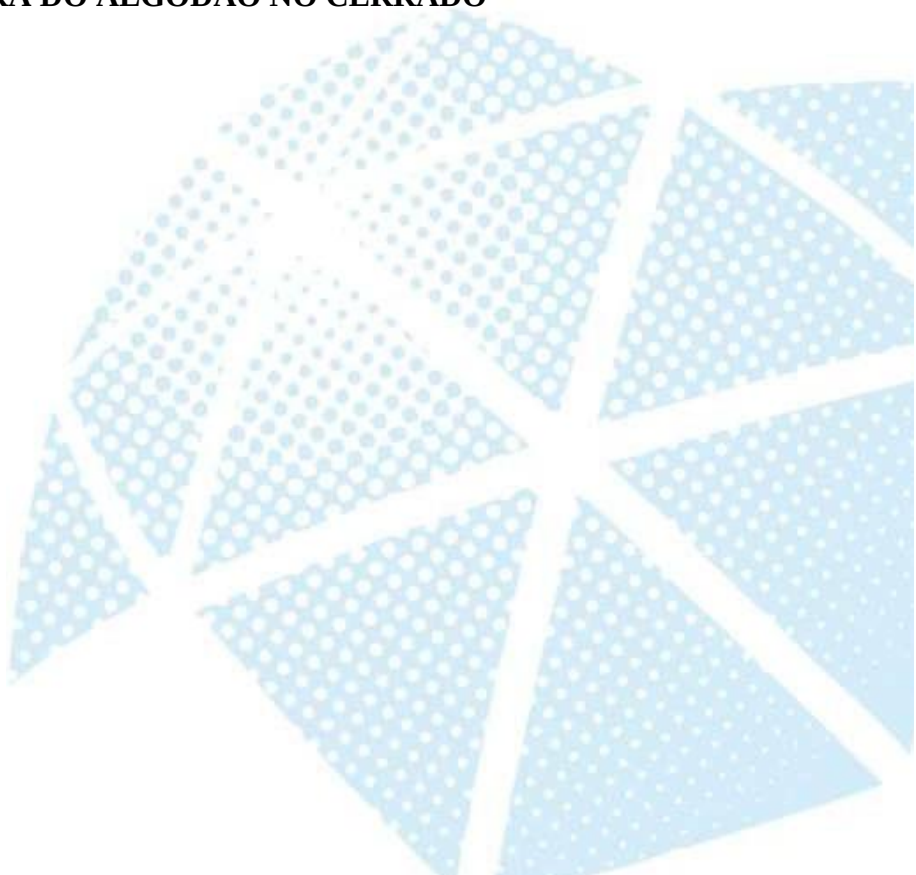


**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

GUILHERME VICTOR VIEIRA PEDRO

**ÉPOCAS DE APLICAÇÃO E DOSES DE FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO NA
CULTURA DO ALGODÃO NO CERRADO**



Ilha Solteira – SP
2024

GUILHERME VICTOR VIEIRA PEDRO

**ÉPOCAS DE APLICAÇÃO E DOSES DE FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO NA
CULTURA DO ALGODÃO NO CERRADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, para
obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Andreotti

Ilha Solteira – SP
2024

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

P372e Pedro, Guilherme Victor Vieira.
Épocas de aplicação e doses de fontes alternativas de potássio na cultura do algodão no Cerrado / Guilherme Victor Vieira Pedro. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
44 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira,
2024

Orientador: Marcelo Andreotti

Inclui bibliografia

1. *Gossypium hirsutum*. 2. Cloreto de potássio. 3. Fonolito. 4. KCL. 5.
Produção de algodão em caroço..

Elaborado por Raiane da Silva Santos - CRB: 8/9999

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Épocas de aplicação e doses de fontes alternativas de potássio na cultura do algodão no Cerrado

ALUNO: *Guilherme Victor Vieira Pedro* RA: *181083161*

ORIENTADOR: Marcelo Andreotti

Aprovado (x) - Reprovado () pela Comissão Examinadora com Nota: 90

Comissão Examinadora:



Prof. Dr. Marcelo Andreotti
Presidente (Orientador)



Dra. Naiane Antunes Alves Ribeiro



Dra. Aline Marchetti Silva Matos



Guilherme Victor Vieira Pedro

Ilha Solteira, 11 de dezembro de 2024.

Dedico este trabalho aos meus pais, a minha irmã, cujo amor, apoio e inspiração foram fundamentais para essa conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por todas as oportunidades que colocou no meu caminho e por estar do meu lado, me protegendo todos os dias.

Aos meus pais, Paulo Calixto Pedro e Rosangela Vieira Coqueiro, por todo suporte, carinho, conselhos e orações. Não mediram esforços para que eu realizasse esse sonho. Eu amo muito vocês. Sou grato por tudo que fizeram por mim.

A minha irmã Vanessa Vieira Taquete, meu cunhado Jefferson Rodrigo Otsuka Taquete e minha sobrinha Juliana Binheli Taquete. Um agradecimento especial a minha avó Madalena Binheli (em memória), por ter sido essencial para essa conquista. Eu amo todos vocês.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo Andreotti por todas as oportunidades concedidas e por ser um orientador com quem sempre pude contar.

Agradeço ao grupo de pesquisa, Equipe Andreotti, por toda ajuda durante a realização deste trabalho, em especial a Viviane, Naiane, Aline e Nelson. Também agradeço aos funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão – FEPE por toda colaboração.

Agradeço à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, (Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira) e aos professores a qual tive a oportunidade de conhecer e aprender.

Agradeço aos amigos que fiz durante a graduação e que estiveram comigo me apoiando e me ajudando nos momentos mais difíceis, em especial ao Guilherme Leandro.

Agradeço imensamente à República Proalcool e todos os moradores com quem vivi nesses anos de faculdade, por terem sido minha casa e segunda família em Ilha Solteira, em especial ao Gustavo Gonçalves, Joel Francisco, Alfonso Pulgar, Luiz Gustavo e Jhonatan Santos. Guardarei vocês sempre em meu coração.

Por fim, a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho e deste sonho, que é o curso de Engenharia Agrônômica, o meu sincero agradecimento.

“Nenhum preço é alto demais para pagar pelo privilégio de possuir a si mesmo.”

Friedrich Nietzsche

RESUMO

O Brasil é amplamente reconhecido como um dos maiores produtores e exportadores de algodão, com a maior parte da produção localizada no Cerrado. A baixa fertilidade do solo afeta a produtividade, demandando uma gestão adequada de fertilizantes potássicos, como o cloreto de potássio (KCl). Em excesso, essa fonte de potássio pode levar à lixiviação e a danos ao ambiente. Alternativas como o fonolito, que libera potássio de forma gradual, têm se mostrado mais eficiente e sustentável para a produção agrícola, especialmente no Cerrado, melhorando tanto a produtividade, quanto a qualidade das fibras. Este estudo teve como objetivo principal avaliar a eficácia do fonolito hidrotermalizado como alternativa de fonte de potássio, em vez do KCl, na produção de algodão, cultivado em condições de Cerrado. A pesquisa foi realizada com algodão na safra 2021/2022, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, em condições de sequeiro, na Fazenda Padrão, situada em Chapadão do Sul (MS), onde o sistema plantio direto (SPD) vinha sendo empregado há mais de duas décadas. A metodologia experimental foi baseada em blocos casualizados, com seis tratamentos que variavam a origem e a aplicação de K_2O (KCl, Fonolito, Fonolito Hidrotermalizado) sendo Tratamento 1 (controle, sem adubação potássica) e os demais tratamentos, a dose de 140 kg ha^{-1} de K_2O aplicada como KCl (Tratamento 2), sendo 30% da dose no sulco de semeadura e 70% em cobertura (estádio de abertura da 1ª flor); Tratamento 3 e Tratamento 4 com aplicação de 30% da dose no sulco de semeadura (KCl) e os outros 70 % em pré-semeadura a lanço, respectivamente, com Fonolito (ECOSIL) e Fonolito Hidrotermalizado (POTASIL); e Tratamento 5 e Tratamento 6, com aplicação de 100% da dose de K_2O como Fonolito (ECOSIL) e Fonolito Hidrotermalizado (POTASIL), aplicados à lanço (na superfície do solo sem incorporação), em pré-semeadura do algodão, com quatro repetições, com o objetivo de analisar os efeitos na produtividade do algodão. Os dados obtidos foram submetidos aos testes preliminares de normalidade e homocedasticidade, e submetidos à análise de variância, sendo as médias significativas comparadas pelo teste LSD a 10% de probabilidade, utilizando-se o programa SISVAR. Apesar do solo possuir níveis adequados de macro e micronutrientes, fatores climáticos adversos, como falta de água e geadas, tiveram um impacto considerável na produtividade do algodão. No entanto, o uso de fontes de potássio alternativas, como o fonolito, demonstrou potencial para melhorar a produtividade e a qualidade da fibra, apresentando melhorias sutis em comparação ao tratamento convencional. Assim, o uso de fontes alternativas de potássio pode ser uma estratégia eficiente para melhorar a produção de algodão no Cerrado, contribuindo para a sustentabilidade da agricultura na região.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum*; cloreto de potássio; Fonolito; KCl; produção de algodão em caroço.

ABSTRACT

Brazil is widely recognized as one of the largest producers and exporters of cotton, with most of the production located in the Cerrado. The low fertility of the soil affects productivity, requiring proper management of potassium fertilizers, such as potassium chloride (KCl), in excess, this source of potassium can lead to leaching and environmental damage. Alternatives such as fonolite, which releases potassium gradually, have proven to be more efficient and sustainable for cotton production, especially in the Cerrado, improving both productivity and fiber quality. This study aimed to evaluate the effectiveness of hydrothermalized fonolite as an alternative potassium source, instead of KCl, in cotton production under Cerrado conditions. The research was conducted with cotton in the 2021/2022 crop year, in a Oxisol, under rainfed conditions, at Fazenda Padrão, located in Chapadão do Sul (Mato Grosso do Sul State, Brazil), where no-tillage systems (NTS) had been employed for over two decades. The experimental methodology was based on randomized blocks, with six treatments varying the origin and application of K_2O (KCl, Fonolite, Hydrothermalized Fonolite). Treatment 1 (control, without potassium fertilization) and the other treatments applied a dose of 140 kg ha^{-1} of K_2O as KCl (Treatment 2), with 30% of the dose placed in the seed furrow and 70% applied as topdressing (at the opening of the first flower stage); Treatment 3 and Treatment 4 involved applying 30% of the dose in the seed furrow (KCl) and the remaining 70% in pre-planting broadcast, respectively, with Fonolite (ECOSIL) and Hydrothermalized Fonolite (POTASIL); and Treatment 5 and Treatment 6 applied 100% of the K_2O dose as Fonolite (ECOSIL) and Hydrothermalized Fonolite (POTASIL), broadcast on the soil surface without incorporation, in pre-planting for cotton, with four repetitions, aiming to analyze the effects on cotton productivity. The obtained data were subjected to preliminary tests for normality and homoscedasticity, and then to analysis of variance, with significant means compared using the LSD test at a 10% probability, using the SISVAR program. Despite the soil having adequate levels of macro and micronutrients, adverse climatic factors such as water shortages and frosts had a considerable impact on cotton productivity. However, the use of alternative potassium sources, such as fonolite, showed potential to improve productivity and fiber quality, presenting subtle improvements compared to the conventional treatment. Thus, the use of alternative potassium sources can be an efficient strategy to improve cotton production in the Cerrado, contributing to the sustainability of agriculture in the region.

Keywords: *Gossypium hirsutum*; potassium chloride; Fonolite; KCl; cottonseed production.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Localização da área experimental e condições climáticas.....	17
Tabela 2- Caracterização inicial do solo na profundidade de 0,0-0,20 e 0,20 a 0,40 m. Chapadão do Sul/MS	19
Tabela 3- Tratamentos utilizados no experimento com a cultura do algodão safra conduzido em Chapadão do Sul/MS.....	20
Tabela 4- Informações sobre a condução da cultura do algodão safrinha 2022 em Chapadão do Sul/MS.....	21
Tabela 5- Médias dos teores de macro e micronutrientes foliares no algodão. Chapadão do Sul/MS, 2022.	27
Tabela 6- Médias de estande final de plantas (EFP), de altura de plantas (ALTP), número de capulhos por planta (NCP), número de ramos reprodutivos (NRR), número de ramos vegetativos (NRV) e massa de 1 capulho (M1C) de algodão. Chapadão do Sul/MS, 2022.	29
Tabela 7- Médias de produtividade de algodão em caroço, em pluma, em @ e rendimento de fibra (%). Chapadão do Sul/MS, 2022.....	30
Tabela 8- Análise do índice HVI em valores médios de resistência à ruptura (STR), comprimento da fibra (UHM), micronaire (MIC), índice de fibras curtas (SFI), alongamento à ruptura (ELG), refletância/brilho (RD) e grau de amarelamento (+B) das fibras de algodão. 31	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Valores de precipitação pluvial mensal e temperatura (mm) durante condução da cultura do algodão. Chapadão do Sul (2021/22).	18
Figura 2- Visão geral da aplicação dos tratamentos e emergência do algodão. Chapadão do Sul/MS, 2022. Andreotti 2022.....	32
Figura 3-Visão geral da aplicação dos tratamentos e emergência do algodão. Chapadão do Sul/MS, 2022. Andreotti 2022.....	32
Figura 4- Visão geral da aplicação dos tratamentos e emergência do algodão. Chapadão do Sul/MS, 2022. Andreotti 2022.....	33
Figura 5-Visão geral da aplicação dos tratamentos e emergência do algodão. Chapadão do Sul/MS, 2022. Andreotti 2022.....	33
Figura 6- Tratamento testemunha (sem adubação) do algodão no florescimento, em relação aos demais tratamentos adubados com K. Chapadão do Sul/MS, 2022.	34
Figura 7-Tratamento testemunha (sem adubação) do algodão na colheita, em relação aos demais tratamentos adubados com K. Chapadão do Sul/MS, 2022	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALTP	Altura de Plantas
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
EFP	Estande Final de Plantas
NRR	Número de ramos reprodutivos
NRV	Número de ramos vegetativos
NCP	Número de capulhos por planta
M1C	Massa de 1 capulho
STR	Resistência a ruptura
UHMI	Comprimento da fibra
MIC	Micronaire
SPD	Sistema Plantio Direto
SFI	Índice de fibras curtas
ELG	Alongamento a ruptura
RD	Reflectância/brilho
+B	Grau de amarelamento

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 ALGODÃO.....	11
2.2 DEPENDÊNCIA DOS PAÍSES TROPICAIS POR FERTILIZANTES E KCl.....	12
2.3 POTÁSSIO E SUAS FUNÇÕES	14
2.4 FONOLITO HIDROTHERMALIZADO - ROCHA POTÁSSICA.....	15
3. OBJETIVO	16
3.1 OBJETIVOS GERAIS.....	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
4. MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E INSTALAÇÃO DA PESQUISA	17
4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	21
4.3 CONDUÇÃO DA LAVOURA E TRATOS CULTURAIS NA CULTURA DO ALGODÃO.....	21
4.4 AVALIAÇÕES REALIZADAS.....	22
4.4.1 Nutrientes foliares	22
4.4.2 Componentes da Produção, Produtividade e Qualidade da Fibra de Algodão	22
4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
6. CONCLUSÃO	36
7. REFERÊNCIAS	37

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos cinco maiores produtores de algodão, destacando-se também pela alta produtividade em cultivo de sequeiro e por ser um dos maiores exportadores e consumidores mundiais. Na safra 2022/23, o país produziu 7,13 milhões de toneladas de algodão em caroço e 2,98 milhões de toneladas de pluma, consolidando-se como o segundo maior exportador (CONAB, 2023). O Centro-Oeste, com destaque para o Mato Grosso, é a principal região produtora, representando 70% da produção nacional (CONAB, 2023).

A partir da década de 1990, o cultivo de algodão se expandiu para Mato Grosso do Sul, especialmente nas regiões de Chapadão do Sul, São Gabriel do Oeste e Costa Rica. Nessa área, a agricultura tecnificada tem se expandido, mas os solos predominantes, ácidos e de baixa fertilidade, apresentam desafios para a produtividade. Isso se deve a práticas inadequadas de calagem e adubação, além da predominância do monocultivo (Coelho e França, 2009). Durante o desenvolvimento dos capulhos, o algodão demanda grandes quantidades de carboidratos, enquanto as raízes e ramos crescem mais lentamente. A qualidade da fibra é sensível a condições adversas como baixa disponibilidade de água, temperaturas extremas e deficiências nutricionais, especialmente de potássio, que pode reduzir a produtividade (Yara Brasil, 2020; Yara, 2023).

O potássio desempenha um papel fundamental na fotossíntese, no metabolismo da planta e no desenvolvimento das fibras. Sua deficiência afeta diretamente a produtividade e qualidade do algodão. Além disso, a aplicação inadequada de potássio pode levar a perdas por lixiviação, o que diminui a eficiência do uso do fertilizante (Ernani et al., 2007; Paglia et al., 2007; Werle et al., 2008). Embora o cloreto de potássio (KCl) seja o fertilizante mais usado no Brasil, ele apresenta perdas significativas por lixiviação (50-70%). Fertilizantes revestidos por polímeros têm se mostrado mais eficientes, pois reduzem essas perdas e melhoram a produtividade. No entanto, o uso excessivo de KCl pode afetar a absorção de água pelas raízes e prejudicar a germinação (Zahrani, 2000; Guareschi et al., 2011).

A dependência do Brasil por importações de K compromete sua sustentabilidade agrícola. Os fertilizantes potássicos, essenciais para a agricultura, representam um alto custo de produção, e a falta de alternativas locais exige importações de países como Canadá e Rússia, que dominam a produção mundial (James e Sojka, 2008; Ni, Liu e Lü, 2009).

Fontes alternativas de potássio, como o fonolito, uma rocha potássica de liberação lenta, podem ajudar a reduzir os custos de produção e melhorar a eficiência do uso de potássio. Esse material, ao liberar potássio gradualmente, tem efeitos benéficos para o

algodão, especialmente no Cerrado, favorecendo a absorção do nutriente e a qualidade das fibras, além de reduzir os impactos ambientais da lixiviação (Resende et al., 2006; Teixeira et al., 2011; Luz et al., 2013).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ALGODÃO

O algodão (*Gossypium hirsutum* Hutch), uma das fibras naturais mais antigas e reconhecidas mundialmente, tem exercido uma função crucial na economia e no avanço tecnológico desde que foi domesticado há mais de quatro mil anos, no sul da Arábia. A origem do termo "algodão" vem do árabe al-qutum, evidenciando a relevância desta fibra na cultura e economia de civilizações antigas que a empregavam na produção de tecidos e papéis (AMPA, 2017). A Revolução Industrial, no século XVIII, revolucionou a indústria têxtil com a introdução de máquinas que aprimoraram a eficiência do descaroçamento e da tecelagem, fazendo do algodão a fibra predominante no mercado global de fios e tecidos (AMPA, 2017).

Nos últimos anos, o algodão se consolidou como uma das principais commodities do agronegócio brasileiro, com um papel significativo no comércio internacional. Em 2023, o Brasil registrou uma produção recorde de 3,68 milhões de toneladas de algodão, representando um aumento de 16% em relação ao ciclo anterior. Esse crescimento foi impulsionado por fatores como o aumento da produtividade, melhorias tecnológicas e condições climáticas favoráveis, permitindo ao Brasil superar os Estados Unidos e se tornar o maior exportador mundial de algodão (Valor, 2023; Agência Brasil, 2023).

Além disso, a exportação de algodão do Brasil teve desempenho notável, alcançando 2,68 milhões de toneladas na safra 2023/2024, superando os Estados Unidos, que exportaram 2,39 milhões de toneladas no mesmo período. O Brasil manteve sua posição como um fornecedor confiável para mercados internacionais, como China, Vietnã, Bangladesh, Turquia e Paquistão, que demandaram grandes volumes da fibra (Valor, 2023; Agência Brasil, 2023).

A sustentabilidade e a rastreabilidade também desempenham um papel crucial no fortalecimento da posição do Brasil no mercado global. Cerca de 84% do algodão produzido no país possui certificações socioambientais, o que garante maior confiança aos compradores internacionais (Agência Brasil, 2023).

O Brasil, além de aumentar a produção e as exportações, também expandiu a área plantada de algodão. Para a safra 2024-2025, espera-se que a área cresça 7,4%, resultando em uma produção estimada de 3,97 milhões de toneladas e um aumento de 6,7% nas exportações (Valor, 2023). Apesar do Brasil ter se sobressaído no cenário global, a indústria do algodão ainda lida com obstáculos estruturais, principalmente no que diz respeito à logística. O transporte de algodão produzido em regiões como Mato Grosso e Bahia até o Porto de Santos, o principal destino de exportação, aumenta consideravelmente os custos do processo. (AGÊNCIA BRASIL, 2023; VALOR ECONÔMICO, 2023). Coelho (2018) destaca que a elevação do valor do óleo diesel tem intensificado as despesas de transporte, afetando diretamente a competitividade do produto no mercado. Ademais, Alves et al. (2018) indicam que a cultura do algodão é altamente arriscada, devido à exigência de grandes investimentos em tecnologia e à complexidade de seus processos de produção. Apesar dos produtores terem conseguido diminuir despesas e melhorar a eficiência após a crise de 1990, a produção de algodão ainda requer grandes investimentos em capital e tecnologia para se manter competitiva, tornando a sua administração um desafio.

Mesmo com os obstáculos, as expectativas para a indústria do algodão no Brasil permanecem otimistas. A Associação Brasileira dos Produtores de Algodão (ABRAPA) indica que o Brasil continua sendo um dos maiores produtores e consumidores do mundo. A região Centro-Oeste, que representa mais de 70% da produção do país na safra 2020/21, se sobressai como o principal centro produtor, impulsionado pela implementação de tecnologias de ponta e práticas de agricultura sustentável (IPEA, 2021). Esses progressos sugerem que o Brasil manterá um papel fundamental no mercado global de algodão, principalmente com o crescimento da procura por fibras sustentáveis e o aprimoramento da infraestrutura logística nacional.

2.2 DEPENDÊNCIA DOS PAÍSES TROPICAIS POR FERTILIZANTES E KCl

A agricultura em áreas tropicais enfrenta desafios relacionados à escassez de nutrientes no solo e à lixiviação desses nutrientes devido às chuvas frequentes. Como resposta, muitos países dessas regiões dependem fortemente do uso de fertilizantes minerais industrializados, como o cloreto de potássio (KCl), para fornecer o potássio necessário ao desenvolvimento das plantas. No entanto, o uso dessas fontes enfrenta questões econômicas, como custos elevados e a necessidade de importação, além de problemas de sustentabilidade

ambiental, como a lixiviação e a contaminação do solo e da água (Ge et al., 2002; James e Sojka, 2008).

Os solos tropicais costumam ser reconhecidos pela sua baixa fertilidade, resultados do seu intenso intemperismo. A erosão e a lixiviação diminuem a concentração de nutrientes que determinam o crescimento das plantas, como nitrogênio, fósforo e potássio. Sem o uso de produtos químicos como fertilizantes, as plantações em solos tropicais não seriam capazes de manter alta produtividade. O K, principalmente através do KCl, é crucial para o controle da água nas plantas, o crescimento das raízes e a resistência a pragas (FAO, 2020).

Em países tropicais, como o Brasil, a importação de fertilizantes é crucial para atender a essas demandas de nutrientes. Para manter a produção agrícola em importantes culturas como soja, milho e algodão, o Brasil necessita importar grande quantidade de KCl, de países como Canadá e Rússia (IBGE, 2021). Esta vinculação gera um ciclo no qual a segurança alimentar e econômica se vincula fortemente ao fornecimento de insumos externos.

A dependência de adubos minerais, particularmente o KCl, coloca as nações tropicais em uma situação de fragilidade econômica. Como a maior parte do cloreto de potássio usado na agricultura tropical é importado mudanças nos preços ou interrupções na disponibilidade global podem afetar diretamente a produção na agricultura. Por exemplo, o Brasil importa aproximadamente 95% do potássio que consome, o que o torna extremamente vulnerável às oscilações no mercado global (Coelho, 2022). A guerra entre Rússia e Ucrânia em 2022 destacou essa fragilidade, pois a Rússia, um dos principais exportadores de potássio, viu suas exportações diminuírem, levando a um aumento de preços e problemas de fornecimento para nações tropicais que dependem significativamente desse fertilizante (Coelho, 2022). Isso resultou em um acréscimo nos gastos com a produção agrícola, colocando em risco a competitividade e a expansão do setor.

Apesar da utilização de fertilizantes ser vital para a produtividade na agricultura, também acarreta impactos ambientais significativos. O uso exagerado de adubos, como o cloreto de potássio, pode levar à poluição de águas subterrâneas e à eutrofização de corpos de água, impactando a biodiversidade e a qualidade da água (Tilman *et al.*, 2011). Ademais, o uso excessivo de adubos aumenta a liberação de gases de efeito estufa, intensificando as questões ligadas às alterações climáticas.

Portanto, a utilização consciente de adubos e a gestão correta dos solos são fundamentais para minimizar os efeitos prejudiciais ao meio ambiente. O uso de métodos de agricultura correta, e as orientações dos agricultores sobre a quantidade adequada de insumos,

podem contribuir para balancear a demanda por produtividade com a conservação dos ecossistemas tropicais (Pretty *et al.*, 2018). Frente aos desafios econômicos e ambientais, buscam-se soluções sustentáveis para diminuir a necessidade de fertilizantes minerais, como o KCl. Dentre as opções disponíveis, estão a utilização de fertilizantes orgânicos, a alternância de culturas e a incorporação de sistemas agroflorestais, que contribuem para aprimorar a fixação de nutrientes no solo, diminuindo a demanda por recursos externos (Pretty *et al.*, 2018). Adicionalmente, os biofertilizantes e outros avanços biotecnológicos proporcionam chances de diminuir a necessidade de fertilizantes sintéticos.

Contudo, a implementação dessas práticas ainda encontra obstáculos em diversos países tropicais, em virtude do alto custo para sua implementação e da escassez de infraestrutura. Em certas nações, as autoridades governamentais ainda apoiam o uso de fertilizantes minerais industrializados, o que desestimula a implementação de métodos mais ecológicos (FAO, 2020).

2.3 POTÁSSIO E SUAS FUNÇÕES

O potássio (K) é um dos nutrientes fundamentais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, desempenhando papéis vitais em diversos processos fisiológicos e bioquímicos. Sua relevância na nutrição vegetal se manifesta em funções críticas, como a regulação osmótica, a ativação de enzimas, o transporte de açúcares, a síntese de proteínas e o aumento da resistência a estresses abióticos, como seca e frio (Marschner, 2012).

Uma das principais funções do potássio é a sua contribuição para a regulação osmótica nas células vegetais. O potássio é fundamental para manter o equilíbrio hídrico, pois controla a abertura e o fechamento dos estômatos, estruturas foliares responsáveis pela troca gasosa e pela transpiração. Estudos indicam que a capacidade das plantas de regular a perda de água e a absorção de CO₂ durante a fotossíntese está diretamente relacionada à concentração de potássio nas células-guarda que circundam os estômatos (Taiz & Zeiger, 2017).

Além de sua função na regulação osmótica, o potássio desempenha um papel crucial no transporte de nutrientes e açúcares dentro da planta. Ele facilita a movimentação dos produtos da fotossíntese, como os carboidratos, das folhas para outras partes da planta, como raízes e frutos. Essa redistribuição é especialmente relevante em culturas como soja e milho, que exigem um uso eficiente dos nutrientes para maximizar seu desenvolvimento e produtividade (Cakmak, 2005).

O potássio também atua como um cofator para mais de 60 enzimas que são essenciais em processos como a síntese de proteínas e a fotossíntese (Marschner, 2012). Essa ativação

enzimática é indispensável para várias reações metabólicas, incluindo a conversão de amônia em compostos nitrogenados não tóxicos e a assimilação de dióxido de carbono (Taiz & Zeiger, 2017).

Outra função significativa do potássio é sua contribuição para a resistência das plantas a estresses abióticos, como a seca, o frio e a salinidade.

Além disso, melhora a eficiência do uso da água, permitindo que as plantas enfrentem períodos de seca com maior vigor (Cakmak, 2005). Em condições de estresse térmico e salino, o potássio também estabiliza as membranas celulares e mantém o equilíbrio iônico, protegendo as plantas de danos causados por altos níveis de sais ou temperaturas extremas (Zörb *et al.*, 2014).

2.4 FONOLITO HIDROTERMALIZADO - ROCHA POTÁSSICA

O fonolito, uma rocha ígnea, é notável pela sua elevada concentração de potássio. O seu desenvolvimento se dá através do resfriamento gradual do magma, seguido por processos hidrotermais que modificam suas características químicas e físicas. Este material é especialmente valioso para a agricultura, pois tem a capacidade de enriquecer o solo e fornecer nutrientes vitais para as plantas (Oliveira *et al.*, 2019).

Os fonolitos consistem principalmente em feldspatos alcalinos, como a sanidina e a albita, mas também podem incluir outros minerais, como a biotita e a augita. A hidrotermalização é um processo que envolve a circulação de fluidos quentes através de fissuras na rocha, provocando mudanças que podem potencializar a solubilidade dos nutrientes, particularmente do potássio (Bettini *et al.*, 2016). Essa qualidade é particularmente benéfica para os agricultores que lidam com solos com baixos níveis de potássio, pois o fonolito pode proporcionar uma solução prática para essa restrição.

Ademais, pesquisas indicam que o fonolito tem potencial para auxiliar as plantas na resistência a estresses ambientais, tais como a escassez de água e a salinidade. Esta rocha, ao favorecer a retenção de água e a eficácia na transferência de nutrientes, possibilita que as plantas cresçam de forma mais saudável, mesmo sob condições adversas (Santos *et al.*, 2020).

Um benefício adicional do fonolito hidrotermalizado é sua habilidade de aprimorar a estrutura do solo. Ele tem a capacidade de intensificar a agregação do solo, aumentar a porosidade e contribuir para a retenção de umidade, elementos cruciais para o crescimento saudável das raízes (Oliveira *et al.*, 2019). Assim, o uso do fonolito não só fornece nutrientes, mas também promove um ambiente mais propício para o desenvolvimento das plantas.

Estudos conduzidos em várias culturas, incluindo milho e soja, sugerem que a utilização de fonolito pode resultar em incrementos consideráveis na biomassa, na produtividade e na qualidade dos grãos, além de aprimorar a eficácia no uso da água (Silva *et al.*, 2021). Estas pesquisas mostram que o fonolito não só é uma fonte importante de potássio, como também funciona como um aprimorador do solo. A sua habilidade de fornecer nutrientes de forma sustentável, juntamente com a melhoria das características físicas e químicas do solo, faz dele uma alternativa viável para práticas de agricultura mais conservacionista. No entanto, são necessárias mais investigações para explorar completamente seu potencial e aprimorar sua utilização diferentes contextos agrícolas.

3. OBJETIVO

3.1 OBJETIVOS GERAIS

Verificar o efeito de épocas de aplicação e de fontes alternativas de potássio (fonolito ou fonolito Hidrotermalizado/Rocha Potássica) na cultura do algodão no Cerrado.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analisar e comparar a eficiência do fonolito hidrotermalizado/ rocha potássica em comparação a utilização do KCl na cultura do algodão;

Avaliar se a qualidade da fibra é influenciada pelo fornecimento e estoque de potássio;

Avaliar se a adubação potássica pode influenciar no balanço nutricional da planta.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E INSTALAÇÃO DA PESQUISA

O experimento com a cultura do algodão foi desenvolvido na safra 2021/2022, em área agrícola de sequeiro, localizada na Fazenda Padrão, Chapadão do Sul – MS. O solo da área experimental é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, textura argilosa, segundo Santos *et al.* (2018), cultivado nos últimos 25 anos em sistema plantio direto (SPD) tendo milho como cultivo anterior.

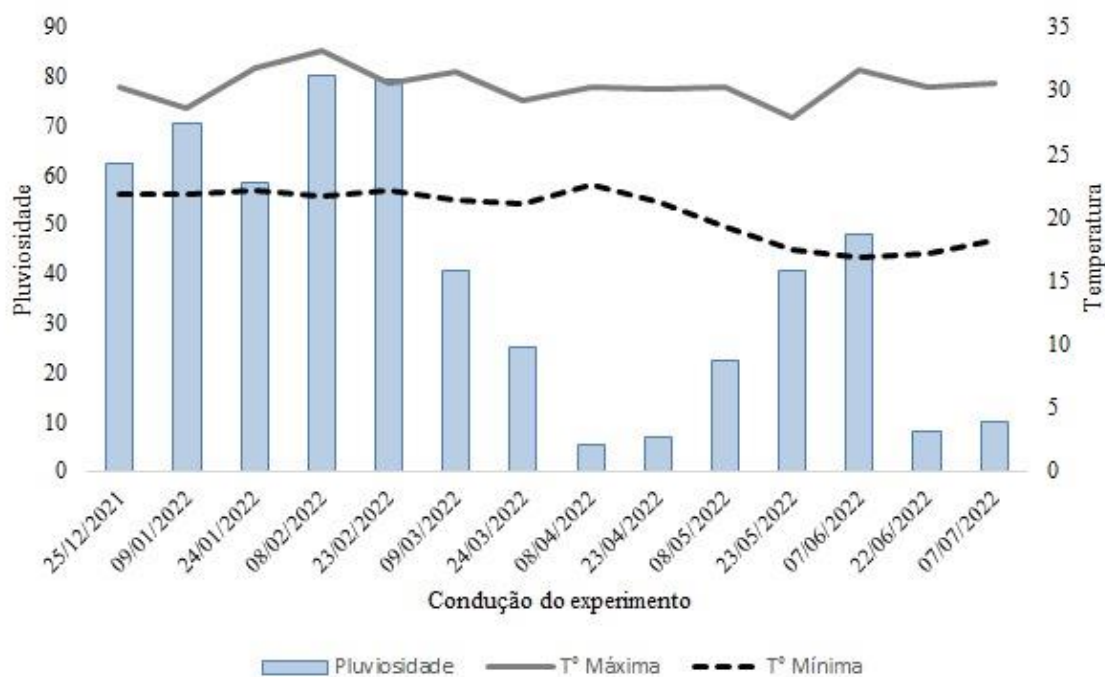
O tipo climático é Aw, segundo classificação de Köppen, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno (Tabela 1).

Tabela 1- Localização da área experimental e condições climáticas.

Município	Chapadão do Sul
Nome da propriedade	Fazenda Padrão
Coordenadas geográficas	
Latitude	18°47'09"S
Longitude	52°42'00"W
Altitude	820 metros
Tipo climático (Köppen-Geiger)	Aw
Média histórica da região	
Temperatura mínima (°C)	13,2
Temperatura média (°C)	22,7
Temperatura máxima (°C)	30,2
Precipitação anual (mm)	1598
Média período experimental	
Temperatura mínima (°C)	11,0
Temperatura média (°C)	24,2
Temperatura máxima (°C)	37,5
Precipitação (mm)	768

Os dados mensais referentes às precipitações pluviiais foram coletados junto à estação meteorológica situada próximo à área experimental, no município de Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul (Figura 1).

Figura 1- Valores de precipitação pluvial mensal e temperatura (mm) durante condução da cultura do algodão. Chapadão do Sul (2021/22).



Efetuuou-se um levantamento da fertilidade (Raij *et al*, 2001) e granulometria (EMBRAPA,1997) do solo antes da instalação dos experimentos, na profundidade de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 (Tabela 2).

A área experimental vinha sendo cultivada em SPD há mais de 25 anos, sendo a cultura anterior o milho segunda safra. Em virtude de problemas de compactação do solo, houve preparo inicial (início de novembro de 2021), com uso de subsolador, arado escarificador e gradagem niveladora. No início de dezembro de 2021, a flora daninha foi dessecada com herbicida glyphosato (1520 g i.a. ha⁻¹).

O algodão cultivar Fibermax 912, foi semeado em 10/12/2021, em espaçamento de 0,90 m entrelinhas, visando uma população de cem mil plantas por hectare. Com base na análise de solo foi realizada a adubação mineral de semeadura e nitrogenada em cobertura, aplicando-se, respectivamente, os fertilizantes (exceto potássico) abaixo e ao lado do sulco de semeadura, e, em cobertura (17/02/2022), no estágio de abertura da 1ª flor (Tabela 3).

Tabela 2-Characterização inicial da fertilidade do solo na profundidade de 0,0-0,20 e 0,20 a 0,40 m. Chapadão do Sul/MS, 2022.

Análise de solo inicial																				
Profundidade	MO	pH	P	K	Ca	Mg	SB	H+Al	CTC	V%	Al	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia	Silte	Argila
m	g dm ⁻³	CaCl ₂	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³							mmol _c dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³					g kg ⁻¹		
0-0,20	34	5,7	59	2,7	30	15	47,7	31	78,7	61	0,0	5	0,44	0,9	53	21,2	3,7	277	87	636
0,20-0,40	33	5,6	41	2,3	26	14	42,3	28	70,3	60	0,0	5	0,43	0,8	56	22,8	4,4	288	68	644

Tabela 3-Tratamentos utilizados no experimento com a cultura do algodão safra conduzida em Chapadão do Sul/MS, 2022.

Trat.	Descrição	Fertilizante 1	Dose	Fertilizante 2	Dose	Fertilizante 3	Dose
			kg ha ⁻¹		kg ha ⁻¹		kg ha ⁻¹
T1	Controle K (sem a adubação Potássica)	MAP	200		0	Excellen	95
T2	KCl (30% da dose no sulco de semeadura e 70% em cobertura)	MAP	200	KCl	140	Excellen	95
T3	30% da dose no sulco de semeadura (KCl) e os outros 70 % em pré-semeadura a lanço (ECOSIL)	MAP	200	KCl + ECOSIL	140	Excellen	95
T4	30% da dose no sulco de semeadura (KCl) e os outros 70 % em pré-semeadura a lanço (POTASIL)	MAP	200	KCl + POTASIL	140	Excellen	95
T5	100% da dose de K ₂ O como fonolito (ECOSIL), em pré-semeadura a lanço	MAP	200	ECOSIL	140	Excellen	95
T5	100% da dose de K ₂ O como fonolito Hidrotermalizado (POTASIL), em pré-semeadura a lanço	MAP	200	POTASIL	140	Excellen	95

T1 (controle, sem adubação potássica) e os demais tratamentos, a dose de 140 kg ha⁻¹ de K₂O aplicada como KCl (**T2**), sendo 30% da dose no sulco de semeadura e 70% em cobertura (estádio de abertura da 1ª flor); **T3** e **T4** com aplicação de 30% da dose no sulco de semeadura (KCl) e os outros 70 % em pré-semeadura a lanço, respectivamente, com fonolito (ECOSIL) e Fonolito Hidrotermalizado (POTASIL); e **T5** e **T6**, com aplicação de 100% da dose de K₂O como fonolito (ECOSIL) e Fonolito Hidrotermalizado (POTASIL), aplicados à lanço (na superfície do solo sem incorporação), em pré-semeadura do algodão, com quatro repetições.

4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental foi realizado em blocos casualizados, com 6 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram na aplicação de fertilizantes na cultura do algodão no município de Chapadão do Sul/MS (Tabela 3).

As parcelas constaram de 8 linhas de algodão de 6 m de comprimento (43,2 m² por parcela), considerando-se 1 linha de cada extremidade como bordadura e as 6 linhas centrais como área útil, de cada extremidade de linha (Figuras 2 e 3).

4.3 CONDUÇÃO DA LAVOURA E TRATOS CULTURAIS NA CULTURA DO ALGODÃO

Foi realizada a dessecação das plantas presentes na área experimental com a aplicação de herbicidas, visando condições adequadas para semeadura da cultura do algodão. Os tratos culturais foram os comumente utilizados pelos produtores nas áreas de cultivo e conforme o recomendado para a cultura do algodão. As informações referentes ao manejo e tratos culturais adotados durante o período de desenvolvimento das plantas de algodão constam na Tabela 4.

Tabela 4- Informações sobre a condução da cultura do algodão safrinha 2022 em Chapadão do Sul/MS

Produto	Finalidade	Doses	Aplicações
Curbix	Cigarrinha	1 L ha ⁻¹	3
Engeo Pleno S	Cigarrinha	0,4 L ha ⁻¹	3
Fox Xpro	Doenças	0,5 L ha ⁻¹	1
Nativo	Doenças	1,5 L ha ⁻¹	1
Abacus	Doenças	0,4 L ha ⁻¹	1
Polytrin	Cigarrinha	1,5 L ha ⁻¹	3
Connect	Cigarrinha	1,2 L ha ⁻¹	1
Zapp QI	Herbicida	2 L ha ⁻¹	1
Calaris	Herbicida	1 L ha ⁻¹	1
Malathion	Bicudo	1,5 L ha ⁻¹	20
Engeo Pleno S	Diabrotica	0,3 L ha ⁻¹	3
Polo	Mosca Branca	0,8 L ha ⁻¹	2

Fipronil	Bicudo	1 kg ha ⁻¹	6
Curbix	Bicudo	1 L ha ⁻¹	10
Marshal Star	Bicudo	1 L ha ⁻¹	5
Fox Xpro	Doenças foliares	0,5 L ha ⁻¹	3
Bravenges	Doenças foliares	2,5 L ha ⁻¹	2
Score	Doenças foliares	0,2 L ha ⁻¹	2
Bravonil	Doenças foliares	1,5 kg ha ⁻¹	3
Nativo	Doenças foliares	1,5 L ha ⁻¹	1
Cheval	Herbicida	2,5 L ha ⁻¹	1
Zapp Qi	Herbicida	2 L ha ⁻¹	1

4.4 AVALIAÇÕES REALIZADAS

4.4.1 Nutrientes foliares

No experimento foram realizadas as seguintes avaliações: a) teor de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), silício (S), cobre (Cu), ferro(Fe), manganês (Mn), zinco(Zn), Sódio (Na) e silício (Si) foliar, coletando-se o limbo da 5ª folha da haste principal, em 30 plantas por parcela (14/03/2022), segundo a metodologia descrita em descrita em Malavolta et al. (1997).

4.4.2 Componentes da Produção, Produtividade e Qualidade da Fibra de Algodão

Na colheita do algodão (01/07/2022) foram avaliados os componentes da produção, produtividade do algodão em caroço em fibra e qualidade da fibra, sendo determinados: a) Estande final de plantas (plantas ha⁻¹), pela contagem do número de plantas nas quatro linhas centrais e extrapolado para ha; b) Altura de plantas: realizada com auxílio de trena, sendo a medição feita do solo ao ápice da planta em 10 plantas por parcela; c) Número médio de ramos reprodutivos (NRR) e vegetativos (NRV): realizado em 10 plantas por parcela no momento da colheita; d) Número médio de capulhos produzidos por plantas: contagem de 10 plantas por parcela; e) Massa de 1 capulho: realizada por coleta aleatória de 30 capulhos, considerando as linhas centrais das parcelas, coletando 10 capulhos aleatoriamente no terço inferior, 10 no terço médio e 10 no terço superior das plantas antes ao momento da colheita. Após pesagem com balança digital, foi obtida a massa de 1 capulho por divisão do valor

encontrado nos 30 capulhos; f) Produtividade de algodão em caroço e pluma: obtidas pela colheita manual das quatro linhas centrais de cada parcela, seguido de pesagem com balança digital; g) Rendimento de fibra (%) e Análise do índice HVI – obtidos da coleta de capulhos de 20 plantas na área útil da parcela, a fim de compor uma amostra de aproximadamente 300 g de algodão em caroço.

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram submetidos aos testes preliminares de normalidade e homocedasticidade, e submetidos à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste LSD a 10% de probabilidade, utilizando-se o programa SISVAR (Ferreira, 2011).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao comparar os teores foliares de nutrientes no algodoeiro com as faixas de suficiência propostas por Rosolem et al. (2022), verificou-se que todos os nutrientes apresentaram concentrações adequadas (Tabela 5), com exceção do boro (B). Em todos os tratamentos, os teores de B ficaram significativamente abaixo do esperado (menores que 40 mg kg⁻¹), mesmo em um solo com concentrações consideradas adequadas desse nutriente (Tabela 2). Tal deficiência pode ser explicada pela combinação de fatores climáticos adversos, como a baixa precipitação pluvial durante o desenvolvimento da cultura (Figura 1) e a ocorrência de geadas.

A baixa umidade do solo reduziu a mobilidade do B no contato entre íon e raiz, além de limitar sua absorção e redistribuição nos tecidos das plantas. Esse cenário foi agravado pelas geadas, que causaram danos às plantas, comprometendo o transporte e a funcionalidade dos nutrientes nos tecidos. A interação desses fatores climáticos contribuiu para o déficit na nutrição das plantas, evidenciando a necessidade de estratégias de manejo mais robustas para minimizar os impactos de condições adversas no cultivo do algodão no Cerrado. Por efeito dos tratamentos (Tabela 5), os teores de Ca foliares foram significativamente superiores em T5 e T6 (com aplicação de 100% da dose de K₂O como fonolito (ECOSIL) e Fonolito Hidrotermalizado (POTASIL), aplicados à lanço (na superfície do solo sem incorporação), em pré-semeadura do algodão, embora similares ao T2 (KCl) e T4 (aplicação de 30% da dose de K₂O no sulco de semeadura (KCl) e os outros 70 % em pré-semeadura a lanço, como Fonolito Hidrotermalizado (POTASIL)), todos foram superiores ao T1 (Controle) e T3 (aplicação de 30% da dose de K₂O no sulco de semeadura (KCl) e os outros 70 % em pré-semeadura a lanço como fonolito (ECOSIL)).

Para os teores de cobre foliares (Tabela 5) destaca-se os maiores teores em T2 (KCl) e T6 (100% da dose de K₂O como POTASIL) em relação aos demais tratamentos. Com exceção ao T3 (aplicação de 30% da dose de K₂O no sulco de semeadura (KCl) e os outros 70 % em pré-semeadura a lanço como ECOSIL), os demais tratamentos adubados com potássio tiveram incremento dos teores de Cu em relação ao T1 (Controle). Entretanto, com relação aos teores de Zn foliares, apenas o T6 (100% da dose de K₂O como POTASIL) foi superior aos demais, pois além de ricos em Si e Ca, foram aplicados em maiores doses de concentrações.

O algodoeiro demonstrou ser uma planta não acumuladora de silício, pois mesmo com aplicação do fonolito (ECOSIL) e Fonolito Hidrotermalizado (POTASIL), não houve diferenças significativas em relação ao T1 (Controle) e T2 (KCl). O algodoeiro não é uma

planta acumuladora de silício (Si) devido à ausência de mecanismos eficientes de absorção e transporte ativo desse elemento, como os observados em gramíneas (ex.: arroz e milho), que possuem transportadores específicos para o silício (Ma & Yamaji, 2006). Enquanto plantas acumuladoras apresentam teores foliares que frequentemente ultrapassam 1% de Si em matéria seca, o algodoeiro geralmente apresenta valores inferiores a 0,1%, refletindo sua baixa capacidade de acumulação (Epstein, 1999; Marschner, 2012).

Por efeito do severo déficit hídrico durante as fases florescimento e enchimento de capulhos (Figura 1), atrelado à geada no mês de maio de 2022, houve baixa resposta aos tratamentos de adubação aqui testados. Mesmo com o solo argiloso e de adequada fertilidade para a cultura do algodão (Tabela 2), os problemas climáticos no período reprodutivo das plantas (volume de chuvas foi inferior a 150 mm), foram determinantes para redução no crescimento da planta (Figuras 4 e 5), e, principalmente para o número e massa de capulhos (Tabelas 6 e 7)

Assim, não houve efeito dos tratamentos para altura de plantas (ALTP), número de ramos reprodutivos (NRR) e vegetativos (NRV), número de capulhos por planta (NCP) e massa de 1 capulho (M1C), aliás com valores muito baixos pelo efeito de déficit hídrico (Tabela 6 e Figura 5). Contudo, para estande final de plantas (EFP) destacaram-se o T2 (KCl) e o T4 (aplicação de 30% da dose de K_2O no sulco de semeadura (KCl) e os outros 70 % em pré-semeadura a lanço, como Fonolito Hidrotermalizado (POTASIL)), superiores aos demais tratamentos.

Esse incremento no número de plantas em T2 (KCl) e T4 (KCl+ POTASIL), como não foi atrelado ao aumento do número e massa de capulhos, não proporcionou incremento significativo da produtividade de algodão em caroço e em pluma (Tabela 7), até porque o rendimento em fibras foi similar entre os tratamentos (em média de 41 a 42%). Mesmo sem efeito significativo, os tratamentos adubados com potássio, aumentaram a produtividade do algodão entre 5 e 14 arrobas (@), com destaque para o T5 (aplicação de 100% da dose de K_2O como fonolito (ECOSIL)) no maior incremento (11%).

Quanto à qualidade de fibra, para avaliação do índice HVI, após envio dos resultados pela Associação Mineira dos Produtores de Algodão (AMIPA), verifica-se que em todas as amostras, a classificação ficou entre Padrão para Ótimo. Por efeito dos tratamentos (Tabela 8), os maiores valores de alongamento à ruptura (ELG) foram proporcionados pelo T2 (KCl), mas similares ao T4 (aplicação de 30% da dose de K_2O no sulco de semeadura (KCl) e os outros 70 % em pré-semeadura a lanço, como Fonolito Hidrotermalizado (POTASIL)) e ao

T1 (Controle). Para o grau de amarelamento destacou-se dos demais tratamentos, o T5 (aplicação de 100% da dose de K_2O como fonolito (ECOSIL)).

Como o potássio está integralmente envolvido no metabolismo e nas relações entre a água e a planta, e tem papel fundamental no transporte de carboidratos na planta, o déficit hídrico rigoroso no período reprodutivo do algodoeiro mascarou os resultados dos tratamentos. Entretanto, verifica-se resultados promissores na substituição parcial ou total do KCl por fonolito ou fonolito Hidrotermalizado/Rocha Potássica em culturas de ciclo mais longo como do algodão no Cerrado.

Tabela 5- Médias dos teores de macro e micronutrientes foliares no algodão. Chapadão do Sul/MS, 2022.

Tratamentos*	N	P	K	Ca	Mg	S	Si	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹							mg kg ⁻¹				
Rosolem et al. (2022) (#)	35-45	2,5-4	15-25	20-35	5-10	5-10	-----	40-60	5-25	40-250	25-200	25-100
T1	48	3,3	23	27c	5,9	5,7	0,56	15	5,4c	95	36	38b
T2	47	3,3	26	29ab	5,7	5,6	0,67	13	9,3a	95	39	37b
T3	45	3,3	25	27c	6,1	6,2	0,59	13	5,8c	92	37	36b
T4	48	3,5	24	29ab	5,6	6,4	0,67	13	8,0b	95	35	38b
T5	48	3,3	25	30a	5,8	6,3	0,71	13	7,5b	95	32	38b
T6	47	3,5	24	30a	5,9	6,7	0,73	13	9,5a	91	34	44a
CV (%)	5,2	7,1	7,5	4,6	6,1	9,9	15,8	11,9	13,3	8,5	11,0	8,9
Pr > Fc	0,577*	0,397*	0,172*	0,035*	0,415*	0,122*	0,187*	0,667*	0,0001*	0,940*	0,289*	0,053*

T1 (controle, sem adubação potássica) e os demais tratamentos, a dose de 140 kg ha⁻¹ de K₂O aplicada como KCl (**T2**), sendo 30% da dose no sulco de semeadura e 70% em cobertura (estádio de abertura da 1ª flor); **T3** e **T4** com aplicação de 30% da dose no sulco de semeadura (KCl) e os outros 70 % em pré-semeadura a lanço, respectivamente, com fonolito (ECOSIL) e Fonolito Hidrotermalizado (POTASIL); e **T5** e **T6**, com aplicação de 100% da dose de K₂O como fonolito (ECOSIL) e Fonolito Hidrotermalizado (POTASIL), aplicados à lanço (na superfície do solo sem incorporação), em pré-semeadura do algodão, com quatro repetições. ** Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste LSD a 10% de probabilidade. # faixa de suficiência para o algodão pelo Boletim 100

O trabalho de Montes (2022), comparou que para cultura da cana-de-açúcar a adubação potássica, independente da fonte utilizada, foi capaz de proporcionar aumento da produtividade dos colmos, ATR e açúcar. Para este trabalho, o fonolito foi capaz de aumentar os teores de Si e K na planta. De forma geral, o que foi visto na cultura do algodão para este estudo, foi um aumento apenas nos teores de Ca e Zn no T6, o que pode ser explicado pela própria constituição do fonolito que possui Ca e Zn em sua composição, sendo assim um importante aliado para nutrição das plantas.

Santos (2013) também indicou a utilização de fonolito para diferentes culturas, pois segundo pesquisa, o fonolito é menos solúvel que o KCl, e dessa forma, proporciona menor perda por lixiviação. Essa pode ser uma importante alternativa para utilização de remineralizadores nas culturas, visto que a menor perda por lixiviação e liberação gradual dos nutrientes da composição, pode ser essencial para atender a demanda das culturas em momentos cruciais. Há uma necessidade de elucidação da forma de ação do fonolito e suas perdas frente a falta de água no sistema, porém é notório que sua utilização pode auxiliar em melhorias na fertilidade.

Similarmente, Cruz (2024) observou que a utilização de fonolito para cultura do milho foi mais eficaz em termos de nutrição da planta em solo muito argiloso, visto maior capacidade do solo em reter esses nutrientes (maior CTC). O autor destaca que, as diferenças para avaliação do fonolito dependem da cultura e do seu ciclo (época de semeadura e colheita), sendo que é necessária água no sistema para facilitar a reação do fonolito-solo. O que foi constatado aqui, é que a utilização do fonolito pode ser uma alternativa ao uso do KCl, inclusive possibilitando menor perda de K^+ por lixiviação e evitando toxidez por Cl^- , porém há uma necessidade de planejamento quanto ao ciclo da cultura e época de semeadura, pois períodos de escassez de água podem diminuir a eficiência do remineralizador.

Tabela 6-Médias de estande final de plantas (EFP), de altura de plantas (ALTP), número de capulhos por planta (NCP), número de ramos reprodutivos (NRR), número de ramos vegetativos (NRV) e massa de 1 capulho (M1C) de algodão. Chapadão do Sul/MS, 2022.

Tratamentos*	EFP	ALTP	NCP	NRR	NRV	M1C
	pl ha ⁻¹	m		----- número -----		g
T1	93.425b	103	5,0	11,7	2,2	5,1
T2	102.314a	100	5,5	11,3	2,3	5,0
T3	93.425b	102	5,5	11,4	2,3	4,9
T4	103.703a	101	5,4	11,0	2,3	5,1
T5	94.443b	105	5,4	11,4	2,3	4,9
T6	94.443b	102	5,4	12,6	2,0	4,8
CV (%)	5,8	6,1	9,1	8,6	15,4	6,4
Pr > Fc	0,051	0,810	0,740	0,354	0,795	0,772

T1 (controle, sem adubação potássica) e os demais tratamentos, a dose de 140 kg ha⁻¹ de K₂O aplicada como KCl (**T2**), sendo 30% da dose no sulco de semeadura e 70% em cobertura (estádio de abertura da 1ª flor); **T3** e **T4** com aplicação de 30% da dose no sulco de semeadura (KCl) e os outros 70 % em pré-semeadura a lanço, respectivamente, com fonolito (ECOSIL) e Fonolito Hidrotermalizado (POTASIL); e **T5** e **T6**, com aplicação de 100% da dose de K₂O como fonolito (ECOSIL) e Fonolito Hidrotermalizado (POTASIL), aplicados à lanço (na superfície do solo sem incorporação), em pré-semeadura do algodão, com quatro repetições. ** Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste LSD a 10% de probabilidade.

Tabela 7-Médias de produtividade de algodão em caroço, em pluma, em @ ha⁻¹ e rendimento de fibra (%). Chapadão do Sul/MS, 2022.

Tratamentos*	Prod. Algodão em	Prod. Algodão em	Produtividade	Produtividade	Rendimento
	caroço	pluma	Algodão caroço	Algodão em pluma	de fibra
	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	@ ha ⁻¹	@ ha ⁻¹	%
T1	1866	775	124	52	41,5
T2	2028	854	135	57	42,1
T3	1935	799	129	43	41,3
T4	1962	806	131	54	41,1
T5	2076	867	138	58	41,8
T6	1963	807	131	54	41,1
CV (%)	9,9	10,1	9,9	10,1	1,8
Pr > Fc	0,721	0,615	0,721	0,615	0,343

T1 (controle, sem adubação potássica) e os demais tratamentos, a dose de 140 kg ha⁻¹ de K₂O aplicada como KCl (**T2**), sendo 30% da dose no sulco de semeadura e 70% em cobertura (estádio de abertura da 1ª flor); **T3** e **T4** com aplicação de 30% da dose no sulco de semeadura (KCl) e os outros 70 % em pré-semeadura a lanço, respectivamente, com fonolito (ECOSIL) e Fonolito Hidrotermalizado (POTASIL); e **T5** e **T6**, com aplicação de 100% da dose de K₂O como fonolito (ECOSIL) e Fonolito Hidrotermalizado (POTASIL), aplicados à lanço (na superfície do solo sem incorporação), em pré-semeadura do algodão, com quatro repetições. ** Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste LSD a 10% de probabilidade.

Tabela 8-Análise do índice HVI em valores médios de resistência à ruptura (STR), comprimento da fibra (UHM), micronaire (MIC), índice de fibras curtas (SFI), alongamento à ruptura (ELG), refletância/brilho (RD) e grau de amarelamento (+B) das fibras de algodão.

Tratamentos*	STR	UHM	MIC	SFI	ELG	RD	+B
	28-29 g/Tex	mm	3,9-4,5	>7%	<Melhor		
T1	31,6	32,1	3,90	5,55	7,45ab	76,4	8,00b
T2	31,0	32,4	3,95	5,26	7,51a	76,5	7,90b
T3	31,3	32,7	3,97	5,17	7,26d	76,5	7,73b
T4	31,2	32,5	3,85	5,15	7,48ab	77,6	7,93b
T5	31,4	32,3	3,89	5,53	7,38bc	75,8	8,40a
T6	31,6	32,4	3,97	5,20	7,31cd	77,8	7,93b
CV (%)	2,1	1,4	4,2	14,4	1,3	1,5	3,1
Pr > Fc	0,755	0,635	0,854	0,949	0,008	0,143	0,025

T1 (controle, sem adubação potássica) e os demais tratamentos, a dose de 140 kg ha⁻¹ de K₂O aplicada como KCl (**T2**), sendo 30% da dose no sulco de semeadura e 70% em cobertura (estádio de abertura da 1ª flor); **T3** e **T4** com aplicação de 30% da dose no sulco de semeadura (KCl) e os outros 70 % em pré-semeadura a lanço, respectivamente, com fonolito (ECOSIL) e Fonolito Hidrotermalizado (POTASIL); e **T5** e **T6**, com aplicação de 100% da dose de K₂O como fonolito (ECOSIL) e Fonolito Hidrotermalizado (POTASIL), aplicados à lanço (na superfície do solo sem incorporação), em pré-semeadura do algodão, com quatro repetições. ** Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste LSD a 10% de probabilidade.

Figura 2- Visão geral da aplicação dos tratamentos e emergência do algodão. Chapadão do Sul/MS, 2022. Andreotti 2022



Figura 3- Visão geral da aplicação dos tratamentos e emergência do algodão. Chapadão do Sul/MS, 2022. Andreotti 2022



Figura 4- Visão geral da aplicação dos tratamentos e emergência do algodão. Chapadão do Sul/MS, 2022. Andreotti 2022



Figura 5- Visão geral da aplicação dos tratamentos e emergência do algodão. Chapadão do Sul/MS, 2022. Andreotti 2022

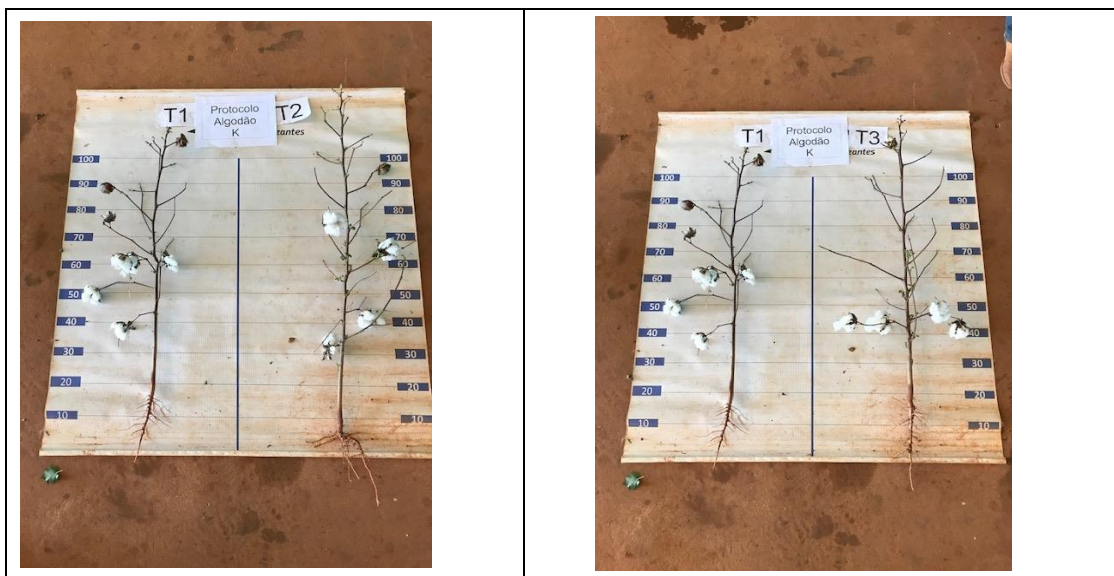


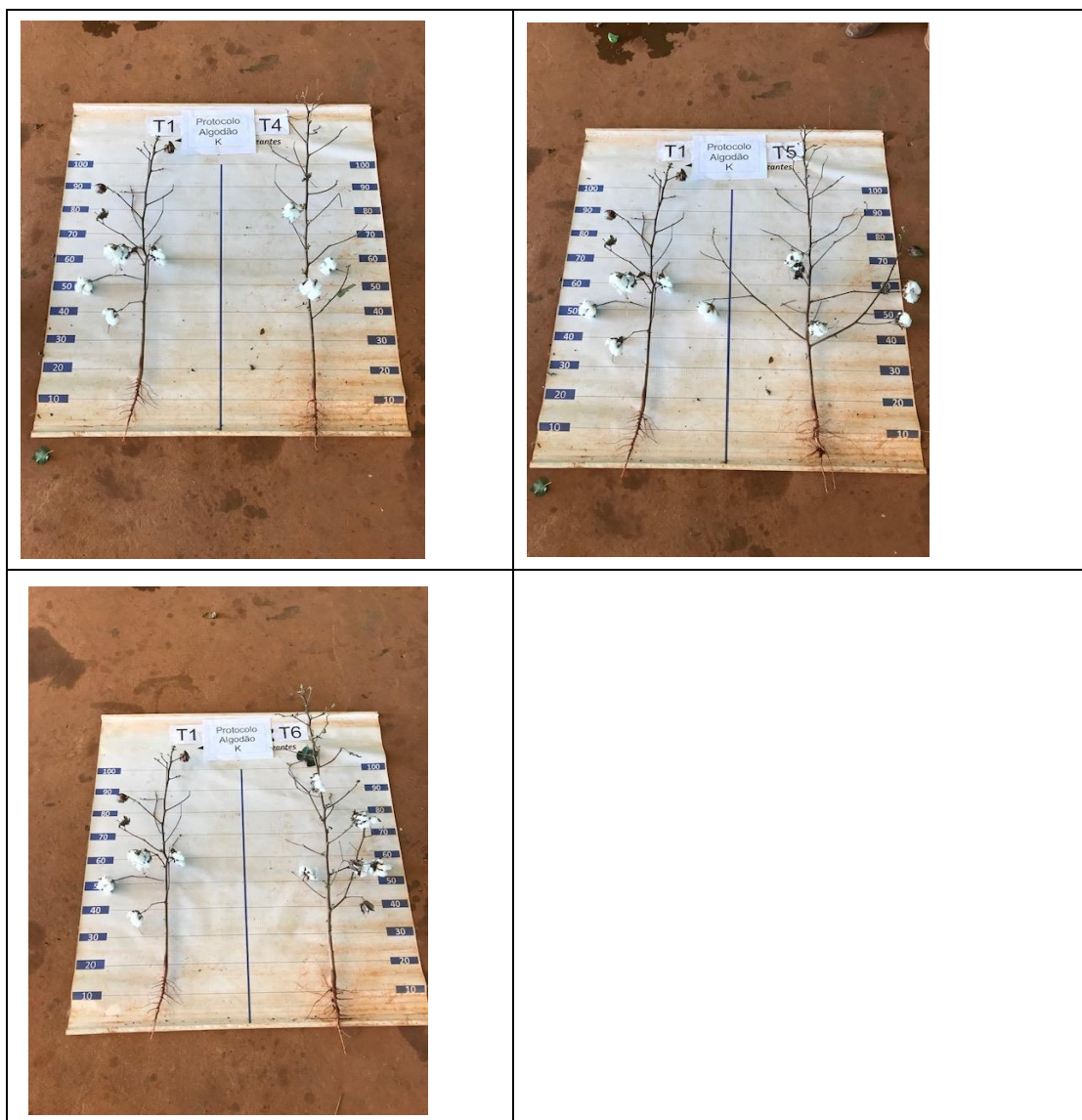
Figura 6- Tratamento testemunha (sem adubação) do algodão no florescimento, em relação aos demais tratamentos adubados com K. Chapadão do Sul/MS, 2022.





Figura 7- Tratamento testemunha (sem adubação) do algodão na colheita, em relação aos demais tratamentos adubados com K. Chapadão do Sul/MS, 2022





6. CONCLUSÃO

Embora o déficit hídrico e a ocorrência de geadas tenham afetado negativamente o crescimento e a produtividade das plantas, dificultando a avaliação dos efeitos dos tratamentos de adubação potássica, ainda foram observados pequenos aumentos na produtividade com a aplicação de potássio. A substituição do KCl por fontes alternativas de potássio demonstrou potencial promissor para a cultura do algodão no Cerrado, sugerindo que, apesar dos desafios climáticos, essas fontes podem ser uma alternativa eficaz e sustentável, especialmente em condições de solo e clima mais adversas.

7. REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA BRASIL. Recorde na produção e exportação de algodão no Brasil. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br>. Acesso em: 14 dez. 2024.
- BORKERT, C. M.; SFREDO, G. J.; FARIAS, J. R. B.; CASTRO, C. DE; SPOLADORI, C. L.; TUDIDA, F. Efeito residual da adubação potássica sobre girassol e milho, em três diferentes Latossolos Roxos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 12, p. 1227-1234, 1997.
- BNDES. Fertilização e seus impactos no setor agrícola. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 30, n. 2, p. 321-328, 2006.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. **Nutrição e adubação do milho**. Brasília: Embrapa CNPMS, 2009. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/milho/deficiencia/deficiencia.html>. Acesso em: 03 mar. 2011.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2022/23 – 12º levantamento. Brasília, DF: Conab, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 14 dez. 2024
- ECHER, F. R.; FOLONI, J. S. S.; CRESTE, J. E. Fontes de potássio na adubação de cobertura do algodoeiro I – Produtividade, qualidade de fibras e análise econômica. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, p. 1135-1144, 2009. Suplemento 1.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.
- ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 393-402, 2007.
- EPSTEIN, E. Silicon. *Annual Review of Plant Biology*, v. 50, p. 641-664, 1999.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: Um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, p. 36-41, 2008.
- GE, J. J.; WU, R.; SHI, X. H.; YU, H.; WANG, M.; LI, W. J. Biodegradable polyurethane materials from bark and starch. II. Coating materials for controlled-release fertilizer. **Journal of Applied Polymer Science**, Bognor Regis, v. 86, n. 12, p. 2948-2952, 2002.
- GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; PERIN, A.; SANTINI, J. M. K. Adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, p. 643-648, 2011.
- JAMES, A. E.; SOJKA, R. E. Matrix based fertilizers reduce nitrogen and phosphorus leaching in three soils. **Journal of Environmental Management**, Cambridge, v. 87, n. 3, p. 364-372, 2008.

LUZ, P. H. DE C.; PERES, C. E. B.; YASUDA, M.; FERRAZ, M. R.; CASADEI, R. A.; LUNARDI, L. J. Avaliação do desempenho do fonólito via mineral e no enriquecimento da torta de filtro em soqueira de cana-de-açúcar. In: **Anais... II CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM**, Poços de Caldas – MG, 2013.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science*, v. 11, n. 8, p. 392-397, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira de Potassa e do Fósforo, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3. ed. San Diego: Academic Press, 2012.

NI, B. L.; LIU, M. Z.; LÜ, S. Y. Multifunctional slow-release urea fertilizer from ethylcellulose and superabsorbent coated formulations. **Chemical Engineering Journal**, Nova York, v. 155, n. 3, p. 892-898, 2009.

PAGLIA, E. C.; SERRAT, B. M.; FREIRE, C. A. DE L.; VEIGA, A. M.; BORSATTO, R. S. Doses de potássio na lixiviação do solo com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Mosoró, v. 11, p. 94-100, 2007.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

RESENDE, A. V.; MARTINS, E. S.; OLIVERA, C. G.; SENA, M. C.; MACHADO, C. T. T.; KIMPARA, J. D.; OLIVEIRA FILHO, E. C. Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas “in natura” na agricultura brasileira. **Espaço e Geografia**, v. 9, n. 1, p. 19-42, 2006.

ROSOLEM, C. A.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; SILVA, N. M.; CARVALHO, L. H. Algodão. In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS Jr., D.; BOARETTO, R. M.; RAIJ, B. van. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 2022, p. 160-164.

ROSSA, U. B.; ANGELO, A. C.; BOGNOLA, I. A.; WESTPHALEN, D. J.; MILANI, J. E. F. Fertilizante de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 1, p. 85-96, 2015.

SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; BIANCHET, P.; VARGAS, V. P.; PICOLI, G. J. Efeito de doses de cloreto de potássio sobre a germinação e o crescimento inicial do milho, em solos com texturas contrastantes. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 8, n. 2, p. 187-197, 2009.

SANTOS, H. G. DOS; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. DOS; OLIVEIRA, V. A. DE; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. DE; ARAUJO FILHO, J. C. DE;

OLIVEIRA, J. B. DE; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 5ª ed., Brasília: EMBRAPA Solos, 356p.

SHAVIT, V.; REISS, M.; SHAVIV, A. Wetting mechanisms of gel-based controlled-release fertilizers. **Journal of Controlled Release**, Nottingham, v. 88, n. 1, p. 71-83, 2002.

SOUSA, D. M. G.; REIN, T. A. **Manejo da fertilidade do solo para culturas anuais: experiências no cerrado**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, jun. 2009. 28 p. (EMBRAPA-CPAC. Informações Agronômicas, 126).

TEIXEIRA, A. M. S.; SAMPAIO, J. A.; GARRIDO, F. M. S.; MEDEIROS, M. E. Technological characterization of phonolite rock to be applied as source of nutrients to the Brazilian Agriculture. In: MONTEIRO, S. N.; VERHULST, D. E.; ANYALEBECHI, P. N.; POMYKALA, J. A. (editors), **Proc. EPD Congress 2011**. John Wiley & Sons, Inc., USA, v. 1, p. 81-86, 2011.

Tiago da Silva Rodrigues. (2024). Dissertação sobre o uso de fonolito no cultivo de milho. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Disponível em: https://repositorio.ufms.br/bitstream/123456789/4567/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o_Tiago%20da%20Silva%20Rodrigues.pdf

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 254–263, 2011.

VALOR. (2023). Produção e exportação de algodão no Brasil. Valor Econômico.

Vieira, L. S.; Teixeira, M. F. Fertilização potássica no Cerrado: impactos da lixiviação e alternativas para o manejo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 28, n. 3, p. 761-770, 2004.

YARA BRASIL. Resumo nutricional do algodão. Disponível em: <https://www.yarabrasil.com.br>. Acesso em: 14 dez. 2024.

YARA. Manejo nutricional do algodão: Potássio e outros nutrientes essenciais. Disponível em: <https://www.yara.com.br>. Acesso em: 14 dez. 2024.

Werle, E., et al. (2008). Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(2), 125-133. SciELO.

Wu, L., & Liu, X. (2008). Perdas de potássio por lixiviação em solos cultivados com milho e arroz. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(2), 104-109.

Yan, T. X. et al. Impacto dos fertilizantes no custo de produção e na produtividade das culturas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 3, p. 156-165, 2008.

Zahrani, H. S. (2000). Efeito de fertilizantes revestidos por polímeros na eficiência de absorção de nutrientes. Universidade de King Saud.

.