



CLÁUDIO JOSÉ MARTNS BITTENCOURT FILHO

**CONTROLE DE QUALIDADE EM INDÚSTRIA DE
FERTILIZANTES MINERAIS: ÊNFASE NAS ANÁLISES
FÍSICAS**

São Luís
2021

CLÁUDIO JOSÉ MARTNS BITTENCOURT FILHO

**CONTROLE DE QUALIDADE EM INDÚSTRIA DE
FERTILIZANTES MINERAIS: ÊNFASE NAS ANÁLISES
FÍSICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado de Curso da Engenharia Química do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Química.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Audirene Amorim Santana

São Luís
2021

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Bittencourt, Cláudio.

CONTROLE DE QUALIDADE EM INDÚSTRIA DE FERTILIZANTES
MINERAIS: ÊNFASE NAS ANÁLISES FÍSICAS / Cláudio Bittencourt.
- 2021.

53 f.

Orientador(a): Audirene Amorim Santana. Curso de Engenharia
Química, Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA,
2021.

1. Análises estatísticas. 2. Análises físicas. 3. Controle
de qualidade. 4. Fertilizantes. 5. Macronutrientes. I. Amorim
Santana, Audirene. II. Título.

BANCA EXAMINADORA:

Prof^a. Dr^a. AUDIRENE AMORIM SANTANA
Orientadora - DEEQ/CCET/UFMA

Prof. Dr. LOURYVAL COELHO PAIXAO
Avaliador - BICT/CCET/UFMA

Prof. Dr. WENER MIRANDA TEIXEIRA DOS SANTOS
Avaliador - BICT/CCET/UFMA

27 de abril de 2021

DADOS CURRICULARES**Cláudio José Martins Bittencourt Filho**

NASCIMENTO 24/02/1996 – SÃO BENTO / MA

FILIAÇÃO Tânia Marília Cordeiro
Cláudio José Martins Bittencourt

2014/2020 Curso de Graduação
Engenharia Química - Universidade Federal do Maranhão

À minha família, sempre.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todos as graças alcançadas e caminhos percorridos.

A minha mãe, Tânia, minha tia Mayber e minha avó Maria da Graça, a quem eu devo tudo o que sou e tudo o que, eventualmente, serei um dia. Agradeço por todo amor, confiança e tempo dedicados a mim, desde a época de criança, passando pelo vestibular até a tão sonhada formatura. Agradeço também pelas orações e por sempre torcerem por minhas vitórias

As minhas irmãs, Marília Gabriella, Isadora e Isabella, pelos conhecimentos e experiências trocadas, assim como por todo carinho e incentivo com os quais sempre me apoiaram. Saibam que meu maior sucesso sempre será tê-los ao meu lado.

Ao meu padrasto Alex, que sempre me educou para os desafios vividos no mundo.

A Rani, que segue me motivando, apoiando, sendo companheira, amiga e exemplo em todos os momentos.

Aos meus amigos que acompanharam minha trajetória desde a infância Bernardo, Rodrigo, Diego, Leandro, Lucas Leão, Hugo, Lucas Gabriel, Celso, Renan, Muniz, Péricles Júnior e Gabriel Santos que tornaram a vida mais fácil e prazerosa. Aos meus amigos da Engenharia Química, Nathália, Carlos, Ana Paula, João Guilherme, Pedro Ivo e Gabriel Costa, amigos que cultivei durante a graduação e que me ajudaram na caminhada.

Agradeço ainda a dedicação oferecida pela minha ilustre orientadora Audirene Amorim Santana, a qual me encantou desde os primeiros períodos da faculdade por sua dedicação e compromisso com a docência, inserindo-me no mundo da pesquisa e ensinando com maestria as disciplinas que fiz com ela.

À FERTGROW S. A., pela cessão das amostras e equipamentos utilizados neste, além da experiência no chão de fábrica.

*“Pra tudo tem um jeito
E se não teve jeito, ainda não chegou ao fim*

*Mantenha a fé na crença, se a ciência não curar
Pois se não tem remédio, então remediado está...”
Xande de Pilares*

BITTENCOURT, C.M. **Controle de qualidade em indústria de fertilizantes minerais: ênfase nas análises físicas.** 2021. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Química do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021.

RESUMO

A indústria de fertilizantes minerais é uma das que mais cresce no Brasil. Em virtude do crescimento e da necessidade desses produtos nas plantações, o setor de qualidade dentro das fábricas de fertilizantes emergiu rapidamente, se tornando hoje essencial para manutenção deste tipo de indústria. Os métodos de controle de qualidade criados pelo MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, têm sido usados com critério, nas fiscalizações e para que as estratégias de controle de qualidade sejam traçadas. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a implantação de análises físicas envolvendo a dureza e granulometria de três tipos de fertilizantes (cloreto de potássio - KCl, Sulfato de Amônio - SAM, Superfosfato Simples - SSP), descarregados de três navios, analisando as diferenças estatísticas das médias das porcentagens de grãos finos e grossos e dos valores de dureza. Para o tratamento estatístico dos dados, fez-se o uso da análise de variância – ANOVA e teste de Tukey, com auxílio do *software* Statística 9.0 (Statsoft, Tulsa, EUA). Os fertilizantes foram analisados individualmente, alterando apenas os navios, e também se analisou as diferenças entre os fertilizantes nos seus respectivos navios. Observou-se que o produto KCl apresentou valores de dureza fora dos parâmetros nos navios B e C, já o SAM apresentou problemas no percentual de grãos grossos (navio A), nos grãos finos (navio B) e deficiência nos valores de dureza nos três navios. O SSP apresentou valores problemáticos para grãos finos e dureza nos navios B e C. Os problemas recorrentes nestes fertilizantes mostram-se importante para o diagnóstico precoce obtido por meio das análises físicas, para que assim, sejam traçados estratégias de qualidade.

Palavras-chave: Fertilizantes. Macronutrientes. Análises físicas. Controle de qualidade. Análises estatísticas.

BITTENCOURT, C.M. **Quality control in the mineral fertilizer industry: emphasis on physical analysis**. 2021. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Química do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021.

ABSTRACT

The mineral fertilizer industry is one of the fastest growing in Brazil. Due to the growth and the need for these products in the plantations, the quality sector within the fertilizer factories has emerged rapidly, becoming today essential for the maintenance of this type of industry. The quality control methods created by MAPA - Ministry of Agriculture, Livestock and Supply, have been used with discretion, in inspections and for the quality control strategies to be outlined. Thus, the objective of this work was to evaluate the implementation of physical analyzes involving the hardness and granulometry of three types of fertilizers (potassium chloride - KCl, Ammonium Sulfate - SAM, Simple Superphosphate - SSP), discharged from three ships, analyzing the differences statistics of the averages of the percentages of fine and coarse grains and of the hardness values. For the statistical treatment of the data, we used the analysis of variance - ANOVA and Tukey's test, with the aid of the software Statistica 9.0 (Statsoft, Tulsa, USA). Fertilizers were analyzed individually, changing only the vessels, and the differences between fertilizers in their respective vessels were also analyzed. It was observed that the KCl product presented hardness values outside the parameters in vessels B and C, whereas SAM presented problems in the percentage of coarse grains (vessel A), in fine grains (vessel B) and deficiency in the hardness values in the three ships. The SSP presented problematic values for fine grains and hardness in vessels B and C. The recurrent problems in these fertilizers are important for the early diagnosis obtained through physical analyzes, so that, thus, they can be strategically drawn for quality.

Keywords: Fertilizers. Macronutrients. Physical analysis. Quality control. Statistical analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Peneiras granulométrica.....	8
Figura 2 - Durômetro	10
Figura 3 - Sondas para amostragem de fertilizantes sólidos	15
Figura 4 - Procedimento de coleta da amostra com o uso da sonda.....	15
Figura 5 - Quarteador do tipo Jones	16
Figura 6 - Balança de precisão	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados das análises de granulometria utilizando grãos grossos, grãos finos e dureza em diferentes navios para o fertilizante Cloreto de Potássio – KCl.	19
Tabela 2 - Resultados das análises de granulometria utilizando grãos grossos, grãos finos e dureza em diferentes navios para o Sulfato de Amônio - SAM.	19
Tabela 3 - Resultados das análises de granulometria utilizando grãos grossos, grãos finos e dureza em diferentes navios para o Superfosfato Simples – SSP.....	20
Tabela 4 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta granulometria - grãos grossos (%) para o fertilizante KCl em diferentes navios.	22
Tabela 5 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta granulometria - grãos grossos (%) para o fertilizante SAM em diferentes navios.	22
Tabela 6 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta granulometria - grãos grossos (%) para o fertilizante SSP em diferentes navios.	22
Tabela 7 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta granulometria - grãos finos (%) para o fertilizante KCl em diferentes navios.	23
Tabela 8 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta granulometria - grãos finos (%) para o fertilizante SAM em diferentes navios.	23
Tabela 9 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta granulometria - grãos finos (%) para o fertilizante SSP em diferentes navios.	23
Tabela 10 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta dureza (kgf) para o fertilizante KCl em diferentes navios.	24
Tabela 11 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta dureza (kgf) para o fertilizante SAM em diferentes navios.	24
Tabela 12 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta dureza (kgf) para o fertilizante SSP em diferentes navios.	25
Tabela 13 - Resultados das análises de granulometria utilizando grãos grossos, grãos finos e dureza em diferentes materiais, KCl, SAM e SSP, respectivamente.	26
Tabela 14 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta granulometria - grãos grossos (%) para navio A e diferentes fertilizantes (KCl, SAM e SSP).....	26
Tabela 15 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta granulometria - grãos grossos (%) para navio B e diferentes fertilizantes (KCl, SAM e SSP).....	26

Tabela 16 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta granulometria - grãos grossos (%) para navio C e diferentes fertilizantes (KCl, SAM e SSP).....	27
Tabela 17 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta granulometria - grãos finos (%) para navio A e diferentes fertilizantes (KCl, SAM e SSP).	27
Tabela 18 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta granulometria - grãos finos (%) para navio B e diferentes fertilizantes (KCl, SAM e SSP).....	28
Tabela 19 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta granulometria - grãos finos (%) para navio C e diferentes fertilizantes (KCl, SAM e SSP).....	28
Tabela 20 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta dureza (kgf) para navio A e diferentes fertilizantes (KCl, SAM e SSP).	29
Tabela 21 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta dureza (kgf) para navio B e diferentes fertilizantes (KCl, SAM e SSP).	29
Tabela 22 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta dureza (kgf) para navio C e diferentes fertilizantes (KCl, SAM e SSP).	29

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 - Níveis experimentais para temperatura e velocidade de rotação	9
--	---

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANDA	Associação Nacional para Difusão de Adubos
KCL	Cloreto de Potássio
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
PIB	Produto Interno Bruto
SAM	Sulfato de Amônio
SSP	Superfosfato Simples
SQ	Soma Quadrática
GL	Grau de liberdade
QM	Quadrado Médio

SUMÁRIO

	FOLHA DE APROVAÇÃO.....	ii
	DADOS CURRICULARES.....	iii
	DEDICATÓRIA.....	iv
	AGRADECIMENTOS.....	v
	EPÍGRAFE.....	vi
	RESUMO.....	vii
	ABSTRACT.....	viii
	LISTA DE FIGURAS.....	ix
	LISTA DE TABELAS.....	x
	LISTA DE QUADROS.....	xii
	LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xiii
1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS.....	3
2.1	Objetivos gerais.....	3
2.2	Objetivos específicos.....	3
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1	Fertilizantes minerais e o agronegócio no Brasil.....	4
3.2	Macro e micronutrientes necessários para as plantações.....	5
3.2.1	Nitrogenados.....	5
3.2.2	Fosfatados.....	6
3.2.3	Potássicos.....	7
3.3	Análises físicas – Análise Granulométrica.....	8
3.3.1	Análises físicas – Teste de Dureza.....	9
3.4	Controle de qualidade na indústria.....	10
3.5	Análises estatísticas.....	11
3.5.1	ANOVA.....	11
3.5.2	TESTE DE TURKEY.....	12
3.6	Equações.....	13
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	14
4.1	Material.....	14

4.2	Local da pesquisa.....	14
4.3	Instrumentos/equipamentos/software utilizados.....	14
4.4	Análises, métodos e procedimentos experimentais.....	14
4.5	Análises estatísticas.....	17
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
6	CONCLUSÃO.....	30
	REFERÊNCIAS.....	31

1 INTRODUÇÃO

Segundo o MAPA – Ministério da Agricultura, pecuária e Abastecimento (2017), “fertilizantes são substâncias minerais ou orgânicas, naturais ou sintéticas, fornecedoras de um ou mais nutrientes as plantas”. Substâncias estas, nas quais irão potencializar a melhoria e manutenção dos solos, plantas e da produção no geral. Portanto, trata-se de um mercado em constantes ascensão, já que o Brasil é tão forte no agronegócio.

As entregas de fertilizantes no mercado brasileiro em 2019 superaram em 2,1% o volume registrado em 2018. Foram 36,2 milhões de toneladas, contra 35,5 milhões no ano anterior, segundo dados da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA). De acordo com Heringer (2020), o Brasil, nos últimos anos, fez com que o setor de fertilizantes se tornasse de maior crescimento mundial, superando de maneira consistente o crescimento em outros países do mundo.

Trazendo um conceito simples e assertivo, controle de qualidade, de acordo com Coutinho (2020), é um sistema utilizado nas organizações com o objetivo de trazer vantagens para os processos de produção, conferindo a eles um padrão e com isso, entregar um produto ou serviço dentro de determinados requisitos adequados para eles. Estes padrões, no ramo do agronegócio, são fiscalizados rigorosamente pelo MAPA. Haja vista que a indústria de fertilizantes químicos é tão exigente e que possui ampla concorrência, tem-se a necessidade de um controle de qualidade rigoroso, utilizando-se de inspeções diárias, análises físicas, otimização do material, etc.

Cada plantação e cada solo sempre terão suas particularidades, mas quando se fala em necessidade nutricional do vegetal, por regra, este precisará de macronutrientes e micronutrientes, ambos equilibrados na formulação do fertilizante e seguindo padrões de qualidade especificados em sua formulação. Se tratando de macronutrientes, a concentração dos nutrientes, pode se referir à concentração total ou disponível de nutrientes, e pode ser expressa, por tradição, para alguns nutrientes na forma de óxidos (P_2O_5 , K_2O) ou na forma elementar – Nitrogênio, Fósforo e Potássio (N, P, K) (REETZ, 2015). Comercialmente, as misturas de fertilizantes são vendidas como produtos, tais como: 05-20-20, 07-11-09, 02-20-30, 04-30-10, 22-00-24, 04-14-08, 05-20-30, cujos números referem-se às concentrações percentuais de Nitrogênio, Fósforo e Potássio,

respectivamente (BAZZOTTI, 2001). Por exemplo uma formulação 06-35-13 contém 6% de N, 35% de P_2O_5 e 13% de K_2O . A partir destas formulações, são feitas análises químicas em escala laboratorial, para que estes percentuais ou também chamado de garantias do produto sejam comprovados.

Nota-se que para o agricultor ter um crescimento sadio e sem deficiências nutricionais em suas plantações, é de extrema necessidade que as indústrias tenham um bom controle de qualidade dos materiais que estão entregando aos seus clientes, pois além da preocupação em satisfação entre empresa e cliente, o setor do agronegócio movimenta a economia do nosso país. Por conta disso, o setor da qualidade nessas indústrias, quando negligenciado, pode causar grandes prejuízos financeiros tanto para o agricultor, quanto para a economia do país.

Este trabalho vem abordar a importância das metodologias e procedimentos implantados no setor de controle de qualidade das indústrias de fertilizantes minerais, para que assim seja garantida a eficiência e a produtividade do pequeno, médio e grande agricultor, contribuindo para a evolução do agronegócio no Brasil e o crescimento econômico no nosso país.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Verificar o controle de qualidade através das análises físicas de granulometria e teste de dureza em fertilizantes minerais descarregados de três navios.

2.2 Objetivos específicos

a) Aplicar as normas de qualidade impostas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

b) Verificar as análises granulométricas e teste de dureza nos produtos oriundos dos porões de três navios diferentes, garantindo controle de qualidade neste setor.

c) Interpretar estatisticamente os valores das análises físicas por meio do teste Tukey e Análise de Variância (ANOVA).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Fertilizantes minerais e o agronegócio no Brasil

Os fertilizantes são aplicados à medida que o solo não supre mais as necessidades nutricionais das plantações. Para cada solo e cada deficiência nutritiva, a partir de estudos e análises laboratoriais, são definidos os tipos de fertilizantes mais adequados para aquela plantação.

Em virtude do Brasil ser uma grande potência no setor do agronegócio e o setor de fertilizantes ser um dos pilares do agronegócio, a demanda para estes tipos de materiais vem crescendo todos os anos. O Brasil vem tendo produções recordes de grãos; a estimativa agrícola 2019/2020 foi de 257,8 milhões de toneladas produzidas, o que equivale a um aumento de 4,5% ou 11 milhões de toneladas a mais em relação à safra anterior (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2020). Com o aumento da produção de grão, o aumento na demanda de fertilizantes é notável. Segundo Heringer (2020), o Brasil, nos últimos anos, foi o país que promoveu o maior crescimento no seu setor de fertilizantes de maneira consistente.

No Brasil, o consumo de fertilizante está concentrando em algumas culturas, como no milho e na soja, que juntas, representam mais da metade da demanda nacional. Portanto, a dependência em relação à agricultura indica a volatilidade da demanda de fertilizantes no Brasil, por ser uma *commodities* agrícola, ela vem sofrendo variações bruscas nos seus preços internacionais (DIAS; FERNANDES, 2006).

Segundo o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (2012), tendo em vista a importância estratégica dos fertilizantes para o país, é necessário reduzir a participação das importações no consumo nacional, elevando a produção interna, visto que o país tem reservas de fosfatados e potássicos, com potencial suficiente para serem explorados. Além disso, com o pré-sal, a oferta de gás natural, que é a matéria prima básica para a produção de nitrogenados, deve ser ampliada. Porém, para que haja investimentos nesse setor, é necessário também, investimento em logística, além da formulação de políticas que solucionem problemas regulatórios, tributários, ambientais e tecnológicos.

3.2 Macro e micronutrientes necessários para as plantações

Trabalha-se com a base nitrogênio, fósforo e potássio (N, P, K), sendo estes os três macronutrientes mais exigidos pelas plantas. Segundo Reetz (2014), os macronutrientes e suas reações com as plantações são descritas da seguinte forma: Os três macronutrientes são requeridos pelas plantas relativamente em grandes quantidades. Nitrogênio como gás N_2 forma 78% da atmosfera da Terra e não é reativo. Ele precisa ser convertido em formas reativas quimicamente (amônio e nitrato) para ser utilizado pelas plantas. Esta conversão é feita por microrganismos no solo, por bactérias simbióticas vivendo em associações com as plantas ou por reações químicas.

O fósforo (P), usualmente ocorre em grandes quantidades nos minerais do solo e na matéria orgânica, e precisa ser convertido para íons de fosfato inorgânico ($H_2PO_4^-$ ou HPO_4^{2-}) para serem usados pelas plantas. O potássio (K) existe em grandes quantidades em minerais e é adsorvido na forma iônica (K^+) nas partículas do solo e da matéria orgânica. Ele entra nas raízes das plantas como um íon K^+ , geralmente por osmose através das paredes celulares como um acompanhante dos íons de cargas negativas. O potássio não forma nenhum composto químico nas plantas, mas exerce um papel importante no transporte de água e outros íons através da membrana das células (REETZ, 2014).

3.2.1 NITROGENADOS

O nitrogênio é o nutriente mineral normalmente absorvido em maiores quantidades pelas plantas. Ele faz parte de muitas moléculas importantes para a estrutura e a fisiologia vegetal, como proteínas, enzimas e clorofila.

Grãos com alto valor proteico, como soja e feijão, ou culturas com maior produção de biomassa requerem maiores quantidades de nitrogênio. Nestes casos, recomenda-se o uso de fertilizantes nitrogenados, cujo nutriente principal é o nitrogênio (N). Esses fertilizantes podem ser utilizados a partir de fontes minerais presentes no mercado na forma de nitrato ou amônio conjugado com outro nutriente (Ca, S, Na e K, por exemplo), e na forma de ureia, além de fontes orgânicas de origem animal ou vegetal.

Segundo Rupolo (2020) o nitrogênio exerce um papel importante na planta, participando em vários processos bioquímicos envolvendo as plantas e microrganismos, conhecidos como Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN). Para ele: “Este nutriente possui rápida mobilidade no solo, onde sua perda é potencializada em função das condições climáticas, sendo o processo de volatilização e lixiviação os mais comuns”.

O elemento é empregado em grande escala na agricultura atual, representando grande parte do custo das lavouras. Porém, segundo Mosier e Galloway (2005) graças ao uso de fertilizantes nitrogenados permitiu-se sustentar 40% da população do planeta, o que não seria viável sem esses insumos.

3.2.2 FOSFATADOS

De acordo com a empresa de adubos Ferticel (2020), fertilizantes fosfatados são produtos oriundos da extração, moagem e/ou tratamento de rochas ígneas ou sedimentares que apresentam concentração considerável do elemento químico e macronutriente de plantas, o fósforo (P). O principal benefício do uso de fertilizantes fosfatados é o fornecimento do fósforo visando a nutrição de plantas, complementando o que o solo não fornece e com isso atendendo a demanda das culturas e a expectativa de rendimento.

Apesar das plantas necessitarem de baixos teores de fósforo para sua produção, a dose desse elemento aplicada às culturas é elevada, o que ocorre devido a adsorção específica (fixação) do fósforo nos óxidos de ferro e alumínio que ocorrem nos latossolos do Brasil, o que torna este macronutriente pouco móvel no solo, ou seja, onde ele é aplicado, tende ali permanecer (FERTICEL, 2020).

De acordo com Rhoden (2020), quando o produtor rural aplica o fertilizante fosfatado no sulco de semeadura da cultura, depositando-o abaixo e ao lado da semente, principalmente os fosfatos solúveis e de rápida liberação, o fósforo acaba sendo solubilizado pela água e vai à solução do solo como H_2PO_4^- ou HPO_4^{2-} , formas estas que reagem no solo e também que a planta absorve. Nesta condição o P pode ser absorvido pelas plantas, imobilizado nos microrganismos do solo (biomassa microbiana) ou adsorvido às argilas, especialmente nos óxidos e hidróxidos de ferro. A ligação do P no solo ocorre em variados níveis de energia, o que compromete a disponibilidade para as plantas.

Para Rhoden (2020): “Quando o solo apresenta baixo teor de matéria orgânica e/ou pH menor que 5,0, a energia de ligação do P aos óxidos aumenta, o que torna o P indisponível para as plantas, daí a necessidade de reduzir o contato do fertilizante fosfatado com o solo”.

O mecanismo de movimentação do fósforo no solo é por difusão, e para tal, é necessário haver água para permitir seu deslocamento em direção às raízes. O processo de difusão ocorre pelo deslocamento do P do meio mais concentrado, próximo dos grânulos do fertilizante, para o meio menos concentrado, próximo das raízes das plantas. Segundo Rhoden (2020), cerca de 94% do P que a planta absorve é por difusão, e para tal, é necessário haver água no solo e P concentrado próximo do sistema radicular, o que criará a condição para deslocamento do P em direção ao sistema radicular.

Alguns fertilizantes fosfatados apresentam outros nutrientes importantes para as plantas, tal como o cálcio (Ca) que auxilia na absorção de fósforo, maximizando o crescimento das raízes e a formação das membranas. O fósforo também promove aumento na eficiência de uso da água pelas plantas. Solos com baixos teores de fósforo e adubação caracterizam um ambiente de baixa capacidade produtiva (FERTICEL, 2020).

3.2.3 POTÁSSICOS

O potássio é um elemento muito móvel nas plantas. Ele não é constituinte de nenhuma molécula orgânica no vegetal, entretanto contribui em várias atividades bioquímicas, sendo um ativador enzimático, regulador da pressão osmótica (entrada e saída de água da célula), abertura e fechamento dos estômatos (FERTICEL, 2019).

Além disso, o potássio é importante na fotossíntese, na formação de frutos, resistência ao frio e às doenças. Segundo Lajus (2019), para saber quando as plantas precisam de potássio é preciso realizar a análise de solo de acordo com a solução do solo (parte líquida do solo, onde são encontrados os nutrientes prontamente disponíveis para serem absorvidos pelas plantas), pois o potássio é absorvido pelas plantas na forma de íon K^+ . Uma das fontes mais comuns de potássio é o cloreto de potássio (KCl).

Os outros oito nutrientes essenciais necessários para as plantas em pequenas quantidades são chamados de micronutrientes. São eles: ferro (Fe), zinco (Zn), cobre

(Cu), manganês (Mn), molibdênio (Mo), cloro (Cl), boro (B) e níquel (Ni). Cobalto (Co) e silício (Si) são dois outros nutrientes que são essenciais, ou pelo menos benéficos para algumas espécies de plantas, mas não exigidos por todas.

3.3 Análises físicas – Análise Granulométrica

A análise granulométrica, segundo Dias (2004), consiste em um conjunto de procedimentos normatizados que visam determinar a distribuição granulométrica de uma amostra, isto é, a determinação das dimensões das partículas para classificá-las de acordo com seus diâmetros.

A utilização de peneiras para a análise granulométrica é muito comum, de modo que, de acordo com Cremasco (2012, p. 142), a massa, ou fração mássica, das partículas é a base de representação da distribuição de tamanho nos processos de peneiramento. As peneiras granulométricas são usadas diariamente na indústria de fertilizantes e devem seguir com os tamanhos de malha padrão estabelecidos pelo MAPA e pela Associação Brasileira de Normas de Técnicas. As malhas das peneiras possuem tamanho 4,8 mm (ABNT 4), 2 mm (ABNT 10) e 1 mm (ABNT 18). Os resultados das análises devem seguir o padrão de qualidade estabelecido pelo órgão que as rege.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (2018), estabelece que a granulometria dos fertilizantes sólidos pode ser determinada pelo tamanho e pela forma de suas partículas, sendo ela expressa em resultados de análise granulométrica de forma quantitativa. Essa análise, consiste em fazer os particulados do produto passarem por uma série de peneiras (Figura 1) com tamanho de aberturas de malha decrescente, pesando a massa retida em cada malha, e expressando o valor final de fração retida em termos percentuais.

Figura 1 - Peneiras granulométrica



Fonte: Splabor (2017).

Segundo o MAPA (2017), na granulometria os fertilizantes sólidos podem ser apresentados na forma de pós, farelados ou granulados. Esses últimos podem ser apresentados na forma de diferentes misturas:

✚ Mistura de grânulos: são fertilizantes mistos ou misturas de fertilizantes que podem ser obtidos pela mistura física de dois ou mais fertilizantes granulados.

✚ Misturas granuladas: fertilizantes mistos ou mistura de fertilizantes, onde cada particulados contém todos os nutrientes garantidos.

✚ Misturas complexas: fertilizantes mistos ou mistura, resultado de alguma reação química entre matérias primas, como H_3PO_4 , H_2SO_4 ou NH_3 , onde cada partícula contém os nutrientes garantidos.

As garantias granulométricas de fertilizantes sólidos podem ser visualizadas no quadro 1.

Quadro 1 - Garantias Granulométricas 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: MAPA (2018, p. 03).

3.3.1 ANÁLISES FÍSICAS – TESTE DE DUREZA

O teste de dureza é descrito, segundo a empresa de fertilizantes Yara Brasil (2019) como a capacidade do fertilizante de resistir às pressões impostas a eles na cadeia de transporte. Os resultados destes testes irão variar de acordo com a composição química do produto e com o grau de contato que o fertilizante teve como umidade, por exemplo, uma vez que a maioria dos fertilizantes são higroscópicos, ou seja, tem a

capacidade de absorver a água/umidade do ambiente. A absorção de água possui efeitos negativos sobre a maioria dos fertilizantes. As partículas podem ficar pegajosas e tendem a se desintegrar, perdendo a dureza. Segundo Rodella et al. (2000), o valor desejado para a dureza dos fertilizantes deve ser superior a 2,3 Kgf, já que, valores menores irão fragmentar com facilidade.

O teste de dureza também é feito para comparar informações fornecidas pelo vendedor, conhecer a resistência mecânica dos produtos, o que vai influenciar na forma de transporte e acomodação do material. Além disto, a vida útil do material, pois materiais com dureza menor tendem a cada vez mais diminuir sua dureza, podendo ficar quebradiços e influenciar nas análises granulométricas, contribuindo assim para a diminuição da vida útil do material. O equipamento usado neste teste é o durômetro, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Durômetro



Fonte: Autor (2021).

3.4 Controle de qualidade na indústria

O controle de qualidade em qualquer indústria, independente do seu porte, é de extrema necessidade para garantir os padrões impostos pelos órgãos regulamentadores. Na indústria de fertilizantes, seguem-se normas que são exigidas e fiscalizadas pelo MAPA visando padronizar os procedimentos de qualidade neste setor. Um dos documentos a ser seguido é a Instrução Normativa N° 39/2018, que estabelece regras

sobre o uso de fertilizante por parte das empresas. Essas regras devem ser seguidas de modo que não apresentem problemas de não conformidade com o produto, informando as garantidas granulométricas das partículas passantes em cada uma das peneiras, acompanhando a qualidade. Caso o produto não apresente as garantias granulométricas estabelecidas, essa informação deve ser apresentada para realização de auditoria com órgão responsável para melhor avaliação (MAPA, 2018).

Segundo o MAPA (2018), os fertilizantes minerais, deverão ter as especificações de natureza física e garantia granulométrica, e caso a empresa não possua as normas da IN nº 39/2018, as mesmas poderão até ser fechadas até que se enquadrem na legislação.

A instrução normativa nº 53, de 23 de outubro de 2013, diz que os estabelecimentos produtores, importadores, exportadores, bem como o estabelecimento comercial de produtos a granel, são responsáveis pela qualidade dos produtos por ele fabricados, importados, exportados e comercializados, e os estabelecimentos na condição de comerciantes de produtos embalados são responsáveis pela correta armazenagem, proteção e guarda destes, enquanto detentores dos mesmos, de modo que seja garantida a adequabilidade dos produtos aos fins a que se destinam, sendo cumpridos os requisitos estabelecidos pela legislação de regência.

Com tantas exigências requeridas e com muitas altíssimas ou até fechamento de estabelecimentos caso não ocorra o cumprimento destas, torna-se importante o controle de qualidade na indústria de fertilizantes, visando a qualidade do produto e a viabilidade das operações e da empresa.

3.5 Análises estatísticas

3.5.1 Análise de Variância

Análise de Variância (ANOVA) é uma coleção de modelos estatísticos no qual a variância amostral é particionada em diversos componentes devido a diferentes fatores (variáveis), que nas aplicações estão associados a um processo, produto ou serviço. Através desta partição, a ANOVA estuda a influência destes fatores na característica de interesse. Além disso, a ANOVA, testa a hipótese de que as médias de duas ou mais populações são iguais (BARROS NETO; SCARMÍNIO; BRUNS, 2007).

As ANOVAs avaliam a importância de um ou mais fatores, comparando as médias de variáveis de resposta nos diferentes níveis de fator. A hipótese nula afirma que todas as médias de população (médias de nível de fator) são iguais, enquanto a hipótese alternativa afirma que pelo menos uma é diferente (BARROS NETO; SCARMÍNIO; BRUNS, 2007).

Para efetuar uma ANOVA, é necessário haver uma variável de resposta contínua e pelo menos um fator categórico com dois ou mais níveis. As análises de ANOVA exigem dados de populações aproximadamente distribuídas com variâncias iguais entre fatores. Entretanto, os procedimentos da ANOVA funcionam bem mesmo quando a pressuposição de normalidade é violada, exceto quando uma ou mais distribuições são altamente assimétricas ou quando as variâncias são muito diferentes. Transformações do conjunto de dados original podem corrigir essas violações (RODRIGUES; LEMMA, 2009).

O nome "análise de variância" baseia-se na abordagem em que o procedimento utiliza variâncias para determinar se as médias são diferentes. O procedimento funciona através da comparação da variância entre as médias de grupos versus a variância dentro dos grupos como uma maneira de determinar se os grupos são todos parte de uma população maior ou populações distintas com características diferentes (MONTGOMERY, 2009; BARROS NETO; SCARMÍNIO; BRUNS, 2007).

3.5.2 TESTE DE TUKEY

O Teste proposto por Tukey (1953) é também conhecido como teste de Tukey da diferença honestamente significativa (*honestly significant difference*) (HSD) e teste de Tukey da diferença totalmente significativa (*wholly significant difference*) (WSD). É um teste exato em que, para a família de todas as $c = \frac{1}{2}k(k - 1)$ comparações duas a duas, a taxa de erro da família dos testes (FWER) é exatamente α (e o intervalo de confiança é exatamente $1 - \alpha$).

O teste de Tukey tem se mostrado analiticamente ótimo, no sentido que, entre todos os procedimentos que resultam em intervalos de confiança com mesmo tamanho para todas diferenças duas a duas com coeficiente de confiança da família de pelo menos $1 - \alpha$, o teste de Tukey resulta em intervalos menores. Isso quer dizer que, se a família consiste em todas comparações duas a duas e o teste de Tukey pode ser usado,

ele resultará em intervalos menores que qualquer outro método de comparação múltipla de uma etapa. A estratégia de Tukey consiste em definir a menor diferença significativa e a interpretação do teste é simples. Após determinarmos a diferença mínima significativa (HSD), podemos julgar se as médias são iguais ou não. Em termos práticos, esse valor nos dá uma margem de igualdade, pois se a diferença entre dois tratamentos for maior do que isso, as médias são diferentes (MONTGOMERY, 2009).

3.6 Equações

Para as análises dos dados que foram desenvolvidos neste trabalho de conclusão de curso, utilizou-se equações importantes para a caracterização granulométrica dos materiais. Primeiramente, calcula-se a massa retida em cada peneira através da relação:

$$\text{Massa retida} = \text{Massa da peneira cheia} - \text{Massa da peneira vazia} \quad (1)$$

Com isso, pode-se calcular a fração mássica em cada peneira (x_i), como razão entre a massa retida e a massa total pesada (Equação 2).

$$x_i = \frac{\text{massa retida}}{\text{massa total}} \quad (2)$$

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

Os produtos usados neste estudo foram: SSP - Superfosfato simples, oriundo do Egito e Israel, KCl - Cloreto de potássio, vindo da Rússia e Israel e SAM - Sulfato de Amônio vindo da China e Bélgica, países nos quais têm origem os fertilizantes mais problemáticos em relação a granulometria e dureza nesta indústria. Estes produtos foram adquiridos por uma empresa de fertilizantes da cidade de São Luís – MA, onde tais produtos foram alocados em três navios e em diferentes porões, entre os anos de 2020 e 2021.

4.2 Local da pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida no laboratório de qualidade de uma indústria de fertilizantes, localizado na cidade de São Luís- MA. Todas as análises foram feitas em temperatura média de 25 °C e umidade entre 50% e 70%.

4.3 Instrumentos/equipamentos/software utilizados

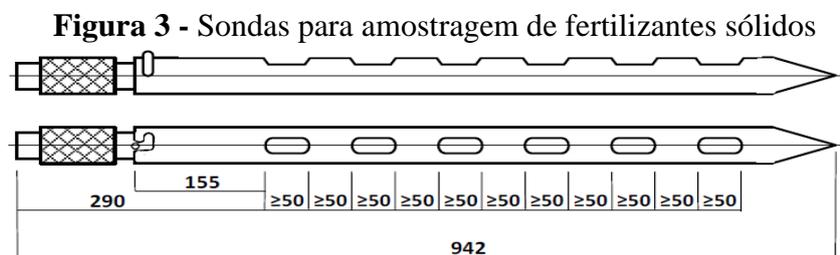
Todos os dados foram obtidos a partir de análises granulométricas e de dureza. Para tanto, utilizou-se uma peneira granulométrica de aço inox, da marca Splabor, de malhas com tamanhos 4,8 mm, 2 mm, 1 mm e 0 mm, e um durômetro da marca “Equilab”, com base em aço inox 304, para medir a dureza em fertilizantes com capacidade de 20kg e painel digital. Para a coleta de material, foi usada uma sonda de tubo duplo, perfurada com ponta cônica para coleta de fertilizantes, padrão MAPA, de dimensões: 100 x 35 x 35mm.

Ambos equipamentos foram operados manualmente. O *software* usado para a análise estatística foi Statistica 9.0 (Statsoft, Tulsa, EUA).

4.4 Análises, métodos e procedimentos experimentais

A coleta das amostras foi feita periodicamente de acordo com a demanda dos navios e certas variáveis, como chuva, maré, etc. A sonda usada para a amostragem está

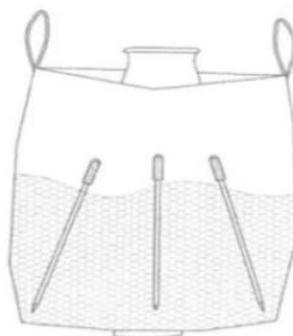
ilustrada na Figura 3. A coleta foi feita de pelo menos dois caminhões para cada parte do porão do navio, sendo o porão dividido em topo, meio e fundo.



Fonte: MAPA (2013).

A amostragem com o uso da sonda de tubo duplo das cargas vindas nas caçambas provenientes dos porões dos navios foi feita, inserindo a sonda fechada de cima para baixo, na vertical, abrindo-se a sonda após o instrumento adentrar ao material, para que o produto caia pelos furos e a encha. Em seguida, a sonda foi fechada e a amostra retirada (MAPA, 2013), como mostrado na Figura 4. A amostragem foi feita em três pontos diferentes em cada carga.

Figura 4 - Procedimento de coleta da amostra com o uso da sonda



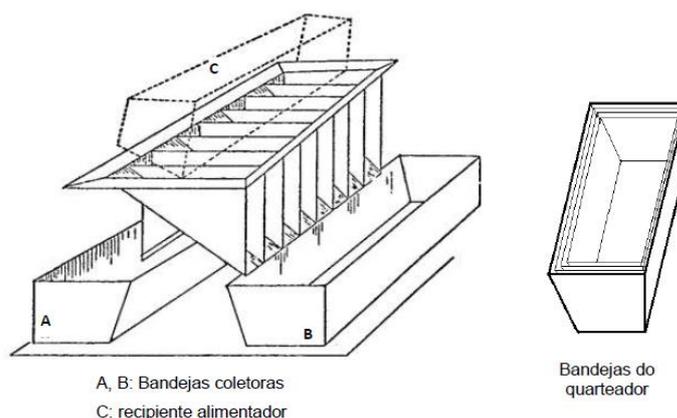
Fonte: APROSOJA (2016)

No laboratório o volume obtido foi homogeneizado e dividido em duas amostras iguais e homogêneas com o uso de um quarteador do tipo Jones, conforme a Figura 5, sendo a primeira amostra enviada ao laboratório para realização das análises químicas, e a segunda para as análises físicas, como a análise granulométrica e teste de dureza. Por fim, a segunda amostra foi guardada e vedada dentro de um saco plástico com a identificação de produto de origem, data da coleta e teores de garantia, servindo

de contraprova caso ocorra alguma dúvida nos resultados ou novas verificações, tanto por parte do cliente, quanto pela empresa (MAPA, 2013).

O quarteador do tipo Jones (Figura 5), é um aparelho estabelecido pelo MAPA para separação uniforme das amostras. Deve possuir, no mínimo, oito vãos de separação, com largura de 15 mm cada. A amostra é homogeneizada e derramada dentro da bandeja de eixo C; o produto no eixo C é derramado no eixo A e B, sendo repetido até o eixo escolhido se encontrar com uma amostra de valor mínimo de 150 g (gramas) cada. O quarteador usado neste trabalho, tem a seguinte descrição: 8 canais $L \times A \times P = 22 \times 28 \times 36$ cm com vão de 2,5 cm cada canal, bandejas $L \times A \times P = 28 \times 7 \times 10$ cm e fabricação Interfer.

Figura 5 - Quarteador do tipo Jones



Fonte: MAPA (2013).

Foram feitas análises granulométricas de cada parte do porão. Cada fração que ficou retida nas peneiras de 4,8 mm, 2,0 mm, 1,0 mm e 0,0 mm, foi pesada em uma balança analítica e convertida em porcentagem mássica, com maior atenção para as peneiras de 4,8 mm e 0,0 mm, correspondentes a porcentagem de grão grossos e grãos finos da amostragem da carga, respectivamente.

Para o cálculo da dureza do material, foram selecionados 12 grãos de tamanho médio da peneira de 2,0 mm de acordo com as normas do MAPA (2013). Estes grãos eram postos um a um no durômetro para medida da dureza. Por fim, os valores mais alto e mais baixo de dureza foram descartados, sobrando 10 valores, que tinham sua dureza média calculada, equivalendo à dureza daquele setor do porão.

Para a pesagem das frações retidas nas peneiras, usou-se uma balança de

precisão, da marca Bel, modelo S2202h (2casa) – 0,01g, 2200g, como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Balança de precisão



Fonte: 7 Lab Equipamentos e serviços para laboratório (2021).

4.5 Análise estatística

Os resultados das análises foram avaliados estatisticamente através da Análise de Variância (ANOVA) e do teste de Tukey. Para isso, foi utilizado o *software* Statistica 9.0 (Statsoft, Tulsa, EUA).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

É comum perceber diferenças entre métodos analíticos, principalmente, quando vários laboratórios analisam a mesma amostra em estudos colaborativos. Assim, os dados provenientes de apenas um laboratório não são suficientes para avaliar a reprodutibilidade do método. Isso não significa, entretanto, que os métodos validados em um laboratório não possam ser empregados nos experimentos realizados por este ou mesmo que não sejam reprodutíveis em outros laboratórios. A validação completa abrange todas as características de desempenho de um estudo em diversos locais de pesquisa, com a finalidade de verificar como a metodologia se comporta com uma determinada matriz em vários laboratórios, para garantir que tal metodologia possa ser reproduzida e que haja quebra da incerteza expandida associada à metodologia como um todo (RIBANI et al., 2004). Apenas dessa maneira a metodologia pode ser aceita como oficial para uma determinada aplicação. Aqui neste estudo foram analisadas diferentes análises que serão apresentadas a seguir.

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam os resultados das análises de granulometria e dureza. Em busca de resultados confiáveis, uma série de ensaios foram realizados, de modo a observar a influência das análises oriundas de diferentes navios fornecedores das matérias-primas utilizadas nesta pesquisa. O MAPA (2017), em seu Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos, ressalta a importância destas análises, especifica a quantidade de grãos passantes pelas peneiras, como visto no Quadro 1, e qual deve ser o valor de dureza necessária para os fertilizantes. Os motivos e as principais especificações, são expostos a seguir:

✚ Caso a fração mássica retida na peneira de 4,80 mm (grãos grossos), for superior a 5% da massa total da amostra, este produto será pouco homogeneizado durante a aplicação no solo e será incorporado de forma mais lenta, causando assim, prejuízo ao solo.

✚ Caso a fração mássica retidas na peneira de 0,00 mm (grãos finos), for superior a 5% da massa total da amostra, este produto terá sua reatividade com o solo reduzida significativamente, não fornecendo com eficiência os nutrientes necessários, além de ocasionar um aumento de temperatura prejudicial para as raízes das plantas, causando assim prejuízo ao solo.

✚ Grãos com valores de dureza abaixo de 2,3 kgf, serão mais suscetíveis a fragmentação e com isso, poderá ocorrer o aumento da fração mássica de grãos finos.

Para este estudo, foram utilizadas amostras de fertilizantes cedidos por um laboratório de uma indústria de fertilizantes local.

Tabela 1 - Resultados das análises de granulometria utilizando grãos grossos, grãos finos e dureza em diferentes navios para o fertilizante Cloreto de Potássio – KCl.

Amostras	KCl		
	Granulometria		Dureza (kgf)
	Grãos grossos (%)	Grãos Finos (%)	
Navio A	0,17±0,0008 ^a	1,64±0,0096 ^a	2,8667±0,1178 ^b
Navio B	0,72±0,0020 ^b	0,64±0,0017 ^a	2,0433±0,0178 ^a
Navio C	0,02±0,0001 ^a	1,56±0,0051 ^a	2,0400±0,0867 ^a

Médias com a mesma letra minúscula em cada coluna indicam que não há diferença significativa ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Tukey.

Valor apresentado em média±desvio médio.

Fonte: Autor (2021).

Tabela 2 - Resultados das análises de granulometria utilizando grãos grossos, grãos finos e dureza em diferentes navios para o Sulfato de Amônio - SAM.

Amostras	SAM		
	Granulometria		Dureza (kgf)
	Grãos grossos (%)	Grãos Finos (%)	
Navio A	6,06±0,0076 ^a	0,25±0,0020 ^b	1,5067±0,0778 ^b
Navio B	4,18±0,0064 ^a	9,27±0,0129 ^c	0,9033±0,1844 ^a
Navio C	3,03±0,0227 ^a	0,09±0,0002 ^a	1,7133±0,1222 ^b

Médias com a mesma letra minúscula em cada coluna indicam que não há diferença significativa ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Tukey.

Valor apresentado em média±desvio médio.

Fonte: Autor (2021).

Tabela 3 - Resultados das análises de granulometria utilizando grãos grossos, grãos finos e dureza em diferentes navios para o Superfosfato Simples – SSP.

Amostras	SSP		
	Granulometria		Dureza (kgf)
	Grãos grossos (%)	Grãos Finos (%)	
Navio A	3,30±0,0050 ^c	0,69±0,0025 ^a	2,3067±0,0422 ^b
Navio B	0,47±0,0014 ^b	9,40±0,0086 ^b	1,3533±0,0889 ^a
Navio C	0,78±0,0031 ^a	9,19±0,0450 ^b	1,5533±0,0156 ^a

Médias com a mesma letra minúscula em cada coluna, para diferentes navios, indicam que não há diferença significativa ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Tukey.

Valor apresentado em média±desvio médio.

Fonte: Autor (2021).

As amostras de fertilizantes foram distribuídas na sequência de navios de A,B e C. Com os dados obtidos através destas análises, aplicou-se os métodos estatísticos de Tukey e da ANOVA, tendo como valores de referência os resultados fornecidos pelo MAPA (2017) para este tipo de produto. Segundo ZHU et al. (2015) esses métodos estatísticos possibilitam uma comparação múltipla de etapa única e é usado para agrupar fatores em termos de seus valores médios. Em seguida, foi feito a comparação de cada amostra em cada navio (entre as colunas).

Como pode ser observado na Tabela 1, utilizando o fertilizante KCl, para a análise granulométrica de grãos grossos, não houve diferença estatística ao nível de 95% de confiança para as amostras obtidas nos navios A e C. Embora o navio B, apresente diferença estatística, os valores individuais das médias dos três navios não superaram a fração mássica de grãos grossos permitida pelo MAPA (5%). Já em relação a análise granulométrica de grãos finos, para as amostras de todos os navios estudados com este fertilizante, não houve diferença estatística, o que indica que todas as amostras apresentaram granulometria de grãos finos semelhante para este fertilizante e dentro do parâmetro para grãos finos.

Para este mesmo fertilizante, verificando a análise física de dureza (Tabela 1), o navio A apresentou a maior média e o único valor de dureza compatível com os padrões requeridos. As amostras dos navios B e C não apresentaram diferença estatística ao nível de 5% de significância para esta análise, com valores fora do padrão, mostrando que o produto é suscetível à fragmentação.

A Tabela 2 mostra os resultados de granulometria e dureza para o fertilizante Sulfato de Amônio - SAM, utilizando diferentes amostras. Fazendo uma comparação nas análises granulométricas, para os grãos grossos, não houve diferença estatística entre as amostras dos navios analisados, embora o valor da fração mássica média de grãos grossos do navio A, ultrapasse o valor limite (0,0606%). Em contrapartida, para as análises de grãos finos, todas as amostras diferiram estatisticamente ao nível de 95% de confiança, onde o navio B mostrou uma média alta de finos. Em relação a análise de dureza, não houve diferença estatística, mas todos os valores de dureza foram abaixo do esperado.

Na Tabela 3 está apresentado os valores das análises físicas de granulometria e dureza para o fertilizante Superfosfato Simples – SSP, obtidos em diferentes navios. Pode-se observar que a análise granulométrica de grãos grossos diferiu estatisticamente entre todos navios, embora tenham permanecido dentro dos parâmetros. A análise de grãos finos foi preocupante, as amostras obtidas nos navios B e C não apresentaram diferenças estatísticas, mas ambas fugiram dos parâmetros. O navio A, apresentou o menor valor (0,0069%). Já para a análise de dureza, foi a amostra obtida no navio A que se apresentou maior em relação as demais, sendo a única que obedeceu às normas.

Nas Tabelas de 4 a 6 estão apresentados as Análises de Variâncias completa para todos os tipos de fertilizantes estudados, para as amostras dos diferentes navios, na análise granulométrica de grãos grossos.

Fazendo um estudo em relação às Análises de variâncias dos valores de granulometria para grãos grossos (%) obtidos utilizando diferentes amostras, obteve-se a ANOVA para cada tipo de fertilizante. A partir dos tipos de fertilizantes foram determinados o $F_{\text{calculado}}$, p-valor e R^2 (coeficiente de determinação) para cada amostra de navio. Para a análises destes dados foram considerados que o nível de significância seria de 5% ou p-valor menor ou igual a 0,05. Portanto, verificando as Tabelas 4, 5 e 6, observa-se que os valores de p-valor foram menores que o valor de referência (5%) e R^2 ficaram bem próximo de 1, para os fertilizantes KCl e SSP, mostrando-se satisfatórios, o que significa que não houve oscilações significativas tanto na repetitividade quanto na reprodutibilidade das amostras (Tabelas 4 e 6).

Entretanto, para determinar a escolha do fertilizante que melhor se adequa seria analisando o valor encontrado para o $F_{\text{calculado}}$, pois quanto maior for $F_{\text{calculado}}$ significa que os dados se ajustaram de forma satisfatório ao método.

Analisando a Tabela 5, pode-se visualizar que $F_{\text{calculado}}$ apresentou valor bem baixo (1,15). Valor este bem inferior ao F_{tabelado} , indicando que para esta análise ocorreu alguma forma de erro (instrumental ou de análise), fazendo que o p-valor ficasse bem próximo do valor selecionado de 5% de significância e um baixo valor de coeficiente de determinação ($R^2 = 53\%$).

Tabela 4 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta granulometria - grãos grossos (%) para o fertilizante KCl em diferentes navios.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	$F_{\text{calculado}}$	p-valor
Regressão	0,0001	4	0,0000	13,22	0,0141
Resíduos	0,0000	4	0,0000		
Total	0,0001	8	0,0000	$R^2 = 0,9296$	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. $F_{\text{tabelado}} = 6,39$.

Fonte: Autor (2021).

Tabela 5 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta granulometria - grãos grossos (%) para o fertilizante SAM em diferentes navios.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	$F_{\text{calculado}}$	p-valor
Regressão	0,0019	4	0,0005	1,15	0,4477
Resíduos	0,0016	4	0,0004		
Total	0,0034	8	0,0009	$R^2 = 0,5349$	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. $F_{\text{tabelado}} = 6,39$.

Fonte: Autor (2021).

Tabela 6 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta granulometria - grãos grossos (%) para o fertilizante SSP em diferentes navios.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	$F_{\text{calculado}}$	p-valor
Regressão	0,0015	4	0,0004	12,18	0,0164
Resíduos	0,0001	4	0,0000		
Total	0,0016	8	0,0004	$R^2 = 0,9241$	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. $F_{\text{tabelado}} = 6,39$.

Fonte: Autor (2021).

Nas Tabelas de 7 a 9 estão apresentados as Análises de Variâncias completa para todos os tipos de fertilizantes estudados, para as amostras dos diferentes navios, na

análise granulométrica de grãos finos. Fazendo uma análise geral entre as três tabelas apresentadas, pode se verificar que as ANOVAs para os fertilizantes KCl e SSP (Tabelas 7 e 9) apresentaram valores de $F_{\text{calculado}}$ bem menores do que o F_{tabelado} , isto faz com que os coeficientes de determinação diminua e aumente o p-valor. Porém, não desqualifica o fertilizante SSP, embora o seu coeficiente de determinação tenha sido relativamente baixo, este foi acima de 70%, coeficiente aceitável para produtos biológicos, sujeitos a degradações (RODRIGUES; LEMMA, 2009). Entretanto, para a análise granulométrica de grãos finos, o fertilizante KCl não apresentou uma boa repetibilidade em relação aos diferentes navios, comprovado pela Análise de Variância e pelo Teste de Tukey.

Tabela 7 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta granulometria - grãos finos (%) para o fertilizante KCl em diferentes navios.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	$F_{\text{calculado}}$	p-valor
Regressão	0,0003	4	0,0001	0,91	0,5342
Resíduos	0,0003	4	0,0001		
Total	0,0006	8	0,0002	$R^2 = 0,4772$	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. $F_{\text{tabelado}} = 6,39$.

Fonte: Autor (2021).

Tabela 8 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta granulometria - grãos finos (%) para o fertilizante SAM em diferentes navios.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	$F_{\text{calculado}}$	p-valor
Regressão	0,0168	4	0,0042	33,36	0,0025
Resíduos	0,0005	4	0,0001		
Total	0,0173	8	0,0043	$R^2 = 0,9709$	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. $F_{\text{tabelado}} = 6,39$.

Fonte: Autor (2021).

Tabela 9 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta granulometria - grãos finos (%) para o fertilizante SSP em diferentes navios.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	$F_{\text{calculado}}$	p-valor
Regressão	0,0177	4	0,0044	4,11	0,1001
Resíduos	0,0043	4	0,0011		
Total	0,0220	8	0,0055	$R^2 = 0,8041$	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. $F_{\text{tabelado}} = 6,39$.

Fonte: Autor (2021).

Nas Tabelas de 10 a 12 estão apresentados as ANOVAs para todos os tipos de fertilizantes estudados, para as amostras dos diferentes navios, na análise física de dureza.

Analisando estas tabelas, observa-se que os valores de p-valor foram menores que o valor de referência (5%) e R^2 ficaram bem próximo de 1, para todos os fertilizantes estudados, mostrando-se satisfatórios, o que significa que não houve oscilações significativas tanto na repetitividade quanto na reprodutibilidade das amostras.

Em relação ao $F_{\text{calculado}}$, todos os valores foram bem superiores ao F_{tabelado} , fazendo com que a repetitividade e reprodutibilidade de todos os fertilizantes estudados, para a análise física de dureza, foram bem significantes e satisfatórios.

Tabela 10 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta dureza (kgf) para o fertilizante KCl em diferentes navios.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	$F_{\text{calculado}}$	p-valor
Regressão	1,4025	4	0,3506	40,46	0,0017
Resíduos	0,0347	4	0,0087		
Total	1,4372	8	0,3593	$R^2 = 0,9759$	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. $F_{\text{tabelado}} = 6,39$.

Fonte: Autor (2021).

Tabela 11 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta dureza (kgf) para o fertilizante SAM em diferentes navios.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	$F_{\text{calculado}}$	p-valor
Regressão	1,1562	4	0,2890	10,67	0,0208
Resíduos	0,1084	4	0,0027		
Total	1,2646	8	0,2917	$R^2 = 0,9143$	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. $F_{\text{tabelado}} = 6,39$.

Fonte: Autor (2021).

Tabela 12 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta dureza (kgf) para o fertilizante SSP em diferentes navios.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	p-valor
Regressão	1,5284	4	0,3820	70,18	0,0006
Resíduos	0,0218	4	0,0054		
Total	1,5501	8	0,3874	R² = 0,9860	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. F_{tabelado} = 6,39.

Fonte: Autor (2021).

Na Tabela 13 está apresentado os resultados utilizando grãos grossos, grãos finos e dureza em diferentes materiais, KCl, SAM e SSP, respectivamente, para diferentes navios. Esta análise estatística foi realizada com o intuito de verificar se havia diferença entre os tipos de fertilizantes no mesmo navio. Fazendo uma verificação geral, trabalhando a princípio com a análise granulométrica de grãos grossos, pode-se visualizar que houve diferença estatística para todos os fertilizantes do navio A. Entretanto, no navio B, somente o fertilizante SAM apresentou diferença estatística ao nível de 95% de confiança e, para o navio C, todos os fertilizantes foram estatisticamente iguais.

Já para a análise granulométrica de grãos finos, todos os fertilizantes analisados, para os navios A foram estatisticamente iguais. Para o navio B, houve diferença estatística, apenas para o KCl, pois foi o único que atingiu os parâmetros do MAPA (2017). Os restantes apresentaram valores acima do permitido. O navio C, apresentou para todos os fertilizantes, diferença estatística, com ênfase ao produto SSP que mais uma vez se mostrou fora dos parâmetros. O fertilizante que apresentou menor valor nesta análise, para todas as amostras dos navios estudados, foi o KCl e também o fertilizante que apresentou maior dureza em todas as amostras do navio, mostrando-se como produto menos problemático.

Tabela 13 - Resultados das análises de granulometria utilizando grãos grossos, grãos finos e dureza em diferentes materiais, KCl, SAM e SSP, respectivamente.

Amostras	Granulometria			Granulometria			Dureza (kgf)		
	Grãos grossos (%)			Grãos finos (%)					
	KCl	SAM	SSP	KCl	SAM	SSP	KCl	SAM	SSP
Navio A	0,17±0,0008 ^A	6,06±0,0076 ^C	3,30±0,0050 ^B	0,16±0,0096 ^A	0,25±0,0020 ^A	0,69±0,0025 ^A	2,866±0,1178 ^C	1,506±0,0778 ^A	2,306±0,0422 ^B
Navio B	0,72±0,0020 ^A	4,18±0,0064 ^B	0,47±0,0014 ^A	0,64±0,0017 ^A	9,27±0,0129 ^B	9,40±0,0086 ^B	2,0433±0,0178 ^C	0,9033±0,1844 ^A	1,3533±0,0889 ^B
Navio C	0,02±0,0001 ^A	3,03±0,0227 ^A	0,78±0,0031 ^A	1,56±0,0051 ^B	0,09±0,0002 ^A	9,19±0,0450 ^C	2,0400±0,0867 ^B	1,7133±0,1222 ^{AB}	1,5533±0,0156 ^A

Médias com a mesma letra maiúscula em cada linha, para diferentes fertilizantes, indicam que não há diferença significativa ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Tukey.

Valor apresentado em média±desvio médio.

Fonte: Autor (2021).

Nas Tabelas de 14, 15 e 16 estão apresentados as Análises de Variâncias completa para todos os tipos de fertilizantes estudados, para as amostras dos diferentes navios, na análise de granulometria de grãos grossos. Analisando estas tabelas, pode-se verificar que as amostras de todos os fertilizantes do navio A e do navio B apresentaram uma boa repetibilidade e reprodutividade das amostras.

Os diferentes fertilizantes das amostras destes navios apresentaram ANOVAs com $F_{\text{calculado}}$ maior do que o F_{tabelado} e conseqüentemente, com coeficiente de determinação próximo de 1 e baixo valor de p-valor, bem abaixo do valor usado como parâmetro que foi de 5% de significância (ver Tabelas 14 e 15). Em contrapartida, Tabela 16, a ANOVA para o navio C apresentou $F_{\text{calculado}}$ bem inferior do que o F_{tabelado} , fazendo com que o R^2 (próximo de 59%) fosse baixo e o p-valor alto.

Tabela 14 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta granulometria - grãos grossos (%) para navio A e diferentes fertilizantes (KCl, SAM e SSP).

Fonte de variação	SQ	GL	QM	$F_{\text{calculado}}$	p-valor
Regressão	0,0052	4	0,0013	18,71	0,0075
Resíduos	0,0003	4	0,0001		
Total	0,0054	8	0,0014	$R^2 = 0,9493$	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. $F_{\text{tabelado}} = 6,39$.

Fonte: Autor (2021).

Tabela 15 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta granulometria - grãos grossos (%) para navio B e diferentes fertilizantes (KCl, SAM e SSP).

Fonte de variação	SQ	GL	QM	$F_{\text{calculado}}$	p-valor
Regressão	0,0027	4	0,0007	42,60	0,0016
Resíduos	0,0001	4	0,0000		
Total	0,0028	8	0,0007	$R^2 = 0,9771$	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. $F_{\text{tabelado}} = 6,39$.

Fonte: Autor (2021).

Tabela 16 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta granulometria - grãos grossos (%) para navio C e diferentes fertilizantes (KCl, SAM e SSP).

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	p-valor
Regressão	0,0019	4	0,0005	1,43	0,3681
Resíduos	0,0013	4	0,0003		
Total	0,0032	8	0,0008	R² = 0,5889	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. F_{tabelado} = 6,39.

Fonte: Autor (2021).

As Análises de Variâncias para todos os tipos de fertilizantes estudados, para as amostras dos diferentes navios, na análise de granulometria de grãos finos estão apresentados nas Tabelas 17, 18 e 19. Fazendo uma análise geral, pode-se verificar que as amostras de todos os fertilizantes do navio A não apresentaram uma boa repetibilidade e reprodutividade, apresentando um R² de aproximadamente 58%. O navio C apresentou diferença estatística nos três produtos, embora tenha apresentado R² de aproximadamente 76%, este valor relativamente baixo, não desqualifica este navio, uma vez que seu coeficiente de determinação foi acima de 70%, coeficiente aceitável para produtos biológicos, sujeitos a degradações (RODRIGUES; LEMMA, 2009). Para os grãos finos obtidos do navio B observou-se uma boa repetibilidade e reprodutividade das amostras, apresentando R² de 97% e F_{calculado} maior do que o F_{tabelado} (32,72 > 6,39).

Isto indica que apenas nas amostras do navio B, houve uma conformidade na análise granulométrica de grãos finos para todos os fertilizantes analisados.

Tabela 17 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta granulometria - grãos finos (%) para navio A e diferentes fertilizantes (KCl, SAM e SSP).

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	p-valor
Regressão	0,0004	4	0,0001	1,36	0,3855
Resíduos	0,0003	4	0,0001		
Total	0,0007	8	0,0002	R² = 0,5770	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. F_{tabelado} = 6,39.

Fonte: Autor (2021).

Tabela 18 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta granulometria - grãos finos (%) para navio B e diferentes fertilizantes (KCl, SAM e SSP).

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	p-valor
Regressão	0,0156	4	0,0039	32,72	0,0026
Resíduos	0,0005	4	0,0001		
Total	0,0161	8	0,0040	R² = 0,9703	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. F_{tabelado} = 6,39.

Fonte: Autor (2021).

Tabela 19 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta granulometria - grãos finos (%) para navio C e diferentes fertilizantes (KCl, SAM e SSP).

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	p-valor
Regressão	0,0162	4	0,0040	3,14	0,1469
Resíduos	0,0052	4	0,0013		
Total	0,0214	8	0,0053	R² = 0,7584	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. F_{tabelado} = 6,39.

Fonte: Autor (2021).

Nas Tabelas de 20 a 22 estão apresentados as ANOVAs para todos os tipos de fertilizantes estudados, para as amostras dos diferentes navios, na análise física de dureza.

Fazendo um estudo em relação a Análises de Variâncias dos valores de dureza (kgf) obtidos utilizando diferentes fertilizantes, obteve-se a ANOVA para cada tipo de amostras de navios. A partir dos tipos de navios foram determinados o F_{calculado}, p-valor e R² (coeficiente de determinação) para cada amostra de fertilizantes. Para esta análise foi considerado o nível de confiança de 95% e p-valor menor ou igual a 0,05. Portanto, verificando estas tabelas, observou-se que os valores de p-valor foram menores que o valor de referência (5%) e o R² ficou bem próximo de 1 para os navios A e B, mostrando-se satisfatórios, o que significa que não houve oscilações significativas tanto na repetitividade quanto na reprodutibilidade das amostras (Tabelas 20 e 21). Entretanto, para o navio C, o valor de R² não foi tão próximo de 1, mas não foi um valor insatisfatório que desqualifique a análise.

Na Tabela 22, pode-se visualizar que o F_{calculado} ficou bem próximo do F_{tabelado}, fazendo com que o p-valor não fosse tão baixo e o R² não tão próximo de 1. A análise de dureza para as amostras do navio C apresentaram uma variação maior para os diferentes fertilizantes.

Tabela 20 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta dureza (kgf) para navio A e diferentes fertilizantes (KCl, SAM e SSP).

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	p-valor
Regressão	2,8578	4	0,7144	109,92	0,0002
Resíduos	0,0260	4	0,0065		
Total	2,8838	8	0,7209	R² = 0,9910	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. F_{tabelado} = 6,39.

Fonte: Autor (2021).

Tabela 21 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta dureza (kgf) para navio B e diferentes fertilizantes (KCl, SAM e SSP).

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	p-valor
Regressão	2,0740	4	0,5186	31,86	0,0027
Resíduos	0,0650	4	0,0163		
Total	2,1396	8	0,5349	R² = 0,9696	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. F_{tabelado} = 6,39.

Fonte: Autor (2021).

Tabela 22 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta dureza (kgf) para navio C e diferentes fertilizantes (KCl, SAM e SSP).

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	p-valor
Regressão	0,4012	4	0,1003	7,74	0,0363
Resíduos	0,5184	4	0,0129		
Total	0,4531	8	0,1132	R² = 0,8856	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. F_{tabelado} = 6,39.

Fonte: Autor (2021).

6 CONCLUSÃO

✓ As normas de qualidade impostas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e pesca mostram a necessidade do diagnóstico precoce das deficiências oriundas dos fertilizantes, para que com posse dos dados, estratégias de qualidade sejam traçadas para a resolução e otimização dos problemas de granulometria para grãos grossos, finos e dureza.

✓ Os resultados das análises de granulometria para o produto cloreto de potássio (KCl), apresentaram valores fora dos padrões para dureza nos navios B e C. Para o Sulfato de Amônio (SAM) indicaram deficiência de grãos grossos no navio A, deficiência de grãos finos no navio B e valores fora dos padrões de dureza em todos os navios aqui estudados. Por fim para o superfosfatos Simples (SSP), os navios B e C apresentaram problemas de percentual alto de grãos finos e valores abaixo do requerido para a análise física de dureza.

✓ Para o teste de Tukey houve diferença significativa ao nível de 95% de confiança quando avaliou-se os resultados dos produtos individualmente para cada navio, ou seja, o KCl apresentou diferença estatística nos grãos grossos e na dureza; o SAM apresentou diferença significativa para grãos finos e dureza e o SSP diferiu nos três parâmetros.

✓ Na verificação da ANOVA os resultados foram satisfatórios, pois observou-se que os valores de p-valor foram muito menores que o valor de referência (5%) e R^2 ficaram bem próximo de 1, para os parâmetros que diferiram no teste de Tukey, o que significa que não houveram oscilações significativas tanto na repetitividade quanto na reprodutibilidade das amostras.

✓ O mesmo comportamento foi observado nos resultados, para o teste de Tukey e ANOVA, quando os dados foram comparados entre os diferentes fertilizantes em um mesmo navio.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6023**: informação e documentação - referências - elaboração. Rio de Janeiro, 2002a.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Manual de Controle de Qualidade de Fertilizantes Minerais Sólidos**. São Paulo: ANDA, 1988.

_____. **NBR 10520**: informação e documentação – citações em documentos – apresentação. Rio de Janeiro, 2002b.

_____. **NBR 14724**: informação e documentação – trabalhos acadêmicos – apresentação. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **BNDES 60 anos: perspectivas setoriais**. Rio de Janeiro: 1º ed. – BNDES, 2012 v. 2.

BARROS NETO, B.; SCARMÍNIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 3 ed. Campinas: UNICAMP, 2007.

BAZZOTTI, A. **Decisões Estratégicas de produção como suporte a uma estratégia de negócios: um estudo de caso na indústria de fertilizantes**. 1997. 67f. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

BRASIL, Yara. **Propriedades físicas dos fertilizantes**. Disponível em: <<https://www.yarabrasil.com.br/nutricao-de-plantas/manuseio-de-fertilizantes/propriedades-fisicas-dos-fertilizantes/>> Acesso em: 23 de maio de 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**: decimo segundo levantamento, safra 2019/2020. Brasília, DF, 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/33172_abb800f121502edc4c1c562149aabb3e>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2021.

COUTINHO, T. **Guia para entender e aplicar o controle de qualidade na sua empresa. voitto.** Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/controle-de-qualidade>. Acesso em: 10 de abril de 2021.

CREMASCO, M. A. **Operações unitárias em sistemas particulados e fluidomecânicos.** 2. ed. São Paulo: Blucher, 2012.

DIAS, J.A. **A Análise Sedimentar e o Conhecimentos Dos Sistemas Marinhos.** Universidade Federal de Juiz de Fora, versão preliminar, 2004, pg. (10-27). Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Joao-Dias-62/publication/236551412_A_ANALISE_SEDIMENTAR_E_O_CONHECIMENTOS_DOS_SISTEMAS_MARINHOS_Uma_Introducao_a_Oceanografia_Geologica/links/0deec517fe9e2f674000000/A-ANALISE-SEDIMENTAR-E-O-CONHECIMENTOS-DOS-SISTEMAS-MARINHOS-Uma-Introducao-a-Oceanografia-Geologica.pdf>. Acesso em: 10 de março de 2021.

DIAS, Victor Pina; FERNANDES, Eduardo. Fertilizantes: uma visão global sintética. **BNDES Setorial**, 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: 12 de maio de 2021.

FERTCEL. **Benefícios dos fertilizantes fosfatados.** FERTCEL. Disponível em: <https://fertilcel.com.br/beneficios-dos-fertilizantes-fosfatados/>. Acesso em: 13 de março de 2021.

FERTCEL. **Qual o benefício dos fertilizantes nitrogenados?.** FERTCEL. Disponível em: <https://fertilcel.com.br/beneficios-dos-fertilizantes-fosfatados/>. Acesso em: 13 de março de 2021.

CONSOLINI, F. et al. Fertilizantes e corretivos: Aspectos relevantes no controle de qualidade de resultados. **Embrapa.** São Paulo, p. 38-46. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/met/images/arquivos/17MET/Palestras/cap3.pdf>>. Acesso em: 12 de março de 2021.

HERINGER. **Mercado Brasileiro de Fertilizantes.** Disponível em: <http://www.heringer.com.br/heringer/web/conteudo_pti.asp?idioma=0&tipo=29504&img=206&conta=45>. Acesso em 24 de fevereiro de 2021.

IFA. **International Fertiliser Association.** Disponível em: <<http://www.fertilizer.org>>. Acesso em: 09 maio. 2021.

IFA. International Fertilizer Industry Association. **ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA).** São Paulo, p. 18 -57. 2017.

LAJUS. **Potássio nas plantas: o que você precisa saber.** FERTCEL. Disponível em: <https://ferticel.com.br/beneficios-dos-fertilizantes-fosfatados/>. Acesso em: 13 de março de 2021.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos.** 2017. Brasília. Disponível em:<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/manual-de-metodos_2017_isbn-978-85-7991-109-5.pdf>. Acesso em: 19 de fevereiro de 2021.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 39, de 8 de agosto de 2018.** Brasília. Disponível em:<https://www.in.gov.br/materia//asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/36278414/do1-2018-08-10-instrucao-normativa-n-39-de-8-de-agosto-de-2018-36278366>. Acesso em: 19 de fevereiro de 2021.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 53 de 23 de outubro de 2013.** Brasília. Disponível em:<<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-53-2013-com-as-alteracoes-da-in-3-de-15-01-2020.pdf>>. Acesso em: 19 de fevereiro de 2021.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos.** Brasília, MAPA, 2018.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control**. Arizona: JohnWiley & Sons, 2009.

MOSIER, A.; GALLOWAY, J. **Setting the scene: the international nitrogen initiative. international workshop on enhanced-efficiency fertilizers**. Frankfurt: International Fertilizer Industry Association, 2005. 10 p.

OKAZAKI, V. H. A. **Material de apoio para a elaboração de monografia/TCC**. fev. 2013. Disponível em: < <http://okazaki.webs.com/>>. Acesso em: 25 de abril de 2021.

REETZ, H.F. **The 4R-BMP concept: enhanced nutrient management for agricultural sustainability and food and energy security**. Chapter 15. In: D.D. Songstad et al. (eds.) *Convergence of Food Security, Energy Security, and Sustainable Agriculture, Biotechnology in Agriculture and Forestry 67*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 2014.

REETZ, H.F., HEFFER, JR. P.; BRUULSEMA, T.W. **4R Nutrient Stewardship: A global framework for sustainable fertilizer management**. Chapter 4. In: *Managing Water and Fertilizer for Sustainable Agricultural Intensification*. International Fertilizer Industry Association, Paris, France. 2015.

RHODEN. **Benefícios dos fertilizantes fosfatados**. FERTCEL. Disponível em: <https://ferticel.com.br/beneficios-dos-fertilizantes-fosfatados/>. Acesso em: 13 de março de 2021.

RIBANI, M.; BOTTOLI, C. B. G.; COLLINS, C. H.; JARDIM, I. C. S. F.; MELO, L. F. C. **Validação em Métodos cromatográficos e eletroforéticos**. *Química Nova*, 27: 771-780, 2004.

RODRIGUES, M. I.; LEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. Campinas – SP, 2ª edição, 2009.

RODELLA, et al. **Requisitos de qualidade física e química de fertilizantes minerais**. In: *Nutrição e fertilização florestal* [S.l: s.n.], 2000.

RUPOLO. **Qual o benefício dos fertilizantes nitrogenados?**. FERTCEL. Disponível em: <https://ferticel.com.br/beneficios-dos-fertilizantes-fosfatados/>. Acesso em: 13 de março de 2021.

ZHU, M.; ZHANG, X.; PHAM, H. **A comparison analysis of environmental factors affecting software reliability**. *Journal of Systems and Software*, 109, 150–160, 2015.