/ptbr/assuntos/sustentabilidade/organicos/legislacao/portugues/instrucao-normativa-no-46-de-06-de-outubro-de-2021-producao-vegetal-e-animal-regulada-pela-in-17-2014.pdf/view>> Acesso em: 10 de junho de 2023.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa N°61, de 08 de julho de 2020. Estabelecer as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura, 08 de julho de 2020. Disponível em <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-61-de-8-7-2020-organicos-e-biofertilizantes-dou-15-7-20.pdf>> Acesso em: 10 de junho de 2023.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. “Estatística do Setor”, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/plano-nacional-de-fertilizantes/estatisticas-do-setor>> Acesso em: 09 de junho de 2023.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento . “O Plano Nacional de Fertilizantes”, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/plano-nacional-de-fertilizantes/o-plano-nacional-de-fertilizantes>> Acesso em: 28 de maio de 2023.

BUENO, Pablo Daniel Freitas. **Recobrimento de partículas de vidro com quitosana em leite de jorro e sua utilização na adsorção de corantes em solução aquosa**. 2016. Tese de Doutorado. Engenharia e Ciências de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2016.

CIBRA. Como evitar a segregação de fertilizantes?, 26 de outubro de 2022. Disponível em: <<https://www.cibra.com/noticias-agricolas/artigos-tecnicos/como-evitar-a-segregacao-de-fertilizantes/>> Acesso em: 10 de junho de 2023.

DIAS, V. P.; FERNANDES, E. Fertilizantes: uma visão global sintética. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 24, p. 97-138, set. 2006. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2657/1/BS%2024%20Fertilizantes_Uma%20Vis%c3%a3o%20Global%20Sint%c3%a9tica_P.pdf. Acesso em: 10 jun. 2023.

DUARTE, Claudio Roberto. **Estudo experimental e de simulação da fluidodinâmica e recobrimento em leite de jorro**. 2006. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

GUIDANCE for compatibility of fertilizer blending materials. **Fertilizers Europe**, Belgium, 2014. Disponível em:<https://www.fertilizerseurope.com/wpcontent/uploads/2019/08/Guidance_for_compatibility2.pdf> Acesso em: 10 de junho de 2023.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Visão 2030: O Futuro da Agricultura Brasileira, Brasília, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/10180/9543845/Vis%C3%A3o+2030+-+o+futuro+da+agricultura+brasileira/2a9a0f27-0ead-991a-8cbf-af8e89d62829>>. Acesso em: 09 de junho de 2023.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Visão do Futuro do Agro Brasileiro, 2022. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/visao-de-futuro/trajectoria-do-agro>>. Acesso em: 09 de junho de 2023.

METSO. Granulação de fertilizantes: Como ter um processo mais eficiente, 2020. Disponível em: <https://www.metso.com/globalassets/ebook/job-mo83_ebook_fertilizantes.pdf?r=3>. Acesso em: 11 jun. 2023.

MENDONÇA, J.C.O., MOREIRA, M.M.P., ESTRADA, E.S.D., RODRIGUES, R.N., BOTELHO, S.S.C. Análise Granulométrica de Fertilizantes por Processamento de Imagem Digital de Imagens. **Centro de Ciências Computacionais**, 2018. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande. Disponível em: <<http://sibgrapi.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sibgrapi/2018/10.23.20.46/doc/Paper%20ID%2028.pdf?requiredmirror=sid.inpe.br/banon/2001/03.30.15.38.24&metadatarpository=sid.inpe.br/sibgrapi/2018/10.23.20.46.19&searchsite=sibgrapi.sid.inpe.br:80>> Acesso em: 10 de junho de 2023.

RODELLA, A. A.; ALCARDE, J.C.; Requisitos de Qualidade Física e Química de Fertilizantes Minerais; **Departamento de Ciências Exatas**; Piracicaba, SP, s.d. Disponível em: <<https://docs.ufpr.br/~nutricao-deplantas/textferti.pdf>> Acesso em: 10 de junho de 2023.

YARA BRASIL – Manuseio de Fertilizantes – Propriedades físicas, s.d. Disponível em: <<https://www.yarabrasil.com.br/nutricao-de-plantas/manuseio-de-fertilizantes/propriedades-fisicas-dos-fertilizantes/>> Acesso em: 10 de junho de 2023.

YARA BRASIL – Manuseio de Fertilizantes – Manuseio e transporte, s.d. Disponível em: <<https://www.yarabrasil.com.br/nutricao-de-plantas/manuseio-de-fertilizantes/manuseio-e-transporte-de-fertilizantes/>> Acesso em: 10 de junho de 2023.