

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CAMPUS DE DRACENA

Lucila de Sousa Vilela

Médica Veterinária

PRODUÇÃO DE CAPIM MIYAGI ADUBADO COM
POLIHALITA BRITADA OU GRANULADA COM DISTINTAS
GRANULOMETRIAS

Dracena - SP

2025

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CAMPUS DE DRACENA**

Lucila de Sousa Vilela

Médica Veterinária

**PRODUÇÃO DE CAPIM MIYAGI ADUBADO COM
POLIHALITA BRITADA OU GRANULADA COM DISTINTAS
GRANULOMETRIAS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas -Unesp, Câmpus de Dracena como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Animal.

Orientador: Prof. Dr. Reges Heinrichs

Dracena - SP

2025

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
Campus de Dracena

V699p

Vilela, Lucila de Sousa

Produção de capim Miyagi adubado com Polihalita britada ou granulada com distintas granulometrias / Lucila de Sousa Vilela. -- Dracena: [s.n.], 2025.

48 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Dracena. Área do conhecimento: Produção Animal, 2025.

Orientador: Reges Heinrichs

1. Fertilizantes. 2. Cloreto de Potássio. 3. Pastagens. 4. Adubação. I. Título.

Bibliotecário Fábio S. Rosas
CRB 8/6665

IMPACTO ESPERADO NA SOCIEDADE

Com o trabalho o impacto esperado na sociedade está relacionado com a melhoria na produtividade agrícola por meio do uso da polihalita, um fertilizante mineral rico em potássio, cálcio, magnésio e enxofre, nutrientes essenciais para o crescimento de forrageiras utilizadas na alimentação animal.

A granulometria do fertilizante pode aumentar a eficiência de absorção dos nutrientes, resultando em pastagens mais produtivas e de melhor qualidade, isso beneficia o setor produtivo, reduzindo custos com suplementação alimentar.

Além disso, a utilização do fertilizante mineral natural, representa uma alternativa sustentável em relação aos fertilizantes sintéticos, reduzindo a utilização de fontes fósseis em processos industriais.

A melhoria das pastagens impacta diretamente a pecuária, aumentando sua produtividade e gerando maior renda para produtores. Dessa forma, além dos benefícios diretos à agricultura, o estudo favorece o desenvolvimento socioeconômico das comunidades rurais, fortalecendo a sustentabilidade e a eficiência do setor.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Dracena



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: PRODUÇÃO DE CAPIM MIYAGI ADUBADO COM POLIHALITA BRITADA OU GRANULADA COM DISTINTAS GRANULOMETRIAS

AUTORA: LUCILA DE SOUSA VILELA

ORIENTADOR: REGES HEINRICHS

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ciências, pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
REGES HEINRICHS
Data: 24/03/2025 09:00:23 -0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Assoc. REGES HEINRICHS (Participação Presencial)
Departamento de Produção Vegetal - DPV / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas - Unesp - Câmpus de Dracena

Documento assinado digitalmente
CECILIO VIEGA SOARES FILHO
Data: 24/03/2025 17:25:22 -0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Titular CECILIO VIEGA SOARES FILHO (Participação Virtual)
Departamento de Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - UNESP - Araçatuba

Paulo Pagliari Digitally signed by Paulo Pagliari
Date: 2025.03.24 11:15:44 -05'00'

Associate Professor PAULO HUMBERTO PAGLIARI (Participação Virtual)
Department of Soil, Water, and Climate / Southwest Research and Outreach Center, College of Food, Agricultural and Natural Resource Sciences, University of Minnesota

Dracena, 06 de março de 2025.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Lucila de Sousa Vilela, nascida em 10 de julho de 1986, na cidade de Ilha Solteira/SP. Graduada em Medicina Veterinária no ano de 2016 na Faculdade Fundação Educacional de Andradina, na cidade de Andradina/SP. Especialização em Clínica Médica e Cirúrgica de Pequenos Animais no ano de 2020, na Faculdade Qualittas, na cidade de São José do Rio Preto/SP.

DEDICATÓRIA

Eu dedico este trabalho ao meu marido Fernando Shintate Galindo, minha mãe Tânia Regina de Sousa Vilela e meu pai Ewerton Corrêa Vilela, por todo o apoio e incentivo.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Tania Regina de Sousa Vilela e meu pai Ewerton Corrêa Vilela pelo amor incondicional e apoio em cada etapa desta jornada, meu marido, Fernando Shintate Galindo, pela paciência, incentivo e por compartilhar comigo tantos ensinamentos ao longo desse percurso.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Reges Heinrichs, pela oportunidade, pelo suporte incansável, pelas valiosas orientações e pelo incentivo constante.

Aos membros da banca, que gentilmente aceitaram meu convite, dedicando seu tempo e conhecimento para contribuir com este trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Animal, da Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT) da UNESP – Câmpus de Dracena, pela oportunidade e estrutura oferecidas.

Aos professores do programa, por compartilharem seu conhecimento e contribuírem para minha formação acadêmica e profissional.

GENAP (Grupo de Experimentação em Nutrição e Adubação de Plantas) e a todos os seus membros, por toda a colaboração e aprendizado. Em especial, minha gratidão às amigas Gabriela da Silva Freitas e Flaviane Wanessa Lopes Fernandes, pela amizade sincera e pelo apoio ao longo dessa trajetória.

Aos profissionais do setor administrativo, técnicos, professores e demais colaboradores da FCAT/UNESP – Dracena, por toda a ajuda, suporte e carinho.

Às minhas queridas amigas da pós-graduação, Flávia Rodrigues Martinez, Julia Pachoreli Ferro Duarte, Kátia Lirian Rocha Souza e Caroline Gomes Azevedo, pelo companheirismo, amizade, momentos de descontração e pelo acolhimento nos dias difíceis.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

“A menos que modifiquemos à nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”

(Albert Einstein)

RESUMO

A polihalita é um fertilizante natural, que pode ser disponibilizada na forma de grânulos, apresenta solubilidade e efeito salino menor que o KCl, e que além de K, apresenta em sua composição Ca, Mg e S. Nesse contexto, O objetivo deste projeto foi avaliar o potencial fertilizante da polihalita britada ou granulada, sob distintas granulometrias, na produção de capim Miyagi (*Megathyrsus maximus* jacq cv. Miyagi), concentração foliar de nutrientes e parâmetros biométricos, número de perfilhamento, índice de clorofila foliar (SPAD), altura media, massa seca da parte aérea e massa seca de raízes. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, na Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, UNESP, Campus de Dracena – SP. O estudo foi conduzido em vasos com capacidade para 4 dm³ de solo em Argissolo Vermelho amarelo distrófico, com textura arenosa. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições e sete tratamentos: T1- Sem adubação potássica, T2 - polihalita granulada granulometria 2,0 - 2,8 mm, T3 - polihalita granulada granulometria 2,8 - 4,0 mm; T4 polihalita britada, granulometria 2,0 - 2,8 mm; T5 polihalita britada, granulometria 2,8 - 4,0 mm; T6 - polihalita granulada (33,33%) + KCl (66,67%), granulometria 2,0 - 2,8 mm; T7 - KCl, granulometria 2,0 - 2,8 mm. Os tratamentos com polihalita apresentaram maior número de perfilhos no segundo e terceiro cortes. Enquanto o índice de clorofila foliar (SPAD), altura de plantas e massa seca de parte aérea no terceiro corte. Massa seca de raízes, resíduo e massa seca de parte área acumulada os tratamentos com polihalita (granulada e britada) sobressaíram em relação ao controle e o tratamento com KCl. Nos dois cortes, o acúmulo de macronutrientes, os tratamentos com polihalita (granulada e britada) mantiveram teores mais elevados de nutrientes, especialmente K, Ca, Mg e S, quando comparados ao controle e ao KCl. A absorção de nutrientes diminuiu no terceiro corte para todos os tratamentos, mas a polihalita mostrou uma maior eficiência na liberação de nutrientes, em particular K, Ca e S. A aplicação de KCl apresentou uma boa absorção inicial de K. Estes resultados reforçam a viabilidade do uso da polihalita como fonte de fertilizante para o manejo de pastagens, não apresentando diferença entre as granulometrias estudadas e entre as formas granulada e britada.

Palavras-chave: Fertilizantes. Cloreto de Potássio. Pastagens. Adubação.

ABSTRACT

Polyhalite is a natural fertilizer, which can be made available in granular form, has solubility and a lower saline effect than KCl, and, in addition to K, contains Ca, Mg, and S in its composition. In this context, the objective of this project was to evaluate the fertilizing potential of crushed or granular polyhalite, under different particle sizes, in the production of Miyagi grass (*Megathyrsus maximus jacq cv. Miyagi*), nutrient leaf concentration, and biometric parameters, tillering number, leaf chlorophyll index (SPAD), average height, shoot dry mass, and root dry mass. The experiment was developed in a greenhouse, at the Faculty of Agricultural and Technological Sciences, UNESP, Dracena Campus – SP. The study was conducted in pots with a capacity of 4 dm³ of soil in Dystrophic Yellow-Red argisol, with a sandy texture. The experimental design was in randomized blocks, with four repetitions and seven treatments: T1- Without potassium fertilization; T2- Granular polyhalite particle size 2.0-2.8 mm; T3- Granular polyhalite particle size 2.8-4.0 mm; T4- Crushed polyhalite, particle size 2.0-2.8 mm; T5- Crushed polyhalite, particle size 2.8-4.0 mm; T6- Granular polyhalite (33.33%) + KCl (66.67%), particle size 2.0-2.8 mm; T7- KCl, particle size 2.0-2.8 mm. The treatments with polyhalite showed a greater number of tillers in the second and third cuts, while the leaf chlorophyll index (SPAD), plant height, and shoot dry mass in the third cut. Root dry mass, residue, and accumulated shoot dry mass, the treatments with polyhalite (granular and crushed), stood out compared to the control and the KCl treatment. In the two cuts, the accumulation of macronutrients, the treatments with polyhalite (granular and crushed), maintained higher levels of nutrients, especially K, Ca, Mg, and S, compared to the control and KCl. Nutrient absorption decreased in the third cut for all treatments, but polyhalite showed greater efficiency in nutrient release, particularly K, Ca, and S. The application of KCl presented good initial absorption of K. These results reinforce the viability of using polyhalite as a fertilizer source for pasture management, showing no differences between the particle sizes studied and between the granular and crushed forms.

Keywords: Fertilizers. Potassium Chloride. Pastures. Fertilization

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	OBJETIVOS	14
3.	REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1.	<i>Megathyrsus maximus</i> jacq cv. Miyagi	15
3.2.	Importância do potássio na adubação	15
3.3.	Características da polihalita	17
3.4.	Polihalita como fertilizante	17
4.	MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1.	Local do experimento e espécie forrageira	19
4.2.	Coleta do solo	20
4.3.	Instalação do experimento	23
4.4.	Delineamento experimental e tratamentos	24
4.4.1.	Parâmetros avaliados	25
4.4.2.	Produção de massa seca de forragem	25
4.4.3.	Medidas do teor de clorofila	27
4.4.4.	Concentração de nutrientes	28
4.4.5.	Teores N-total foliar	30
4.4.6.	Produção de massa seca de raízes	31
4.5.	Análise estatísticas	32
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1.	Número de perfilhos, índice relativo de clorofila (SPAD), altura de plantas e produção de massa seca de parte aérea.	34
5.2.	Massa seca de parte aérea acumulada primeiro, segundo e terceiro corte, produção de massa seca de resíduo e massa seca de raízes.	36
5.3.	Concentrações de macronutrientes, primeiro e terceiro corte.	37
5.4.	Acumulo de macronutrientes, primeiro e terceiro corte.	39
6.	CONCLUSÕES	43
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1 INTRODUÇÃO

As pastagens no Brasil são extremamente importantes para a produção bovina, sendo considerada a base alimentar do rebanho, representando a fonte mais barata para produção de proteína animal (Fernandes *et al.*, 2015; Galindo *et al.*, 2018). Considerando todas as culturas agrícolas no país, as pastagens, nativa ou implantada, representam a maior área do Brasil. Estima-se que cerca de 154 milhões de hectares são cultivados com pastagem (IBGE, 2022), equivalente a cerca de 3,5 vezes a área de cultivo de soja, segundo maior cultivo do país (cerca de 45 milhões de hectares) (Conab, 2024).

Grande parte das pastagens apresentam algum grau de degradação, devido as falhas na correção do solo, falta de adubação, produção agropecuária extensiva, entre outras. Assim, a demanda por tecnologias e manejos para recuperação dessas áreas, a utilização de fertilizantes em pastagens para produção animal são premissas para sustentabilidade do sistema (Euclides *et al.*, 2007; Benett *et al.*, 2008; Silveira *et al.*, 2010; Silveira *et al.*, 2015; Galindo *et al.*, 2018).

Em virtude da importância destacada da pecuária, torna-se fundamental o uso de pastagens de alta qualidade. Entretanto, a limitada disponibilidade de nutrientes no solo restringe a produtividade, tornando o uso de fertilizantes um pratica essencial para atingir altos níveis de produção de forragem de qualidade (Difante *et al.*, 2011). Entre os nutrientes aplicados na adubação de pastagens, o potássio possui papel fundamental no desenvolvimento de plantas, incluindo efeitos sobre a síntese e regulação de enzimas, compostos orgânicos, controle das relações hídricas, atividade estomática, fotossíntese, transporte, sinalização celular, resposta aos estresses hídrico, térmico e salino (Oosterhuis *et al.*, 2014).

A fonte mais utilizada na adubação é o cloreto de potássio, que apresenta algumas limitações relacionadas a alta solubilidade, presença de cloreto e elevado potencial osmótico (Alves *et al.*, 2007). Como alternativa, a polihalita que é um fertilizante mineral natural, multinutrientes, composto por potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) (Yermiyahu *et al.*, 2017), nutrientes essenciais, exigidos pelas culturas em grandes quantidades. A polihalita apresenta menor solubilidade em relação com o cloreto de potássio (Kunhikrishnan *et al.*, 2016), sendo avaliada em trabalhos buscando informações sobre o potencial fertilizante em diversos ambientes e culturas como batata, tomate (Mello *et al.*, 2018), Milho (Almeida *et al.*, 2021), cana-

de açúcar (Herrera, 2019), soja (Melgar *et al.*, 2018), em solos sob cerrado (Dal Molin *et al.*, 2019).

Entretanto, envolvendo o efeito fertilizante da polihalita na produção de pastagens ainda é restrito e necessita de mais informações sobre seu potencial de utilização.

Neste contexto, o presente estudo tem por objetivo avaliar a polihalita sob distintas granulometrias como fertilizante fornecedor de nutrientes K, Ca, Mg e S para o capim Miyagi e seu efeito na concentração de nutrientes, altura de plantas, índice relativo de clorofila (SPAD), número de perfilhos, produção de massa seca de parte aérea, produção de massa seca raízes e massa seca de parte aérea acumulada.

Diante do exposto, a hipótese do trabalho foi que a polihalita é um mineral com K, Ca, Mg e S, que poderá ser utilizado na adubação de capim miyagi e contribuirá para melhorar o estado nutricional das plantas e aumentar a produção de forragem.

2 OBJETIVOS

Avaliar a polihalita sob distintas granulometrias como fertilizante fornecedor de nutrientes K, Ca, Mg e S para o capim Miyagi e seu efeito na concentração foliar de nutrientes, altura de plantas, índice relativo de clorofila (SPAD), número de perfilhos, produção de massa seca de parte aérea, produção de massa seca raízes e massa seca de parte aérea acumulada.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 *Megathyrus Maximus* Jacq cv. Miyagi

Entre as gramíneas forrageiras, a espécie *Megathyrus maximum*, destaca-se por possuir cultivares produtivas de excelente qualidade, adaptada às diferentes regiões e climas (Silva *et al.*, 2020). Possui ciclo perene, crescimento ereto, porte de médio a alto (2,5m), intenso perfilhamento, e suas folhas podem atingir de 5 a 120 cm de largura. O ciclo de florescimento é médio, e produz grande quantidade de sementes, pertencem à família Poaceaea, subfamília Panicoideae e tribo Paniceae, sendo uma forrageira tropical, perene, com ciclo C4 (Costa *et al.*, 2018; Araujo, 2023).

O capim Miyagi foi desenvolvida por meio de seleção e melhoramento genético para aprimorar características específicas e desejáveis para fins agrícolas, apresentando média a alta exigência de fertilidade do solo, tolerante a seca, resistente a cigarrinha e boa digestibilidade (Magalhães, 2023).

A produção média *Megathyrus maximus* jacq cv. Miyagi é de 33 a 41 t/ha/ano de matéria seca (Jank *et al.*, 1995), com teores de proteína bruta e entre 8 e 14% em matéria seca, dependendo da época do ano (Araujo *et al.*, 2024).

A altura de pastejo de 90 a 100 cm, podendo chegar a 3 m de altura, a temperatura ideal para o seu desenvolvimento varia de 19,1 a 22,9 °C (Gomide, 1994).

O capim Miyagi se assemelha ao capim Mombaça, principalmente em relação a estrutura do dossel e a composição bromatológica (Tavares, 2019). Por se tratar de uma nova cultivar, até o momento poucos foram os resultados obtidos em relação a sua produção e seus efeitos na produção animal (Magalhães, 2023).

3.2 Importância do potássio na adubação

O potássio (K) é um macronutriente essencial que desempenha papéis importantes nas plantas, incluindo osmorregulação, regulação do potencial de membrana, cotransporte de açúcares, adaptação ao estresse e crescimento. Embora existam vários mecanismos de transporte para o íon potássio (K⁺), a regulação desse íon em condições de baixo e alto teor externo ainda não é completamente compreendida. (Sardans; Peñuelas, 2021). O potássio também exerce funções regulatórias em processos bioquímicos relacionados à síntese de proteínas, ao metabolismo de carboidratos e à ativação de enzimas (Hasanuzzaman *et al.*, 2018).

Diversos processos fisiológicos, como a fotossíntese e o controle estomático, são influenciados pela presença de K. Além disso, o potássio contribui para a tolerância ao estresse abiótico, mantendo a homeostase iônica e o equilíbrio osmótico em condições de salinidade (Assaha *et al.*, 2017; Kumar *et al.*, 2020). Ele regula a abertura dos estômatos durante períodos de seca, ajudando as plantas a se adaptarem a situações de estresse hídrico (Aksu; Altay, 2020; Pathak *et al.*, 2020). Condições de estresse abiótico, como salinidade, seca, temperaturas extremas e resfriamento, geram espécies reativas de oxigênio (ROS). Evidências crescentes sugerem que aumentar o status nutricional de K⁺ nas plantas pode estar significativamente associado à tolerância ao estresse abiótico, ao reduzir os níveis de ROS (Pandey; Mahiwal, 2020).

A deficiência de K resulta em redução na fixação fotossintética de CO₂, bem como no transporte e consumo de fotoassimilados (Tränkner *et al.*, 2018), levando a danos na membrana e na clorofila em plantas com falta de K. O controle do K está relacionado às atividades das enzimas envolvidas na desintoxicação de ROS (Hasanuzzaman *et al.*, 2020). Além disso, o potássio ativa a enzima adenosina trifosfato (ATP) sintase (Juhaszova *et al.*, 2019), que afeta a H⁺-ATPase da membrana plasmática (PM) em função da concentração de K. O potássio (K) estimula alterações rápidas e incessantes em genes que controlam a resposta dos fitohormônios e desempenha uma função na influência das respostas das plantas à salinidade (Arif *et al.*, 2020).

A aplicação de fertilizantes potássicos é crítica em solos que apresentam deficiência desse nutriente. Estudos têm mostrado que a ausência de potássio pode resultar em plantas de menor porte, clorose foliar e redução significativa na produção de grãos e frutos (Zörb *et al.*, 2014). Pettigrew (2008) constatou que a adubação potássica pode melhorar significativamente a qualidade dos frutos em diversas culturas, como o tomate e a batata, influenciando positivamente o teor de sólidos solúveis e a firmeza dos tecidos. A pesquisa também destaca que o potássio é importante para o transporte de açúcares da folha para os órgãos de armazenamento, o que é determinante para a qualidade final da produção. A eficiência do potássio utilizado pelas plantas depende de fatores como o tipo de solo, sistema radicular da planta e práticas de manejo, solos arenosos, tendem a ter uma menor capacidade de retenção de potássio, aumentando a necessidade de aplicação regular de fertilizantes

(Brady; Weil, 2013). Contudo, sua aplicação excessiva leva a consequências ambientais e econômicas, uma vez que solos com excesso de potássio podem interferir na absorção de outros nutrientes, como cálcio e magnésio, levando a desequilíbrios nutricionais nas plantas (Zörb *et al.*, 2014).

3.3 Características da polihalita

A polihalita é um mineral natural que contém sulfato de K, Ca, Mg e S com a fórmula química $(K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O)$, apresentando 19% de S, 14% de K_2O , 17% de Ca e 6% de Mg (Yermiyahu *et al.*, 2017). É um mineral marinho evaporativo solúvel, coloração branco a cinza, embora possa ser vermelho pela presença de óxidos de ferro. Caracteriza-se por ser um cristal único e complexo e aparece em forma de pedaços maciços, fibrosos e, as vezes, como cristais tabulares (Yermiyahu *et al.*, 2017). Foi descoberta em 1818 por Friedrich Stromeyer em Salzburg, Áustria, e seu uso como fertilizante teve início em 1932, em um experimento que avaliava a disponibilidade do K para as plantas (Fraps, 1932). Desde então, seu uso como fertilizante tem sido considerado na agricultura (Pavuluri *et al.*, 2017.; Yermiyahu *et al.*, 2017). No entanto, a expansão para sua utilização de maneira intensiva na agricultura é recente. Seus nutrientes são liberados mais lentamente quando comparada com fontes de fertilizantes mais solúveis, sendo eficaz em solos ácidos e inférteis (Barbarick, 1991). O uso da polihalita tem se mostrado semelhante ou superior ao cloreto de potássio (KCl) e a misturas de outras fontes solúveis, sendo eficiente no fornecimento de K, Ca, Mg, S (Dal Molin *et al.*, 2019). É considerada um meio adicional para melhorar a disponibilidade de K no solo, podendo substituir os fertilizantes à base de KCl (Melgar *et al.*, 2018).

3.4 Polihalita como fertilizante

Estudos que demonstram a eficácia da polihalita na agricultura, devido à sua composição rica em K, Ca, Mg e S, nutrientes essenciais para o crescimento vegetal (Yermiyahu *et al.* (2017). A polihalita oferece uma vantagem significativa em relação ao KCl, que fornece apenas potássio. Além disso, foi verificado que o uso de polihalita pode melhorar a produtividade em culturas como amendoim (Tan *et al.*, 2022) e batata, (Mello *et al.*, 2018) promovendo maior qualidade de crescimento devido à

presença de múltiplos nutrientes em comparação com fertilizantes convencionais de potássio.

Singh *et al.* (2023) investigaram a otimização do uso de polihalita industrializada no sistema de cultivo de milho-trigo em duas regiões distintas da Índia, as planícies superiores e as planícies trans-indo-gangéticas. Os resultados revelaram que a aplicação de polihalita industrializada teve impactos positivos e significativos na produtividade do milho e do trigo, em ambas as regiões. Houve aumento na absorção de nutrientes pelas plantas, especialmente potássio, magnésio e enxofre, contribuindo para o melhor desenvolvimento e rendimento das culturas, representando uma alternativa para aprimorar a produtividade do sistema de cultivo de milho-trigo.

Na cultura da batata, estudos sugerem que a polihalita pode ser utilizada como fonte de potássio, favorecendo o aumento da produtividade e a qualidade dos cultivos (Mello *et al.*, 2018).

Na avaliação da eficiência agrônômica, identificaram que na mistura de KCl e polihalita industrializada apresentou melhores resultados no fornecimento de nutrientes adicionados (K, Ca, Mg e S), indicando que a combinação das duas fontes pode ser utilizada para melhor aproveitamento pela cana-de-açúcar. Além disso, a polihalita industrializada devido a liberação lenta (menor solubilidade), pode proporcionar maior efeito residual em comparação com o KCl.

No café, foi avaliada a polihalita industrializada quanto a produtividade e qualidade do café colombiano. Constatou-se que a aplicação polihalita industrializada aumentou a produtividade do café cereja. Além disso, os grãos de café apresentaram boa qualidade, com parâmetros de qualidade da bebida, como acidez, corpo e equilíbrio, superando os níveis desejados em todos os tratamentos. Com base nos resultados, os autores consideraram que a polihalita industrializada pode ser uma fonte alternativa de K, Ca, Mg e S para o café na Colômbia (González-osorio *et al.*, 2023).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local do experimento e espécie forrageira

O experimento foi conduzido em casa de vegetação (Figura 1) na Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT), no Campus de Dracena – SP (Figura 2), no período de fevereiro a maio de 2024, localizada na região oeste do Estado de São Paulo a 421 metros de altitude, latitude 21°29'0" S e longitude 51°32'1" O clima local é definido como Aw segundo a classificação de Koppen (Alvares *et al.*, 2023) (Figura 3). A espécie forrageira utilizada foi a *Megathyrsus maximus* jacq cv. Miyagi.

Figura 1 - Casa de vegetação/ FCAT



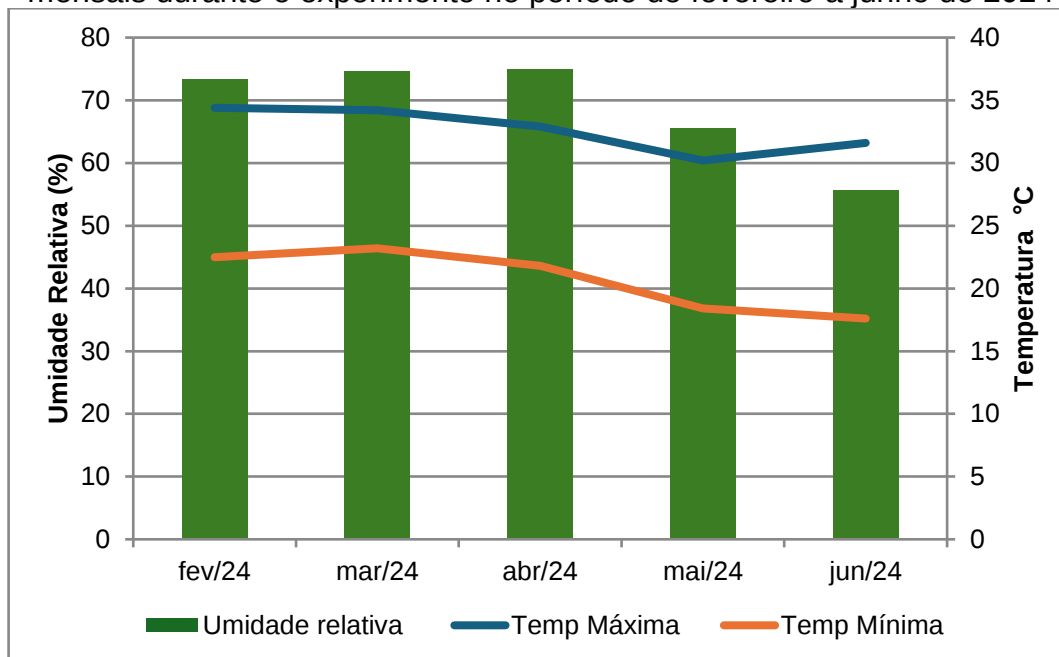
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 2 - Faculdade de Ciência Agrárias e Tecnológicas (FCAT)



Fonte: Unesp Dracena (Unesp, 2023)

Figura 3 - Temperaturas do ar máxima, mínima (°C) e umidade relativa mensais durante o experimento no período de fevereiro a junho de 2024



Fonte: Unesp (2024).

4.2 Coleta de solo

O solo é um Argissolo Vermelho amarelo distrófico com textura arenosa (Santos *et al.*, 2018). Realizou-se a coleta de 20 pontos de amostra de solo na profundidade de 0-0,20m, formando-se uma amostra composta, destorroada,

homogeneizada, seca ao ar e peneirada com malha de dois milímetros de abertura (Figura 4 e Figura 5).

Figura 4 - Coleta de solo em área experimental da Unesp Dracena / FCAT



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 5 - Coleta de solo em área experimental da Unesp Dracena / FCAT



Fonte: Elaborado pela autora.

A análise química, granulométrica e física do solo foi realizada segundo descrição de Raji *et al* (2001) e Teixeira *et al* (2017). Os nutrientes P, K, Ca e Mg foram utilizando o método da resina trocadora de íons; S-SO₄²⁻ pela extração com

solução de fosfato de cálcio; pH em CaCl_2 ; matéria orgânica por colorimetria; H + Al com solução tampão SMP; Al em KCl, os resultados estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultado da análise química de solo coletado na profundidade de 0 a 20 cm de profundidade

M.O.	Matéria orgânica	g dm^{-3}	14
pH	Cloreto cálcio	CaCl_2	4,6
P	Fósforo resina	mg dm^{-3}	4
K	Potássio	$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$	4,4
Ca	Cálcio	$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$	7
Mg	Magnésio	$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$	5
Al	Alumínio	$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$	0
H	Hidrogênio	$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$	21
H+Al	Hidrogênio + alumínio	$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$	21
SB	Soma de Bases	$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$	16,4
CTC	Capacidade de troca cátions	$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$	33,0
V%	Saturação por base	%	36
m%	Saturação por alumínio	%	0
S-SO ₄	Enxofre	mg dm^{-3}	2
B	Boro	mg dm^{-3}	0,10
Cu	Cobre	mg dm^{-3}	0,5
Fe	Ferro	mg dm^{-3}	23
Mn	Manganês	mg dm^{-3}	13,4
Zn	Zinco	mg dm^{-3}	0,7
Carbono	Carbono orgânico	g dm^{-3}	8,1
Ca/Mg	Relação Ca/Mg		1,4
K/CTC	Relação de K na CTC		13,3
Ca/CTC	Relação de Ca na CTC		21,2
Mg/CTC	Relação de Mg na CTC		15,2
Granulometria (Física)			
Argila		g kg^{-1}	73
Silte		g kg^{-1}	67
Areia Total		g kg^{-1}	860

Fonte: Elaborado pela autora.

A necessidade de calagem foi determinada pelo método de saturação por base (Quaggio *et al.*, 1985). O solo foi encubado empregando a relação 3:1, respectivamente, para os carbonados de cálcio e carbonato de magnésio, para elevar a saturação por bases para 70%. Para cada uma das repetições, foram colocados 4 dm^{-3} de solo em uma bandeja de plástico, com pipeta graduada foi adicionada a

solução carbonatada seguida por homogeneização. O solo foi transferido para vasos de polipropileno de cor preta, etiquetados, com papel toalha no fundo do vaso para evitar a perda de solo. A incubação para reação do calcário foi de 30 dias com umidade em 80% da capacidade de campo.

4.3 Instalação do experimento

Após o período de incubação, o solo foi novamente seco ao ar durante sete dias para a posterior aplicação dos tratamentos. Os nutrientes foram aplicados com pipeta graduada, conforme apresentado na Tabela 2 e na Figura 6. Os produtos utilizados nos tratamentos foram pesados e aplicados a seco, na forma física original de cada produto. Em seguida, o solo foi homogeneizado e transferido para o respectivo vaso previamente identificado e etiquetado.

As sementes da espécie *Megathyrsus maximus* Jacq. cv. Miyagi foram distribuídas uniformemente, na quantidade de 2 g por vaso, sobre a superfície do solo e, em seguida, cobertas com uma fina camada de terra (0,5 cm). Adicionou-se água deionizada para atingir 80% da capacidade de campo, garantindo a manutenção da umidade do solo. Após o período de estabelecimento das plantas, aproximadamente 10 dias após a semeadura, foi realizado o desbaste, permanecendo quatro plantas uniformes por vaso. O primeiro corte do capim Miyagi foi realizado aproximadamente 30 dias após a semeadura, e os demais cortes ocorreram em intervalos de cerca de 28 dias. O corte foi efetuado a 10 cm do colo da planta.

Tabela 2 - Doses de nutrientes utilizados no experimento em vasos com forrageiras.

Nutrientes	Fonte	Dose mg/dm ³	g/L ⁻¹
N ⁽²⁾	NH ₄ NO ₃	70	17,24 ⁽¹⁾
P	CaHPO ₄	200	32,51 ⁽¹⁾
B	H ₃ BO ₃	0,5	0,1128 ⁽¹⁾
Cu	CuSO ₄ .5H ₂ O	1,0	0,316
Mn	MnSO ₄ .H ₂ O	5,0	1,23
Zn	ZnSO ₄ .7H ₂ O	3,0	0,529

⁽¹⁾50 mL de solução por vaso de 4 dm³ de solo;

⁽²⁾ Aplicado um terço na semeadura e dois terços em cobertura.

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 6 - Aplicação dos nutrientes

Fonte: Elaborado pela autora.

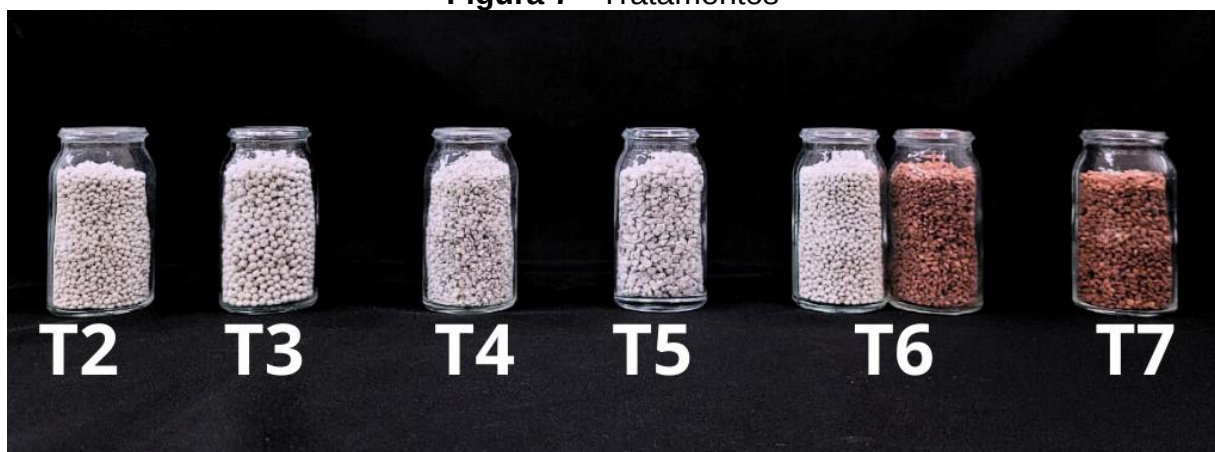
4.4 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação em um delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições e sete tratamentos. Os tratamentos foram conforme apresentados na Tabela 3 e Figura 7. A dose de K_2O definida para os tratamentos foi de 180 mg dm^{-3} (Tratamentos T2 a T7). A concentração de K_2O do KCl é de 60%, enquanto que a concentração de K_2O da polihalita é de 14%.

Tabela 3 - Tratamentos e granulometrias.

Tratamentos	Granulometria	Quantidades Aplicadas por vaso
T1 - Sem adubação potássica	-	-
T2 - Polihalita granulada	2,0 - 2,8	5,14 g
T3 - Polihalita granulada	2,8 - 4,0	5,14 g
T4 - Polihalita britada	2,0 - 2,8	5,14 g
T5 - Polihalita britada	2,8 - 4,0	5,14 g
T6 - Polihalita granulada (33.33%) + KCl (66.67%)	2,0 - 2,8	1,71g + 0,8 g
T7 - KCl	2,0 - 2,8	1,2 g

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7 - Tratamentos

Fonte: Elaborado pela autora.

4.4.1 Parâmetros avaliados

4.4.2 Produção de forragem

As avaliações de produção de massa seca de forragem foram realizadas a cada 28 dias aproximadamente, nos meses de março, abril e maio de 2024. Antes de as plantas serem colhidas, foi realizada a contagem do número de perfilhos (Figura 8), contando-se o número de perfilhos de 4 plantas por vaso. A leitura da altura das plantas foi realizada com uma trena milimétrica, medindo da base da planta até a decumbência da folha mais alta (Figura 9) e do índice relativo de clorofila (SPAD) (Figura 11). Foi realizada a coleta mediante o corte das plantas a 10 cm do colo da planta (Figura 10). Para as avaliações da forragem, foi realizada a mensuração total por vaso. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação de ar forçada, a 65°C, até peso constante para determinação da massa seca, conforme descrição de Silva e Queiroz (2002).

Figura 8 - Contagem de número de perfilhos



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 9 - Avaliação da altura das plantas.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 10 - Corte para avaliação da produção de massa seca



Fonte: Elaborado pela autora.

4.4.3 Medidas do índice de clorofila foliar

O índice relativo de clorofila foi determinado de forma indireta, efetuada em 10 lâminas foliares, no terço médio da primeira folha completamente expandida (no sentido do ápice para a base da planta), utilizando-se o equipamento clorofilômetro SPAD-502 Minolta® (Minolta câmera Co., 1989), imediatamente anterior ao primeiro, segundo e terceiro corte das plantas. (Figura 11) O valor SPAD para cada unidade experimental foi obtido pela média de 10 leituras realizadas em cada vaso.

Figura 11 - Leitura do índice relativo de clorofila (SPAD)



Fonte: Elaborado pela autora.

4.4.4 Concentração de nutrientes

As análises laboratoriais para determinação de concentração de macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea da forrageira foi realizada na massa seca e moída coletada no primeiro e terceiro corte. (Figura 12) as análises foram feitas nos métodos de colorimetria (P e S) (Figura 14) Espectrofotometria de Absorção Atômica (Figura 13) de acordo com Malavolta *et al.* (1997).

Figura 12 - Pesagem de massa seca da forrageira



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 13 - Espectrofotometria de Absorção Atômica



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 14 - Análises de colorimetria



Fonte: Elaborado pela autora.

4.4.5 Teores N- total foliar.

A massa de forragem seca teve o material moído e o teor de N-total foi determinado pela digestão sulfúrico seguido por destilação semi-micro Kjeldahl método (Sarruge e Haag 1974) (Figura 15). O acúmulo do nitrogênio foi calculado multiplicando a concentração pela quantidade de massa seca produzida de cada corte. As determinações seguirão a metodologia descrita por Malavolta *et al.*, 1997.

Figura 15 - Destilação de Nitrogênio



Fonte: Elaborado pela autora.

4.4.6 Massa seca de raízes

A avaliação do sistema radicular realizada ao final do experimento (Figura 16) as raízes foram separadas do solo através de lavagens sucessivas em água corrente em peneiras com malha de 1 mm até que não seja mais possível se identificar qualquer contaminação com solo. Logo a seguir as amostras de raízes foram seca em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até peso constante.

Figura 16 - Sistema radicular

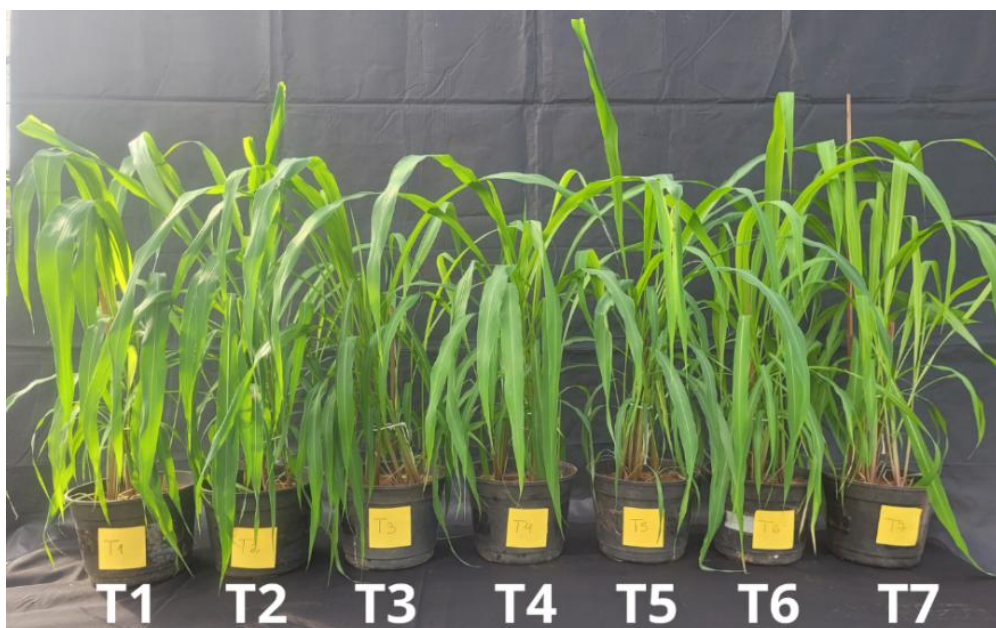


Fonte: Elaborado pela autora.

4.5 Análise Estatística

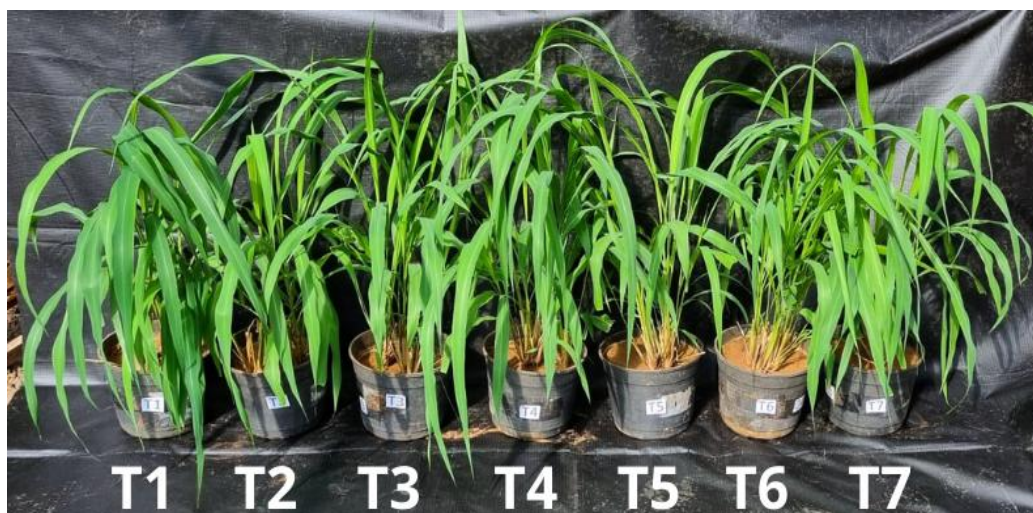
Os dados foram testados quanto à normalidade e homogeneidade dos erros da variância (Shapiro-Wilk e Levene), foi realizada ANOVA e as médias foram submetidos ao teste de comparação pelo teste Scott-Knott (5% probabilidade), usando-se o programa SISVAR (Ferreira, 2011) (Figura 17, 18 e 19)

Figura 17 - Primeiro corte do capim Miyagi



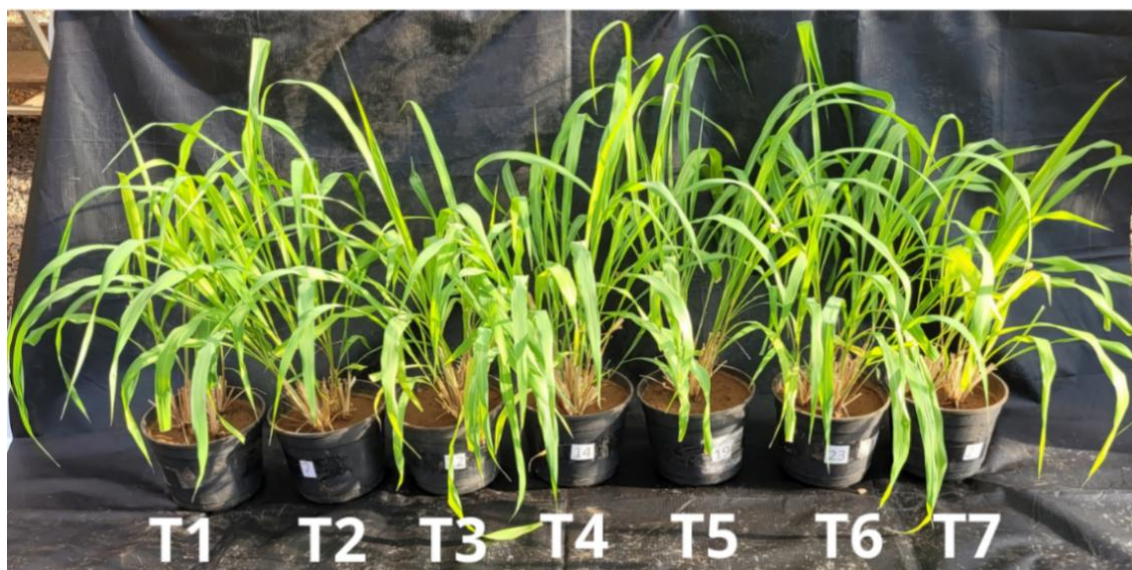
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 18 - Segundo corte do capim Miyagi



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 19 - Terceiro corte do capim Miyagi



Fonte: Elaborado pela autora.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Perfilhamento, Índice SPAD, Altura de Plantas e Produção de Massa Seca

No perfilhamento observou-se que o tratamento sem aplicação de fertilizantes potássicos apresentou o menor perfilhamento nos três cortes (Tabela 4). O potássio atua na ativação enzimática e importante em culturas como forrageiras, que apresentam grande produção de fitomassa, devido ao grande volume exportado do nutriente (Heinrichs *et al.*, 2016). No primeiro corte o tratamento T2 (polihalita granulada 2,0 – 2,8 mm) se destacou no número de perfilhos por vaso (17,50), sendo superior aos demais tratamentos, que não diferiram entre si (Tabela 4).

Enquanto no terceiro corte, o número de perfilhos do tratamento sem adubação potássica e com aplicação de KCl (T7) apresentou a menor produção. Possivelmente, devido à alta solubilidade do KCl, no terceiro cultivo já não havia mais nutriente suficiente para atender a demanda da forrageira. Nos tratamentos com polihalita, após dois cultivos, o perfilhamento se manteve vigoroso e não diferindo entre os tratamentos com a sua presença. A superioridade da polihalita no perfilhamento possivelmente pode ser atribuída ao fornecimento de nutrientes de maneira equilibrada e com liberação gradual. Isso pode favorecer um desenvolvimento mais robusto das raízes e da parte aérea (Yermiyahu *et al.*, 2017).

No índice SPAD na folha recém expandida e na altura de plantas no primeiro e segundo corte não foram observadas diferenças significativas. No entanto, os valores acima de 30 podem ser considerados como indicativos de bom estado nutricional das gramíneas (Soares Filho *et al.*, 2020), destacando que a polihalita pode contribuir para a nutrição mineral e o teor de clorofila, especialmente devido ao magnésio que compõe a molécula de clorofila (Farhat *et al.*, 2016).

Na altura de plantas, foi observado no terceiro corte que os tratamentos com polihalita T2 ao T6 resultaram em plantas mais altas em comparação ao controle (T1) e ao tratamento com KCl (T7). O tratamento T5 (polihalita britada) destacou-se, atingindo a maior altura média de (21,87 cm).

A produção de massa seca da parte aérea por vaso foi menor na ausência da adubação potássica (Tabela 4), enquanto na presença do nutriente, não houve diferença entre as fontes ou tamanho da granulometria da polihalita, embora a

solubilidade da polihalita seja menor em relação ao cloreto de potássio (Albadarin *et al.*, 2017).

Tabela 4 - Perfilhamento por vaso, índice SPAD, altura de plantas e massa seca de parte aérea do capim Miyagi em três cortes com aplicação de fontes de fertilizantes potássicos.

Tratamentos	Perfilhamento	SPAD	Altura de plantas (cm)	Massa seca de parte aérea (g vaso ⁻¹)
1° corte				
T1 - Controle	14,75 b	32,15	27,87	9,11 b
T2 - Polihalita granulada (2,0 -2,8 mm)	17,50 a	32,62	29,09	10,89 a
T3 - Polihalita granulada (2,8 – 4,0 mm)	13,75 b	31,20	29,56	11,36 a
T4 - Polihalita britada (2,0 -2,8 mm)	14,75 b	31,05	30,00	11,04 a
T5 - Polihalita britada (2,8 – 4,0 mm)	13,25 b	30,35	30,65	11,01 a
T6 - Polihalita granulada (33,33%) + KCl (66,67%) (2,0 -2,8 mm)	15,00 b	31,65	28,62	11,56 a
T7 - KCl (2,0 -2,8 mm)	15,25 b	30,12	29,16	11,27 a
Média geral	14,89	31,30	29,28	10,89
C.V. (%)	9,58	10,23	4,17	8,14
Pr>Fc	*	ns	ns	*
2° corte				
T1 - Controle	9,50 b	37,63	25,65	9,74 b
T2 - Polihalita granulada (2,0 -2,8 mm)	14,25 a	35,35	25,28	11,86 a
T3 - Polihalita granulada (2,8 – 4,0 mm)	14,75 a	36,25	24,94	11,53 a
T4 - Polihalita britada (2,0 -2,8 mm)	15,50 a	34,70	25,34	12,33 a
T5 - Polihalita britada (2,8 – 4,0 mm)	14,25 a	35,55	26,03	12,16 a
T6 - Polihalita granulada (33,33%) + KCl (66,67%) (2,0 -2,8 mm)	14,25 a	35,40	25,62	12,42 a
T7 - KCl (2,0 -2,8 mm)	12,50 a	33,20	24,19	13,15 a
Média geral	13,57	35,44	25,29	11,88
C.V. (%)	13,10	4,97	5,99	8,23
Pr>Fc	**	ns	ns	**
3° corte				
T1 - Controle	11,75 b	24,95 b	18,78 b	6,07 c
T2 - Polihalita granulada (2,0 -2,8 mm)	16,25 a	31,22 a	19,87 a	11,98 a
T3 - Polihalita granulada (2,8 – 4,0 mm)	15,25 a	30,82 a	20,06 a	12,36 a
T4 - Polihalita britada (2,0 -2,8 mm)	16,50 a	36,22 a	20,87 a	13,15 a
T5 - Polihalita britada (2,8 – 4,0 mm)	17,75 a	31,00 a	21,87 a	12,43 a
T6 - Polihalita granulada (33,33%) + KCl (66,67%) (2,0 -2,8 mm)	16,75 a	29,55 a	20,44 a	12,30 a
T7 - KCl (2,0 -2,8 mm)	11,75 b	20,97 b	17,28 b	7,33 b
Média Geral	15,14	29,25	19,88	10,80
C.V. (%)	16,73	16,09	8,03	7,38
Pr>Fc	*	**	*	**

Médias com letras diferentes nas colunas representam diferença estatística pelo teste de Scott-Knott (5%), ** = significativo a 1%; * = significativo a 5%; ns = não significativo; C.V. (%) = Coeficiente de variação.

Fonte: Elaborado pela autora.

5.2 Massa Seca de Parte aérea acumulada no primeiro, segundo e terceiro Corte, produção de massa seca de resíduo e massa seca de raízes

Tabela 5 - Produção de massa seca por vaso de raízes, resíduo e parte aérea acumulada de três cortes de capim Miyagi com aplicação de fontes de fertilizantes potássicos.

Tratamentos	Massa seca de raiz (g vaso ⁻¹)	Massa seca de resíduo (g vaso ⁻¹)	Massa seca de parte aérea acumulada (g vaso ⁻¹)
T1 - Controle	12,37 b	3,42 b	24,93 c
T2 – Polihalita granulada (2,0 -2,8 mm)	25,82 a	5,43 a	34,74 a
T3 - Polihalita granulada (2,8 – 4,0 mm)	20,04 a	4,96 a	35,25 a
T4 - Polihalita britada (2,0 -2,8 mm)	23,21 a	5,19 a	36,52 a
T5 - Polihalita britada (2,8 – 4,0 mm)	23,22 a	4,75 a	35,61 a
T6 - Polihalita granulada (33,33%) + KCl (66,67%) (2,0 -2,8 mm)	22,73 a	5,11 a	36,28 a
T7 - KCl (2,0 -2,8 mm)	17,73 b	4,61 a	31,76 b
Média geral	20,73	4,78	33,58
C.V. (%)	19,35	11,91	5,97
Pr>Fc	**	**	**

Médias com letras diferentes nas colunas representam diferença estatística pelo teste de Scott-Knott (5%), ** = significativo a 1%; * = significativo a 5%; ns = não significativo; C.V. (%) = Coeficiente de variação.

Fonte: Elaborado pela autora.

Na produção de massa seca de raízes, massa seca de resíduo e massa seca da parte aérea acumulada, nos tratamentos com presença de polihalita apresentaram as maiores médias e não diferiram entre si em função da granulometria, do processo industrial ou mistura com KCl (Tabela 5). Resultados semelhantes foram observados por Yermiyahu *et al.* (2017), quando a polihalita aumentou a massa seca de plantas de tomate e milho em comparação ao cloreto de potássio (KCl). Os autores atribuíram esse aumento à oferta simultânea de K, Ca, Mg e S, que atuam de maneira sinérgica no desenvolvimento das plantas. Os tratamentos sem adubação potássica (T1) apresentaram as menores médias (Tabela 5), evidenciando a importância do fornecimento balanceado dos nutrientes para crescimento e produção de biomassa (Epstein; Bloom, 2005).

O tratamento com KCl (T7) também melhorou os resultados em relação ao controle, mas apresentou valores menores do que os tratamentos com polihalita na produção de raízes e massa seca acumulada. A menor produção de raízes na presença de KCl pode estar associada ao efeito osmótico da fonte com cloreto,

inibindo o crescimento e desidratando as radículas prejudicando a absorção de nutrientes (Pavuluri *et al.*, 2017).

5.3 Concentrações de Macronutrientes, Primeiro e Terceiro Corte

A concentração dos macronutrientes na parte aérea, determinada em dois cortes da forrageira, esta compilada na Tabela 6. No primeiro corte, a concentração de N foi maior nos tratamentos com polihalita granulada e britada (T2, T4 e T5) polihalita + KCl (T6), o controle (T1) e KCl (T7) apresentaram as menores concentrações. O N é o principal nutriente responsável pela manutenção da produtividade, e sua deficiência é apontada como a principal causa de redução na produtividade e degradação de áreas cultivadas com gramíneas forrageiras (Vasconcelos, 2006). No terceiro corte, houve uma diminuição geral nos níveis de N, o controle (T1) teve o valor mais alto com 22,16 g kg⁻¹. Os tratamentos com polihalita (T2 a T7) variaram entre 10,75 e 15,37 g kg⁻¹.

Nas concentrações de P, o controle (T1) apresentou a maior concentração, com 4,22 g kg⁻¹, semelhante aos tratamentos T4 (Polihalita britada), T5 (Polihalita britada) e T7 (KCl) ambos com 4,24 g kg⁻¹, e 4,19 g kg⁻¹ e 4,30 g kg⁻¹ respectivamente. Possivelmente, no tratamento controle, ocorreu o efeito concentração, devida a menor produção de massa seca. No terceiro corte, a concentração de P caiu em todos os tratamentos contendo polihalita. O controle (T1) teve a maior concentração (5,27 g kg⁻¹), novamente apresentando efeito concentração, seguido de T7 (KCl) com 5,09 g kg⁻¹, enquanto os demais tratamentos variaram entre 3,00 e 3,22 g kg⁻¹.

No primeiro corte, as maiores concentrações de K foram observadas na aplicação de polihalita, sem diferir em relação a granulometria ou processamento industrial. Na mistura da polihalita com KCl ou somente KCl apresentou valores intermediários. O controle (T1) apresentou a menor concentração com 25,33 g kg⁻¹, indicando que a polihalita como tem a liberação lenta aumentou significativamente o aproveitamento do potássio, portanto pode ter contribuído para o aumento do rendimento (Singh *et al.*, 2023; Pavuluri *et al.*, 2017; Jamal *et al.*, 2010).

No terceiro corte a concentração de K não diferiu entre os tratamentos, apresentando valores abaixo de 15-30 g kg⁻¹, valor mínimo considerado como adequado para *Megathysus Maximus* (Quaggio *et al.*, 2022). Esses resultados

evidenciam que o capim miyagi uma cultura de grande extração e exportação de potássio, levando a deficiência nutricional, mesmo em solo com elevado teor inicial (Tabela 1), quando a reposição não for realizada adequadamente por meio da adubação.

Tabela 6 - Concentrações de macronutrientes em parte aérea do capim Miyagi no primeiro e terceiro corte, com aplicação de fontes de fertilizantes potássicos.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
----- g kg ⁻¹ -----						
1° corte						
T1 - Controle	24,18 b	4,22 a	25,33 c	5,93 a	5,62 a	0,66 d
T2 - Polihalita granulada (2,0 -2,8 mm)	25,73 a	3,87 b	35,15 a	4,08 b	4,65 b	4,12 a
T3 - Polihalita granulada (2,8 – 4,0 mm)	22,64 b	3,80 b	34,83 a	4,01 b	4,64 b	4,46 a
T4 - Polihalita britada (2,0 -2,8 mm)	28,33 a	4,24 a	36,36 a	4,30 b	4,92 b	3,73 b
T5 - Polihalita britada (2,8 – 4,0 mm)	25,63 a	4,19 a	34,76 a	4,64 b	4,77 b	4,10 a
T6 - Polihalita granulada (33,33%) + KCl (66,67%) (2,0 -2,8 mm)	27,38 a	3,64 b	32,68 b	6,34 a	4,31 c	2,00 c
T7 - KCl (2,0 -2,8 mm)	23,28 b	4,30 a	32,39 b	6,67 a	3,97 c	0,57 d
Média Geral	25,31	4,04	33,07	5,14	4,70	2,81
C.V. (%)	8,98	6,76	4,40	12,42	6,85	10,03
Pr>Fc	*	*	**	**	**	**
3° corte						
T1 - Controle	22,16 a	5,27 a	7,48	9,04 a	5,88	0,52 c
T2 - Polihalita granulada (2,0 -2,8 mm)	12,92 b	3,14 b	6,00	5,97 b	5,49	1,60 a
T3 - Polihalita granulada (2,8 – 4,0 mm)	13,03 b	3,00 b	5,61	5,38 b	5,13	1,21 a
T4 - Polihalita britada (2,0 -2,8 mm)	13,76 b	3,15 b	5,77	5,82 b	5,67	1,58 a
T5 - Polihalita britada (2,8 – 4,0 mm)	13,48 b	3,22 b	5,93	5,59 b	5,55	1,46 a
T6 - Polihalita granulada (33,33%) + KCl (66,67%) (2,0 -2,8 mm)	10,75 b	3,04 b	7,57	3,98 c	4,60	0,80 b
T7 - KCl (2,0 -2,8 mm)	15,37 b	5,09 a	6,08	4,09 c	4,89	0,31 c
Média Geral	14,49	3,70	6,34	5,70	5,32	1,07
C.V. (%)	18,33	7,27	20,35	7,99	11,63	22,05
Pr>Fc	**	**	ns	**	ns	**

Médias com letras diferentes nas colunas representam diferença estatística pelo teste de Scott-Knott (5%), ** = significativo a 1%; * = significativo a 5%; ns = não significativo; C.V. (%) = Coeficiente de variação.

Fonte: Elaborado pela autora.

Os nutrientes Ca e o Mg apresentaram comportamento semelhante, não diferindo entre os tratamentos com polihalita exclusivo (Tabela 6). Embora esses nutrientes estejam presentes na composição da polihalita, não foi constatado aumento de sua concentração na biomassa. Possivelmente devido a menor solubilidade a liberação durante o período não foi o suficiente para influenciar a absorção e a concentração dos dois nutrientes. Além disso, o fornecimento de Ca e Mg por meio da calagem pode ter ocultado o efeito da polihalita. Importante destacar que o Ca mantém a estabilidade da membrana da planta, a integridade celular, divisão celular e o

alongamento (White *et al.*, 2003) e regula várias vias de transdução de sinal e ativação que promovem o crescimento (Monshausen, 2012). Da mesma forma, o Mg também apoia a fotossíntese das plantas e a partição da glicose (Farhat *et al.*, 2016). Esses efeitos também estão associados ao aumento da produção de massa seca destacados anteriormente (Tabela 4).

Em relação ao S, tanto no primeiro quanto no terceiro corte, houve uma grande variação na concentração, respectivamente, 0,57 a 4,46 g kg⁻¹ e 0,31 a 1,60 g kg⁻¹ (Tabela 6). Os menores valores foram encontrados nos tratamentos controle (sem adubação potássica) e ou com aplicação de KCl, atingindo valores considerados deficiente no elemento (Cantarella *et al.*, 2022). Valores intermediários foram encontrados na mistura de polihalita e KCl, e o grupo das maiores concentrações com a presença de polihalita de forma exclusiva, atingindo médias maiores que 3 g kg⁻¹, consideradas adequadas para a nutrição da forrageira, especialmente no primeiro corte.

Esses resultados evidenciam que o mineral polihalita é uma fonte importante de S, pois a limitação de enxofre pode afetar severamente o rendimento e a qualidade das culturas agrícolas (Bhatt; Singh, 2021; Barbarick, 1991), apresentando comportamento distinto em relação ao potássio, a adubação com polihalita manteve a nutrição adequada com S após três cortes sucessivos sem adubação.

5.4 Acúmulo de Macronutrientes, Primeiro e Terceiro Corte

O N no primeiro corte os tratamentos não diferiram entre si (Tabela 7) os valores de N variaram de 220,75 mg vaso⁻¹ no controle (T1) até 316,37 mg vaso⁻¹ no tratamento T6 (polihalita + KCl). No terceiro corte, foi observada uma redução de N em todos os tratamentos, com o controle (T1) apresentando 134,57 mg vaso⁻¹ e T4 (Polihalita britada 2,0-2,8 mm) atingindo o maior valor de 180,94 mg vaso⁻¹.

Essa redução na absorção de N no terceiro corte sugere uma diminuição na disponibilidade de N ao longo do tempo ou uma menor demanda das plantas nesta fase de crescimento. O N é o nutriente mais exigido pelas plantas e apresenta maior potencial de resposta a adubação, ele é um componente essencial de várias estruturas, como proteínas, aminoácidos, enzimas e vitaminas, desempenhando um papel vital em processos como fotossíntese, respiração e crescimento de radículas

(Malavolta, 2006). Em relação ao P, tanto no primeiro quanto no terceiro corte, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 7 - Acúmulo de macronutrientes em parte aérea do capim Miyagi, no primeiro e terceiro corte com aplicação de fontes de fertilizantes potássicos

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
----- mg vaso ⁻¹ -----						
1° corte						
T1 - Controle	220,75	38,45	230,83 b	53,99 b	51,20	6,02 d
T2 - Polihalita granulada (2,0 -2,8 mm)	279,82	42,16	382,12 a	44,47 b	50,77	44,83 b
T3 - Polihalita granulada (2,8 – 4,0 mm)	258,42	43,21	396,43 a	45,61 b	52,90	50,56 a
T4 - Polihalita britada (2,0 -2,8 mm)	313,36	46,55	399,93 a	47,32 b	54,20	41,38 b
T5 - Polihalita britada (2,8 – 4,0 mm)	282,45	46,09	382,28 a	50,84 b	52,38	44,97 b
T6 - Polihalita granulada (33,33%) + KCl	316,37	42,39	378,62 a	73,85 a	49,88	23,17 c
(66,67%) (2,0 -2,8 mm)						
T7 - KCl (2,0 -2,8 mm)	264,10	48,57	365,33 a	75,01 a	44,86	6,53 d
Média Geral	276,47	43,92	362,22	55,87	50,88	31,07
C.V. (%)	14,68	10,02	9,12	13,83	10,33	12,94
Pr>Fc	ns	ns	**	**	ns	**
3° corte						
T1 - Controle	134,57 b	31,94	45,62 b	54,73 b	35,76 b	3,30 d
T2 - Polihalita granulada (2,0 -2,8 mm)	155,02 a	37,69	72,27 a	71,47 a	65,65 a	19,08 a
T3 - Polihalita granulada (2,8 – 4,0 mm)	160,63 a	37,23	68,40 a	66,35 a	63,13 a	14,64 b
T4 - Polihalita britada (2,0 -2,8 mm)	180,94 a	41,47	75,73 a	76,61 a	74,50 a	20,71 a
T5 - Polihalita britada (2,8 – 4,0 mm)	167,55 a	40,20	73,80 a	69,60 a	69,07 a	18,12 a
T6 - Polihalita granulada (33,33%) + KCl	133,45 b	37,46	93,60 a	49,10 b	56,64 a	9,86 c
(66,67%) (2,0 -2,8 mm)						
T7 - KCl (2,0 -2,8 mm)	110,68 b	37,56	44,60 b	30,12 c	35,78 b	2,27 d
Média Geral	148,98	37,65	67,72	59,71	57,22	12,57
C.V. (%)	17,80	11,68	26,98	8,68	12,04	16,29
Pr>Fc	*	ns	*	**	**	**

Médias com letras diferentes nas colunas representam diferença estatística pelo teste de Scott-Knott (5%), ** = significativo a 1%; * = significativo a 5%; ns = não significativo.; C.V. (%) = Coeficiente de variação. 26,98.

Fonte: Elaborado pela autora.

O K apresentou diferenças significativas, no primeiro e terceiro corte. No primeiro corte, os tratamentos com K na adubação apresentaram os maiores valores de extração do elemento, variando de 382,12 a 399,93 mg vaso⁻¹, enquanto no controle a extração foi de 230,83 mg vaso⁻¹. No terceiro corte, as maiores extrações foram nos tratamentos com polihalita na composição, independente da granulometria, processo industrial ou proporção com KCl, embora a quantidade extraída ter sido muito inferior ao observado no primeiro corte. Evidencia-se que há uma resiliência da polihalita no fornecimento de K ao longo do tempo, podendo ser atribuído a menor solubilidade desse fertilizante. Almeida *et al.* (2021) observaram que a fertilização com

polihalita é mais eficiente em fornecer K em sistemas de produção de soja e milho safrinha.

Os teores de Ca (Tabela 7) apresentaram diferenças significativas entre os cortes, no primeiro corte, os tratamentos T6 e T7 (KCl e Polihalita + KCl) mostraram os maiores valores, com 73,85 mg vaso⁻¹ e 75,01 mg vaso⁻¹, respectivamente, enquanto o controle (T1) e os tratamentos com polihalita tanto granulada quanto britada, apresentaram os menores valores variando entre 44,47 a 53,99 mg vaso⁻¹ (T1). No terceiro corte, o padrão de absorção de Ca aumentou nos tratamentos com polihalita granulada e britadas (T2 a T5). A polihalita destaca-se por sua característica de liberação lenta de nutrientes, proporcionando a disponibilidade progressiva (Barbarick, 1991). No entanto, o tratamento com KCl (T7) apresentou uma queda acentuada para 30,12 mg vaso⁻¹, sugerindo uma menor eficiência no fornecimento contínuo de Ca. A polihalita, sendo uma boa fonte de Ca, manteve valores mais consistentes ao longo dos cortes.

Em relação ao Mg, embora não tenham sido observadas diferenças estatísticas, no primeiro corte, os valores dos tratamentos com polihalita e o controle (T1) foram superiores em comparação com os tratamentos T6 (polihalita + KCl) e T7 (KCl). No terceiro corte, houve uma queda no controle, de 51,20 mg vaso⁻¹ no primeiro corte para 35,76 mg vaso⁻¹ no terceiro corte. Por outro lado, os tratamentos com polihalita apresentaram um leve aumento nos valores de Mg, indicando que a polihalita oferece uma liberação mais eficiente e sustentada de Mg ao longo do tempo, especialmente nos tratamentos T4 e T5. No primeiro corte (Tabela 7), os tratamentos com polihalita (T2, T3, T4 e T5) apresentaram valores significativamente mais altos de S, variando de 41,38 a 50,56 mg vaso⁻¹, enquanto o controle (T1), T6 (polihalita granulada + KCL) e o KCl (T7) apresentaram os menores valores (23, 17 mg vaso⁻¹ a 6,02 mg vaso⁻¹) respectivamente.

Além disso, o enxofre é essencial na síntese de proteínas e aminoácidos (Jamal et al., 2010), especialmente em solos com baixos teores de matéria orgânica e textura arenosa, que apresentam maior tendência à deficiência desse nutriente (Yermiyahu et al., 2017; Mello, 2018).

No terceiro corte, os teores de S diminuíram em todos os tratamentos, com o controle (T1), T6 e T7 mantendo valores baixos de 9,86 mg vaso⁻¹ e 2,27 mg vaso⁻¹. No entanto, os tratamentos com polihalita continuaram a apresentar valores

significativamente mais altos, com destaque para T4 (20,71 mg vaso⁻¹) e T2 (19,08 mg vaso⁻¹). Esses resultados reforçam o papel da polihalita como uma fonte eficiente de ao longo do ciclo de crescimento.

6 CONCLUSÕES

Os tratamentos com polihalita apresentaram os melhores resultados no número de perfilhos no segundo e terceiro corte. Enquanto o índice de clorofila foliar (SPAD), altura de plantas e massa seca de parte aérea no terceiro corte.

Massa seca de raízes, resíduo e massa seca de parte área acumulada os tratamentos com polihalita (granulada e britada) se sobressaíram em relação ao controle e o tratamento com KCl.

Nos dois cortes, o acúmulo de macronutrientes, os tratamentos com polihalita (granulada e britada) mantiveram teores mais elevados de nutrientes, especialmente K, Ca, Mg e S, quando comparados ao controle e ao KCl. A absorção de nutrientes diminuiu no terceiro corte para todos os tratamentos, mas a polihalita mostrou uma maior eficiência na liberação de nutrientes, em particular K, Ca e S. A aplicação de KCl apresentou uma boa absorção inicial de K.

Estes resultados comprovam a viabilidade do uso da polihalita como fonte de fertilizante para o manejo de pastagens, não apresentando diferença entre as granulometrias estudadas e entre as formas granulada e britada.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, R. E. M.; CARVALHO, M. C. S.; CAMPOS, L. J. M.; COSTA, R. V.; FÚRIA, L.; LIMA, L. S.; ROCHA, B. R. Polihalita como fonte de K e S na adubação de soja e milho safrinha. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO E SOJA, 16., 2021. **Anais** [...]. [S.l.: s.n.], 2021.
- ALVES, H. M. R.; CASAGRANDE, J. C.; BARBOSA J. C.; FERREIRA, F. M. **Fertilidade do solo, fertilizantes potássicos**. Viçosa (MG): Editora UFV, 2007. p. 165.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, K. G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s.l.], v. 22, p. 711-728, 2013.
- ALBADARIN, A.B.; LEWES, T.D.; WALKER, G.M. Granulated polyhalite fertilizer caking propensity. **Powder Technology**, [s.l.], v. 308, p.193-199, 2017.
- ARAÚJO, F. N. F. **Silagem de capim com uso de acidificante: Características químicas bromatológicas da forragem pós abertura do silo**. 2023. 20 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, 2023.
- ARAÚJO, F. N. F.; FREIRIA, L. B. da; SILVEIRA, M. V. da; VILAS BOAS E SILVA, Y. R.; NEGRÃO, F. de M.; CABRAL, L. da S.; MIRANDA, E. S.; CALDEIRA, F. H. B. Chemical characteristics of grass silage with the use of acidifier after opening the bag. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, [s.l.], v. 7, p. 72853, 2024.
- ARIF, Y.; SINGH, P.; SIDDIQUI, H.; BAJGUZ, A.; HAYAT, S. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: an omic approach towards salt stress tolerance. **Plant Physiol. Biochem**, [s.l.], v. 156, p. 64-77, 2020.
- ASSAHA, D.V.; UEDA, A.; SANEOKA, H.; AL-YAHYAI, R.; YAISH, M.W. The role of Na⁺ and K⁺ transporters in salt stress adaptation in glycophytes. **Frontiers Physiology**, [s.l.], v. 8, p. 509, 2017.
- AKSU, G.; ALTAY, H. The effects of potassium applications on drought stress in sugar beet. **Sugar Tech**, [s.l.], v. 22, p. 1092–1102, 2020.
- BARBARICK, K.A. **Polyhalite as a potassium fertilizer**. Fort Collins: Colorado State University, Agricultural Station, 1989. (Technical Bulletin).
- BARBARICK, K. A. Polyhalite application to sorghum-sudangrass and leaching in soil columns. **Soil Science**, [s.l.], v. 151, p. 159-166, 1991.
- BENETT, C. C. S.; BUZETTI, S.; SILVA, K. S.; BERGAMASCHINE, A. F.; FABRICIO, J. A. Produtividade e composição bromatológica do capim marandu a fontes e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, p. 1629-1636, 2008.
- BHATT, R.; SINGH, M. Comparative efficiency of polymer-Coated urea for lowland rice in semi-arid tropics. **Communications Soil Science and Plant Analysis**, [s.l.], v. 52, p. 2331-2341, 2021.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 15. ed. [S.l.]: Pearson, 2013.

COSTA, N. L.; JANK, L.; MAGALHÃES, J. A.; RODRIGUES, A. N. A.; FOGAÇA, F. H. S.; BENDAHAN, A. B.; SANTOS, F. J. S. Características morfológicas e estruturais de *Megathyrus maximus* cv. Tanzânia-1 sobre intensidades de desfoliação. **Pubvet**, [s.l.], v. 12, p. 147, 2018.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira**. [202-?]. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/gr/>. Acesso em: 24 mar. 2024.

DAL MOLIN, S. J.; NASCIMENTO, C. O.; TEIXEIRA, P. C.; BENITES, V. M. Polyhalite as a potassium and multinutrient source for plant nutrition. **Archives of agronomy and soil Science**, [s.l.], v. 66, n. 5, 2019.

DIFANTE, G. D. S.; JÚNIOR, D. D. N.; SILVA, S. C.; EUCLIDES, V. P. B.; MONTAGNER, D. B.; SILVEIRA, M. C. T.; PENA, K. D. S. Características morfológicas e estruturais do capim-marandu submetido a combinações de alturas e intervalos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s.l.], v. 40, n. 5, p. 955-963, 2011.

EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; MEDEIROS, R. N.; OLIVEIRA, M. P. Características do pasto de capim Tanzânia adubado com nitrogênio no final do verão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 1189-1198, 2007.

FARHAT, N.; ELKHOUNI, A.; ZORRIG, W.; SMAOUI, A.; ABDELLY, C.; RABHI, M. Effects of magnesium deficiency on photosynthesis and carbohydrate partitioning. **Acta Physiologiae Plantarum**, [s.l.], v. 38, p. 145, 2016.

FERNANDES, J. C.; BUZZETTI, S.; DUPAS, E.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; ANDREOTTI, M. Sources and rates of nitrogen fertilizer used in Mombasa guineagrass in the Brazilian Cerrado region. **African Journal of Agricultural Research**, [s.l.], v. 10, p. 2076-2082, 2015.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 35, p. 1039-1042, 2011.

FRAPS, G. S.; SCHMIDT, H. Availability to plants of potash in polyhalite. **Agricultural and Food Sciences**, [s.l.], v. 449, p. 05-16, 1932.

GALINDO, F. S.; BELONI, T.; BUZZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; DUPAS, E.; LUDKIEWICZ, M. G. Z. Technical and economic viability and nutritional quality of mombasa guinea grass silage production. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [s.l.], v. 40, p. 1-10, 2018.

GOMIDE, J. A. Fisiologia do crescimento livre de plantas forrageiras. In: PEIXOTO, A. M. (Ed.). **Pastagens: fundamentos de exploração racional**. Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 1-14.

GONZÁLEZ-OSORIO, H.; SADEGHIAN, S.; MEDINA, R.; FURIA, L. Response of Granulated Polyhalite on Yield and Quality of Coffee (*Coffea arabica*). **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, [s.l.], v. 54, n. 11, p. 1525-1536, 2023.

HASANUZZAMAN, M.; BHUYAN, M. H. M.; NAHAR, K.; HOSSAIN, M. S.; MAHMUD, J. A.; HOSSEN, M. S.; MASUD, A. A. C.; MOUMITA FUJITA, M. Potassium: a vital

regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. **Agronomy**, [s.l.], v. 8, p. 31, 2018.

HASANUZZAMAN, M.; BHUYAN, M. H. M.; ZULFIQAR, F.; RAZA, A.; MOHSIN, S. M.; MAHMUD, J. A.; FUJITA, M.; FOTOPOULOS, V. Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: revisiting the crucial role of a universal defense regulator. **Antioxidants**, [s.l.], v. 9, p. 681, 2020.

HEINRICHS, R.; MONREAL, C. M.; SANTOS, E. T.; SOARES FILHO, C. V.; REBONATTI, M. D.; TEIXEIRA, N. M.; MOREIRA, A. Phosphorus sources and rates associated with nitrogen fertilization in mombasa grass yield. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, [s.l.], v. 47, p. 657-669, 2016.

HERRERA, B. W. F. **The potential of polyhalite as a multi-nutrient fertilizer for sugarcane**. 2019. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/>. Acesso em: 11 mar. 2024.

JAMAL, A.; MOON, Y. S.; ZAINUL ABDIN, M. Sulfur-a general overview and interaction with nitrogen. **Australian Journal of Crop Science**, [s.l.], v. 4, p. 523-529, 2010.

JANK, L. Melhoramento e seleção de variedades de *Panicum maximum*. In: SIMPOSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12., 1995. **Anais** [...]. Piracicaba: Fundação Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1995. p. 21-58.

JUHASZOVA, M.; KOBRINSKY, E.; ZOROV, D. B.; NUSS, H. B.; YANIV, Y.; FISHBEIN, K. W.; CABO, R. D.; MONTOLIU, L.; GABELLI, S. B.; AON, M. A.; CORTASSA, S.; SOLLITT, S. J. ATP synthase K-and H +-flux drive ATP synthesis and enable mitochondrial K uniporter function. **bioRxiv**, [s.l.], 2019.

KUMAR, P.; KUMAR, T.; SINGH, S.; TUTEJA, N.; PRASAD, R.; SINGH, J. Potassium: a key modulator for cell homeostasis. **Journal Biotechnol.**, [s.l.], v. 324, p. 198–210, 2020.

KUNHIKRISHNAN, A.; THANGARAJAN, R.; BOLAN, N. S.; XU, Y.; MANDAL, S.; GLEESON, D. B.; SESHADRI, B.; ZAMAN, M.; BARTON, L.; TANG, C.; LUO, J.; DALAL, R.; DING, W.; KIRKHAM, M. B.; NAISU, R. Chapter one: functional relationships of soil acidification, liming, and greenhouse gas flux. **Advances in Agronomy**, [s.l.], v. 139, p. 1-71, 2016.

MAGALHÃES, A. R. **Rotações de sistemas de manejo do solo e consórcio de milho com *Panicum maximum* cv Miyage na cultura da soja**. 2023. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2023.

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.

MELLO, S. C.; PIERCE, F. J.; TONHATI, R.; ALMEIDA, G. S.; NETO D. D.; PAVULUR, I.K. Potato response to Polyhalite as a potassium source fertilizer in Brazil: Yield and quality. **Hort Science**, [s.l.], v. 53, p. 373-379, 2018.

- MELLO, S. C.; TONHATI, R.; NETO, D. D.; DARAPUNENI, M.; PAVULURI, K. Response of tomato to polyhalite as a multnutrient fertilizer in southeast Brazil. **Journal of Plant Nutrition**, [s.l.], v. 41, p. 2126-2140, 2018.
- MELGAR, R. J.; VENTIMIGLIA, L.; FIGUEROA, E.; CENTURION, O.; VALE, F. Polyhalite for grain in soybean-based production systems in Argentina and Paraguay. **International Potash Institute**, [s.l.], v. 1, p. 3-12, 2018.
- MINOLTA CAMERA. **Munual for chlorophyll meter SPAD-502**. Osaka: [s.n.], 1989. p. 22,
- MONSHAUSEN, G. B. Visualizing Ca²⁺ signatures in plants. **Current Opinion in Plant Biology**, [s.l.], v. 15, p. 677-682, 2012.
- OOSTERHUIS, D. M.; LOKA, D. A.; KAWAKAMI, E. M.; PETTIGREW, W. T. The physiology of potassium in crop production. *In*: SPARKS, D. L. (ed.) **Advances in agronomy**. [S.l.]: Academic Press, 2014. v. 126. p. 203-233.
- PANDEY, G. K.; MAHIWAL, S. Potassium in abiotic stress. *In*: PANDEY, G.K., MAHIWAL, S. (ed.). **Role of potassium in plants**. [S.l.]: Springer, 2020. p. 45–49.
- PAVULURI, K.; MALLEY, Z.; MZIMBIRI, M. K.; LEWIS, T. D.; MEAKIN, R. Evaluation of polyhalite in comparison to muriate of potash for corn grain yield in the Southern Highlands of Tanzania. **Agricultural and Food Sciences**, [s.l.], v. 5, p. 325–332, 2017.
- PETTIGREW, W. T. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. **Journal of Plant Nutrition**, [s.l.], v. 131, p. 670-681, 2008.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.
- QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van.; MALAVOLTA, E. Alternative use of the SPM: buffer solution to determine lime requirement of soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, [s.l.], v. 16, p. 245-260, 1985.
- QUAGGIO, J. A.; ALCANTRA, P. B.; CANTARELLA, H.; PAULINO, V. T.; VILLA, M. R. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundação-IAC, 2022. p. 428-436. (Boletim 100).
- RAIJ, B. Van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 2001. p. 285.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018.
- SARDANS, J.; PEÑUELAS, J. Potassium control of plant functions: ecological and agricultural implications. **Plants**, [s.l.], v.10, p. 419, 2021.
- SARRUGE, J. R., HAAG, H. P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56 p.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos**: métodos químicos e biológicos. 3. ed. Viçosa (MG): Universidade Federal de Viçosa, 2002. 235 p.

SILVEIRA, M. C. T.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; CUNHA, B. A. L.; DIFANTE, G. S.; PENA, K. S.; SILVA, S. C.; SBRISIA, A. F. Effect of cutting interval and cutting height on morphogenesis and forage accumulation of guinea grass (*Panicum maximum*). **Tropical Grasslands**, [s.l.], v. 44, p. 103-108, 2010.

SINGH, V.K.; SHEKHAWAT, K.; SINGH, R.K.; BABU, S.; UPADHYAY, P.K.; RAI, P.K.; KUMAR, A.; AWASTHI, N.K.; RATHORE, S.S. Optimizing polyhalite (POLY-4) use in the maize-wheat system: a comparative case study from upper and trans indo-gangetic plains of India. **Heliyon**, [s.l.], v. 9. n. 12, 2023.

SOARES FILHO, C. V; DE CARVALHO, C. L. M; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A; MOREIRA, A.; DUARTE, A. N. M Nitrogênio na parte aérea, número de perfilhos, rendimento de biomassa e valor nutritivo do capim-Zuri-Guiné inoculado com bactérias promotoras do crescimento vegetal. **International Journal for Innovation Education and Research**, [s.l.], v. 8, p. 437-463, 2020.

TAN, H.; CUI, Y.; LIU, C.; ZENG, F.; HAN, C.; ZHANG, H.; FAN, X.; MITCHELL, E.; YAN, D.; ZHANG, D. Toward the replacement of conventional fertilizer with polyhalite in eastern China to improve peanut growth and soil quality. **Chemical and Biological Technologies ind Agriculture**, [s.l.], v. 9, n. 94, 2022.

TAVARES P. C. **Produção e valor nutritivo de *Panicum maximum* Jacq. cv. Miyagui manejada sob duas alturas de resíduo**. 2019. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília (DF): Embrapa, 2017. 573 p.

TRANKNER, M.; TAVAKOL, E.; J'AKLI, B. Functioning of potassium and magnesium in photosynthesis, photosynthate translocation and photoprotection. **Physiologia Plantarum**, [s.l.], v. 163, p. 414–431, 2018.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in plants. **Annals Botany**, [s.l.], v. 92, p. 487-511, 2003.

YERMIYAHU, U.; ZIPORI, I.; FAINGOLD, I.; YUSOPOV, L.; FAUST, N.; BAR-TAL, A. Polyhalite as a multi nutrient fertilizer: potassium, magnesium, calcium and sulfate. **Israel Journal of Plant Sciences**, [s.l.], v. 64, p. 145-157, 2017.

ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture—status and perspectives. **Journal of Plant Physiology**, [s.l.], v. 171, p. 656-669, 2014.