

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

THIAGO BORGES DA CRUZ

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FONTES ALTERNATIVAS DE
POTÁSSIO NA CULTURA DO MILHETO**

Uberlândia – MG

Maio – 2024

THIAGO BORGES DA CRUZ

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO NA
CULTURA DO MILHETO.**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de
Agronomia, da Universidade
Federal de Uberlândia, para
obtenção do grau de Engenheiro
Agrônomo.

Orientador: Professor Doutor
Hamilton Seron Pereira

Uberlândia - MG

Maio – 2024

THIAGO BORGES DA CRUZ

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO NA
CULTURA DO MILHETO.**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de
Agronomia, da Universidade
Federal de Uberlândia, para
obtenção do grau de Engenheiro
Agrônomo.

Orientador: Professor Doutor
Hamilton Seron Pereira

Aprovado pela Banca Examinadora em 02 de Maio de 2024

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira
Orientador

Dr. Adílio de Sá Júnior
Membro da Banca

Eng. Amb. Patrícia Ferreira de Oliveira
Membro da Banca

RESUMO

O potássio é um nutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, desempenhando um papel crucial na qualidade e produtividade das culturas. No entanto, a extração e produção de cloreto de potássio, a principal fonte comercial desse elemento, têm impactos ambientais significativos e preocupações de disponibilidade futura. A busca por novas fontes de potássio se faz necessária frente a elevada dependência externa de fertilizantes contendo este elemento. Com o objetivo de avaliar o uso de fontes alternativas de potássio, foi conduzido experimentos com a cultura do milho (*Pennisetum glaucum*), cultivar ADR-300, em casa de vegetação, utilizando amostras de 4 solos de textura diferentes, (Arenosa, Média, Argilosa, Muito Argilosa), em dois cultivos consecutivos utilizando 11 rochas moídas ricas em potássio nas doses de 600 mg de $K_2O\ dm^{-3}$ de solo. Para comparação foi utilizado um tratamento com KCl como fertilizante padrão e uma testemunha absoluta sem adição de potássio. Os demais nutrientes foram fornecidos em quantidades suficientes para atender a necessidade da cultura. O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizados com 13 tratamentos, e os dados submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Scott - Knott a 0,05 de significância e no índice de eficiência agronômica comparados pelo método de Dunnett. As variáveis analisadas ao final do experimento: matéria seca da parte aérea do milho, teor de potássio e silício no tecido foliar, índice de eficiência agronômica e extração de K. Foi possível concluir que existem fontes alternativas ao cloreto de potássio para o fornecimento de potássio, variando de acordo com as texturas de solo e também com tempo de interação química no solo muitas se mostraram mais eficiente agronomicamente do a fonte padrão KCl, e ainda se mostram também serem fontes de elementos benéficos como o silício.

Palavras-chave: *Pennisetum glaucum*, Fontes alternativas de potássio, Fertilizantes potássicos, Pó de rocha.

ABSTRACT

Potassium is an essential nutrient for plant growth and development, playing a crucial role in crop quality and productivity. However, the extraction and production of potassium chloride, the main commercial source of this element, has significant environmental impacts and future availability concerns. The search for new sources of potassium is necessary given the high external dependence on fertilizers containing this element. With the aim of evaluating the use of alternative sources of potassium, experiments were carried out with millet (*Pennisetum glaucum*), cultivar ADR-300, in a greenhouse, using samples from 4 soils with different textures, (Sandy, Medium, Clayey, Very Clayey), in two consecutive cultivations using 11 ground rocks rich in potassium at doses of 600 mg of K₂O dm⁻³ of soil. For comparison, a treatment with KCl was used as a standard fertilizer and an absolute control without added potassium. The remaining nutrients were supplied in sufficient quantities to meet the crop's needs. The experiment was conducted in a completely randomized design with 13 treatments, and the data were subjected to analysis of variance and the means compared by the Scott - Knott test at 0.05 significance and the agronomic efficiency index compared by the Dunnett method. The variables analyzed at the end of the experiment: dry matter of the millet aerial part, potassium and silicon content in the leaf tissue, agronomic efficiency index and K extraction. It was possible to conclude that there are alternative sources to potassium chloride for the supply of potassium, varying according to soil textures and also the time of chemical interaction in the soil, many proved to be more agronomically efficient than the standard KCl source, and also proved to be sources of beneficial elements such as silicon.

Keywords: *Pennisetum glaucum*, Alternative sources of potassium, Potassium fertilizers, Rock dust.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1 Demanda por fertilizantes na agricultura brasileira.....	8
2.2 Vantagens das fontes alternativas de potássio.....	10
2.3 A escolha da planta certa para a finalidade certa.....	12
2.4 A importância de entender o comportamento das fontes em tipos de textura de Solo diferentes	13
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1 Caracterização da área.....	14
3.2 Preparo do solo.....	15
3.3 Delineamento experimental e tratamentos	16
3.4 Disposição dos experimentos dentro da casa de vegetação.....	18
3.5 Plantio e manejo da cultura	21
3.6 Adubações e irrigação	22
3.7. Avaliações	23
3.7.1. Massa seca da parte aérea (M.S)	23
3.7.2. Teor de potássio foliar (K)	24
3.7.3. Extração de potássio por vaso (EXTK).....	25
3.7.4. Teor de silício foliar (Si)	26
3.7.5. Extração de silício por vaso (EXTSi).....	27
3.7.6. Índice de eficiência agronômica (IEA).....	27
3.8. Análises estatísticas	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1 Massa seca da parte aérea (M.S)	28
6.2 Teor de potássio foliar (K)	45
6.3 Extração de potássio por vaso (EXTK).....	52
6.3 Teor de Silício foliar (Si).....	59
6.4 Extração de silício por vaso (EXTSi).....	64
6.5 Índice de Eficiência Agronômica (IEA).....	70
6 CONCLUSÕES	79
REFERÊNCIAS	80

1 INTRODUÇÃO

O elemento potássio, presente nas plantas como o cátion K^+ , desempenha um papel importante na regulação do potencial osmótico das células vegetais sendo um macro nutriente que permanece na forma iônica Taiz e Zeiger (2017). Ele também é responsável por ativar muitas enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese.

O Brasil, segundo o Plano nacional de fertilizantes 2050 (2021), disponível pela Secretaria especial de assuntos estratégicos, o Brasil sempre dependeu da importação de potássio, e essa necessidade tem aumentado a cada ano devido aos recordes na produção agrícola nacional. Com o crescimento da agricultura brasileira, em 1980 o Brasil se tornou o segundo maior importador mundial de potássio. A produção interna de cloreto de potássio começou em 1985, com o complexo da Mina/Usina Taquari-Vassouras, localizado no estado de Sergipe, inicialmente operado pela mineradora Companhia Vale do Rio Doce (Vale) e atualmente sob a gestão da Mosaic Fertilizantes.

Devido a essa importância fundamental para as plantas e alta demanda desse fertilizante para a segurança alimentar nacional e mundial, já que segundo Contini e Aragão (2021), além de alimentar sua população de 212,235 milhões de pessoas, o Brasil está se consolidando como um importante fornecedor de alimentos para o mundo. Entre 2000 e 2019, as exportações do setor agropecuário brasileiro aumentaram de 20,6 bilhões de dólares para 96,9 bilhões de dólares, destacando-se produtos como soja, carnes, milho, algodão e produtos florestais., MAPA (2020).

Devido a essas considerações, o objetivo deste estudo foi investigar fontes alternativas de potássio de origem nacional, com o intuito de sua utilização na agricultura. Como parte desse processo, foram selecionadas diversas fontes alternativas de potássio, cujos efeitos na cultura do milho foram comparados com os do cloreto de potássio, a fonte convencional, em quatro texturas de solo diferentes e dois cultivos consecutivos.

Ao término deste estudo, busca-se compreender integralmente todos os processos envolvidos. Para tanto, foram empregues esforços no sentido de minimizar possíveis fontes de erro, visando alcançar a máxima eficiência na análise dos dados e na interpretação dos resultados. A finalidade última consiste em fornecer resultados valiosos para solucionar o problema inicialmente abordado, fornecendo contribuições significativas para o avanço do conhecimento no campo da agronomia.

2 REVISÃO DE LITERATURA

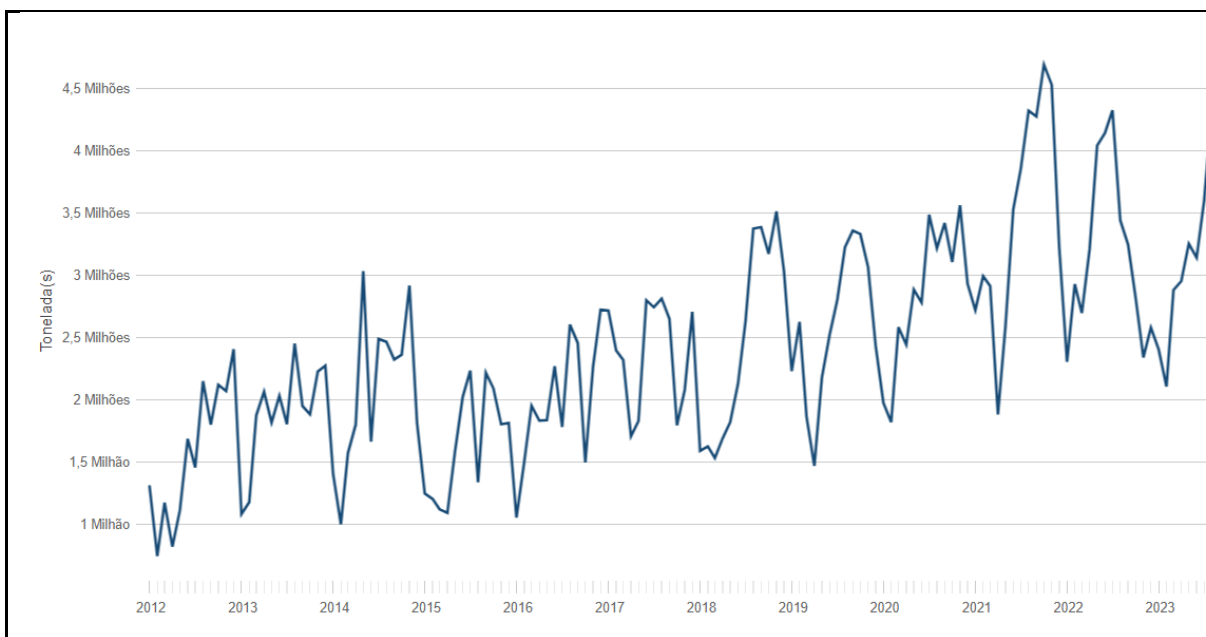
2.1 Demanda por fertilizantes na agricultura brasileira

O Brasil é o quarto maior produtor mundial de grãos (arroz, cevada, soja, milho e trigo), atrás apenas de China, Estados Unidos e Índia, sendo responsável por 7,8% da produção total mundial, e o segundo maior exportador de grãos do mundo, com 19%, alcançando US\$ 37 bilhões em 2020, EMBRAPA, (2020).

Espera-se que até 2050 cria-se a expectativa que o Brasil aumente em 40% sua produção de alimentos para sanar esse aumento da demanda, fazendo assim um agente contrário a falta de alimentos no mundo. Para isso não basta apenas um grande território e mão de obra, também será necessário estimular a produção interna de fertilizantes, visto que hoje o país é dependente da importação deste insumo, notado que a parcela interna deste produto é insuficiente para suprir a expressiva demanda, Caligaris et al., (2022).

O Brasil tende a aumentar ainda mais sua importação de fertilizantes para suprir a demanda mundial e nacional por alimentos, como podemos observar na Figura 1, por mais que tenha ocorrido oscilações a tendencia de importação só aumenta ao longo dos anos.

Figura 1- Série histórica da importação de Adubos ou fertilizantes químicos até setembro de 2023.



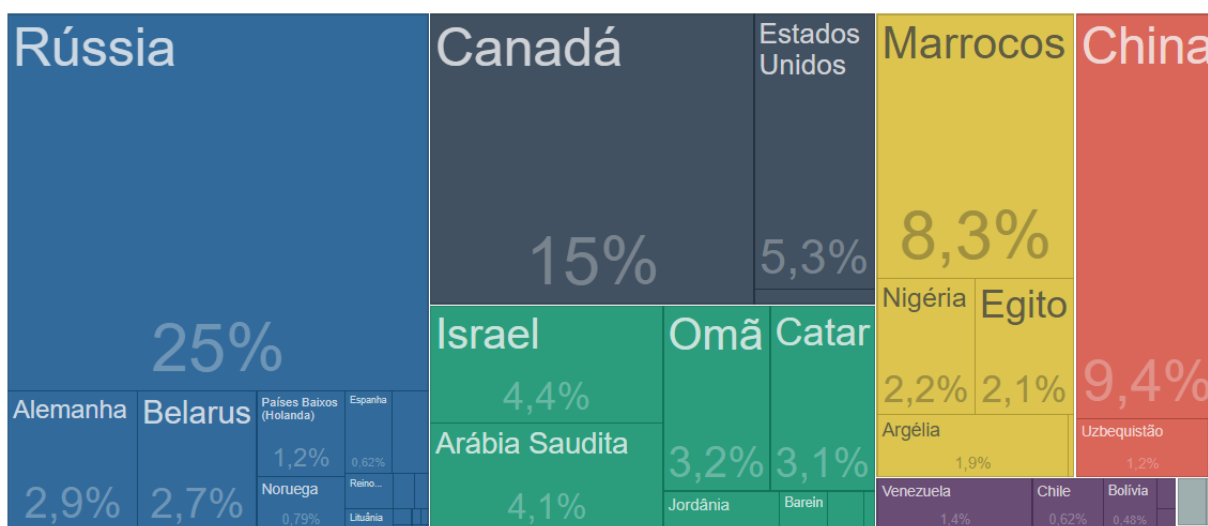
Fonte: Comex Stat (2023)

A dependência da importação desses insumos agrícolas nos torna cada vez mais vulneráveis em diversos fatores, temos como exemplo o período da pandemia da COVID-19 onde o frete chegou a subir 100% por contêiner, e em momentos mais críticos no mundo fabricas foram fechadas por riscos de contaminação, o que elevou a procura internacional pelos fertilizantes em 60 % em comparação ao período pré pandemia, acarretando aumento no custo da produção, Pinheiro et al., (2021).

Em 2018, é digno de nota que o Brasil foi classificado como o país que mais importou fertilizantes, desembolsando cerca de 2,68 bilhões de dólares em fertilizantes nitrogenados, 360,57 milhões de dólares em fertilizantes fosfatados e 3,35 bilhões de dólares em fertilizantes potássicos, Tridge (2019).

No comércio internacional de fertilizantes Figura 2, grandes nações, principalmente europeias, desempenham um papel significativo. Quando se trata de fertilizantes nitrogenados, a Rússia é o país mais proeminente, enquanto a China, os Estados Unidos e Marrocos compartilham o cenário dos fertilizantes fosfatados. Na produção de fertilizantes de potássio, Rússia, Canadá e Belarus estão entre os principais atores. Devido à guerra entre Rússia e Ucrânia, o Canadá tem emergido como um líder nesse segmento do mercado, Globalfert (2022).

Figura 2- Origens dos fertilizantes químicos importados até setembro de 2023.

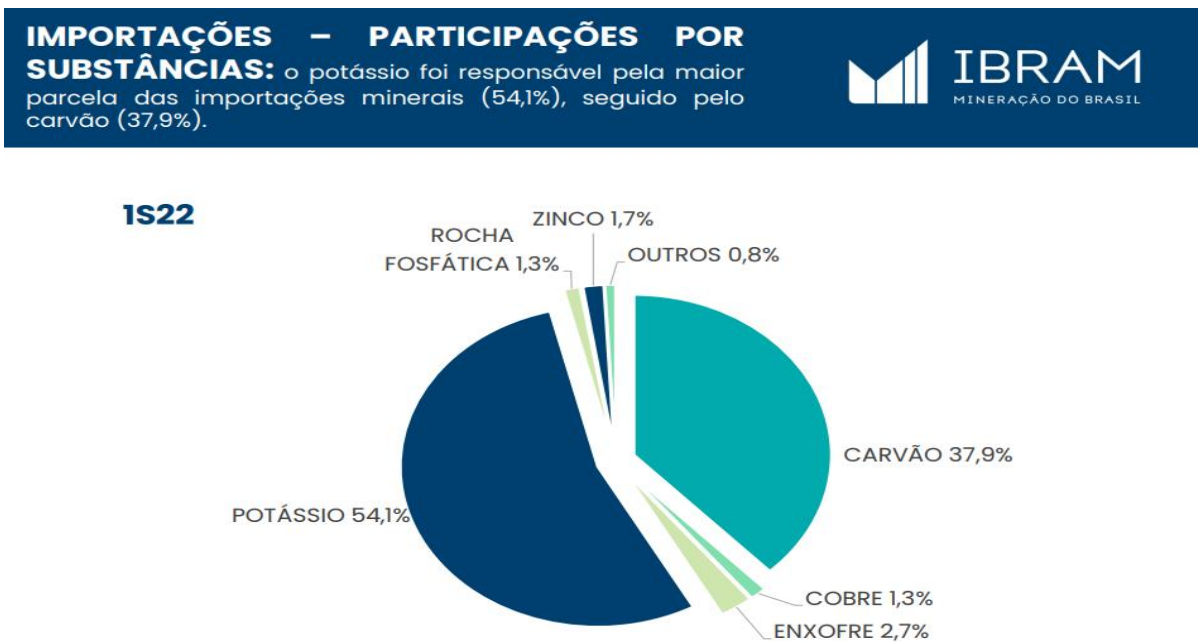


Fonte: Comex Stat (2023)

No Brasil, durante o período de janeiro a dezembro de 2021, de acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), em 2022, foram importadas mais de 41 milhões de toneladas de fertilizantes. Esse número representa mais de 45 milhões de toneladas,

que é a quantidade total de fertilizantes utilizada na produção agrícola nacional durante o mesmo período. Esse fato evidencia a notável capacidade produtiva de grãos do Brasil na atualidade, além de indicar que o país está se tornando um grande consumidor desses insumos. A Figura 3 mostra a alta dependência do Brasil na importação principalmente de potássio, Comex stat (2023).

Figura 3- Importação de substâncias minerais.



Fonte: Comex Stat, apuração IBRAM (2022)

2.2 Vantagens das fontes alternativas de potássio

De forma geral, nos solos tropicais, é comum encontrar baixos teores de potássio (K), isso se deve, em grande parte, à alta mobilidade desse nutriente nos solos e à sua suscetibilidade à lixiviação, conforme observado por Benites et al., (2010). A deficiência de potássio pode resultar na diminuição do crescimento das plantas, atraso na frutificação e produção de frutos menores e com menor coloração, resultando em uma considerável redução da produtividade, como apontado por Ernani et al., (2007). Portanto, a escassez de potássio nos solos brasileiros demanda a utilização de fertilizantes potássicos para atender às necessidades das culturas, como destacado por Benites et al., (2010).

O potássio no solo se encontra disponível na solução do solo e em diferentes formas, incluindo trocável, não trocável e estrutural, de acordo com Soumare et al., (2022). As formas presentes na solução do solo e na fração trocável desempenham um papel significativo no

fornecimento de potássio às plantas, conforme observado por Otto et al., (2010). Devido à alta solubilidade em água e baixa capacidade de adsorção aos colóides do solo, a prática de parcelar a aplicação de doses de potássio, especialmente acima de 50 kg por hectare, é frequentemente recomendada, como sugerido por Foloni e Rosolem (2008), principalmente em solos arenosos. Essa abordagem visa aprimorar a eficiência na utilização do nutriente, reduzir as perdas por lixiviação e minimizar o efeito salino dos fertilizantes nas sementes durante o processo de semeadura, como apontado por Moterle et al., (2006) e Bernardi et al., (2009), apud Petter et al., (2016).

Entre os diversos adubos potássicos disponíveis, o cloreto de potássio (KCl) é o mais amplamente utilizado, principalmente devido ao seu custo relativamente baixo para os produtores, como observado por Raij (1991), Rodrigues et al., (2014) e CNA (2022). No entanto, o KCl pode apresentar desvantagens, uma vez que a alta concentração de cloro no fertilizante pode aumentar a quantidade de sais no solo, o que prejudica a absorção de água pelas sementes e radículas, devido à redução do potencial osmótico externo às células, como discutido por Pitman e Läuchli (2002) e Geilfus (2019), apud Gaion et al., (2022).

Nesse contexto, novas fontes de potássio têm sido exploradas, e merece destaque o uso de silicatos de potássio. As fontes silicatadas de potássio oferecem vantagens em relação ao KCl, uma vez que não contêm cloro, possuem menor índice salino e liberam potássio de forma mais gradual, conforme mencionado por Yadav e Sidhu (2016). Além disso, essas fontes costumam apresentar elevadas concentrações de silício, o que pode ajudar a reduzir o impacto de estresses, tanto bióticos quanto abióticos, como algumas doenças, como sugerido por Zargar et al., (2019), apud Gaion et al., (2022).

Essas características tornam as fontes de silicato de potássio uma opção interessante como substitutas do tradicional KCl.

O Fonolito é uma rocha formada por feldspatos potássicos e é resultado de atividade vulcânica. Além do potássio, essa rocha contém outros elementos químicos, como silício, que é considerado benéfico para o crescimento das plantas, bem como nutrientes essenciais como manganês, cálcio e ferro, como mencionado por Teixeira et al., (2012).

No estudo de pós-graduação de Rodrigues (2022), ele concluiu que a utilização do silicato de potássio em solos cujo teor de potássio já está próximo do nível ideal para o cultivo não demonstra impacto adverso no crescimento e na produtividade das plantas de algodão. Portanto, essa substância pode ser considerada como uma alternativa viável para substituir o cloreto de potássio na fertilização do algodoeiro.

Em um contexto global atual, é fundamental buscar fontes alternativas de potássio,

sejam elas sob a forma de pó de rocha (rochagem) ou produtos industriais, como discutido por Resende et al., (2006). Essas rochas moídas podem ser aplicadas como fontes de liberação gradual de nutrientes, o que é uma característica desejável quando se considera os efeitos a longo prazo e o menor risco de perdas em comparação aos fertilizantes altamente solúveis, como destacado por Martins et al., (2023).

2.3 A escolha da planta certa para a finalidade certa

A maior parte do potássio (K) absorvido pelo milho é tipicamente adquirida pela raiz através de processos de difusão, como discutido por Costa et al., (1998). É interessante notar que a resposta mais eficaz a esse nutriente geralmente é observada em períodos de disponibilidade hídrica reduzida, conforme observado por Grimme em 1990. Tanto a quantidade de água disponível, como delineado por Barber em 1984, quanto a disponibilidade de potássio, podem afetar a morfologia das raízes e o equilíbrio entre os mecanismos de absorção do potássio e sua interação com as raízes, conforme destacado por Rosolem. et al. em 2001.

Coelho et al., (2012), destacam a alta extração de potássio pelas plantas de milho, destacando a importância da ciclagem desse nutriente nos sistemas de produção agrícola, visto que enquanto a fixação biológica de nitrogênio para o ecossistema, não existe fontes renováveis de potássio no ciclo biogeoquímico, destacando o alto potencial de uso da planta de milho.

Segundo Santos e Coelho (2009), a maior exigência do milho é principalmente em potássio e ao nitrogênio, seguindo-se de cálcio, magnésio, fósforo e enxofre.

Braz et al., (2004), puderam afirmar que gramíneas dentre as gramíneas avaliadas, o milho foi o que mais acumulou nutrientes no limbo foliar, além do milho ter sido a gramínea que alcançou uma quantidade máxima de acumulação de nutrientes em menos período, dentre os nutrientes mais acumulados se destaca o nitrogênio e o potássio.

Rosolem et al., (2006), em estudos com potássio no solo em consequência da adubação sobre a palhada de milho e chuva simulada, destaca a importância do milho, já que mesmo sem a adubação de potássica a palhada de milho é fonte importante de potássio, que lixivia até 4 cm de profundidade por chuvas superiores a 30 mm.

Em Planaltina-DF, Sodré Filho e colaboradores (2004) conduziram uma avaliação da cobertura do solo com resíduos vegetais de milho e crotalária. Essas plantas foram semeadas em Maio e tiveram seu manejo realizado com uma roçadora após 67 e 95 dias, correspondendo a cerca de 50% de florescimento. Os resultados demonstraram que, 30 dias após o manejo (DAM), os resíduos do milho cobriam o solo em 83%, enquanto os da crotalária atingiam

uma cobertura de 87%. No período de 90 DAM, a percentagem de cobertura diminuiu para 31% no caso do milho e 50% no caso da crotalária.

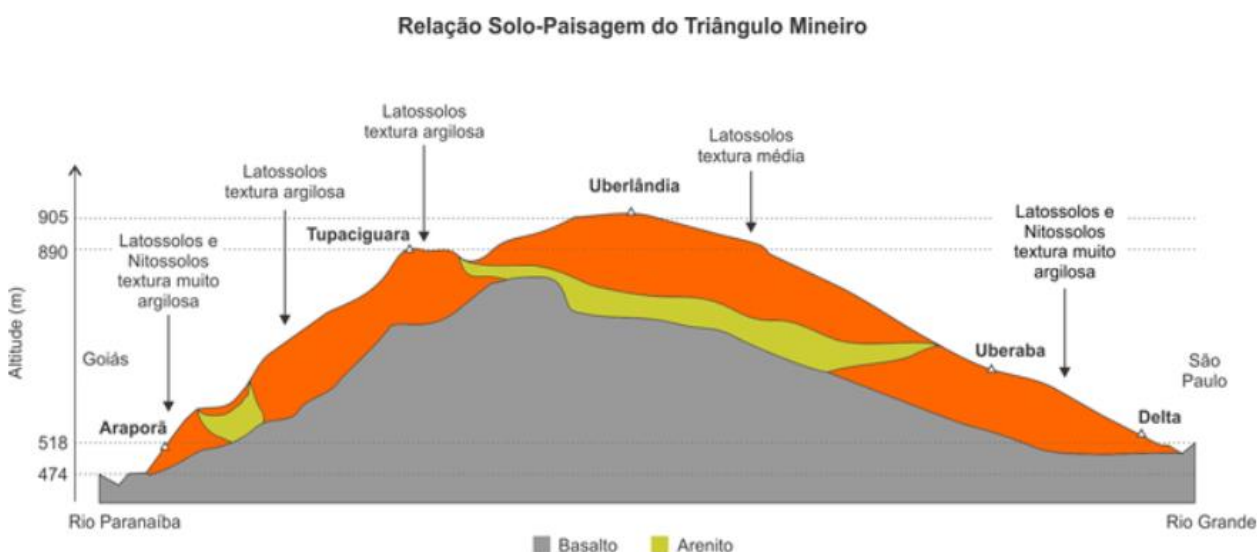
Um estudo semelhante realizado por Cazzeta e colegas., (2005), em Jaboticabal-SP, sob condições climáticas e de solo distintas, revelou que, 60 dias após a semeadura do milho, os resíduos vegetais provenientes do milho e da crotalária mantiveram uma cobertura de solo de 83% e 92%, respectivamente.

2.4 A importância de entender o comportamento das fontes em tipos de textura de Solo diferentes

De forma geral, nos solos tropicais, é comum encontrar teores de potássio (K) considerados baixos, geralmente inferiores a $1,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, esse fator se dá principalmente em função da sua alta mobilidade nos solos e suscetibilidade à lixiviação, Benites et al., (2010).

Como podemos observar na Figura 4, os solos da região do triângulo mineiro apresentam solos de diferentes tipos texturais. O se faz de uma importância entender a dinâmica das fontes alternativas de potássio em cada tipo de textura de solo, podendo apresentar de solos muito argilosos a solos de textura arenosa. Em regiões de veredas no Triângulo Mineiro, Ramos e seus colaboradores (2006) descrevem a presença de solos que variam em termos de textura Muito Argilosa, Argilosa ou Média, dependendo da superfície geomórfica associada e da localização topográfica.

Figura 4 – Solos - paisagens na região central, Triângulo Mineiro.



Fonte: Hélio e João Paulo de Carvalho (2023)

Os principais solos encontrados no Triângulo Mineiro incluem o Latossolo Vermelho Distrófico e o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Além desses, também estão presentes Plintossolo Pétrico, Neossolo, Flúvico Tb distrófico, Neossolo Quartzarênico e Gleissolo nas regiões de veredas, Brito., (2001).

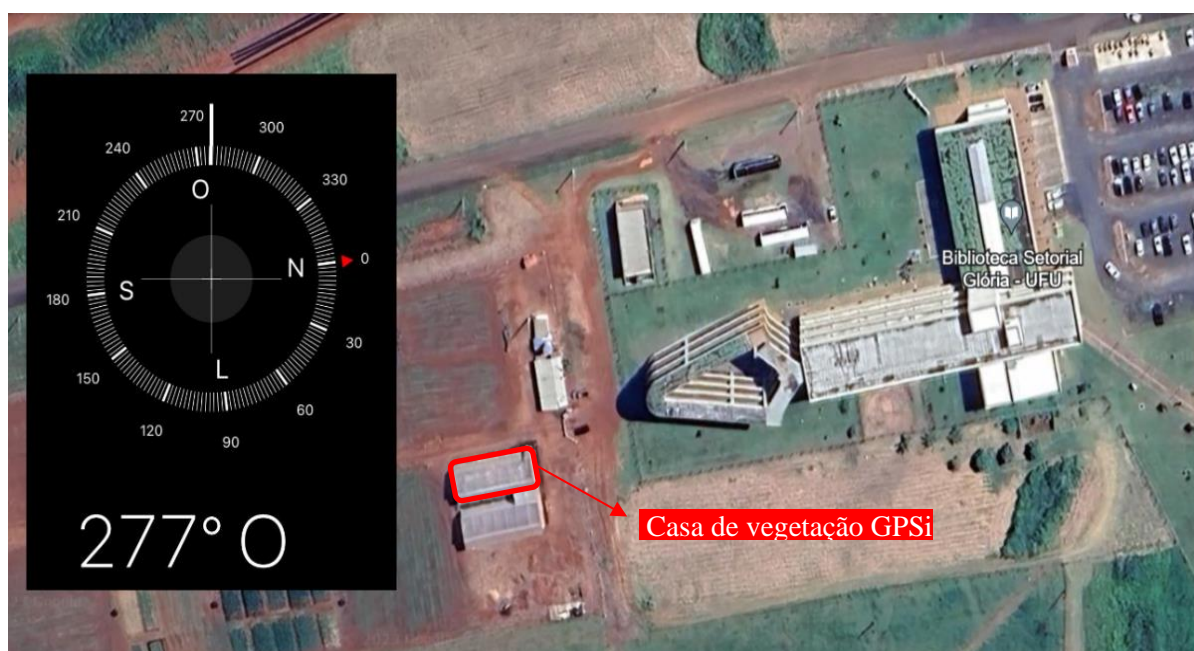
A capacidade de retenção de energia dos cátions trocáveis, como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , nas partículas coloidais do solo segue uma sequência conhecida como série liotrópica. Isso leva à maior perda de K por lixiviação em solos bem drenados, especialmente em solos com menor Capacidade de Troca de Cátions (CTC), uma característica que é comum em muitas áreas da região do Cerrado no Brasil, como mencionado por Raij (1991).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área

Os experimentos foram conduzidos durante a primeira safra do ano agrícola 2022/2023 no município de Uberlândia–MG, na casa de vegetação da Universidade Federal de Uberlândia, campos Glória (18°56'42.3"S 48°12'55.4"W), com altitude de 880 metros, onde após a implantação e semeadura do milho foi realizado dois cultivos consecutivos sem a adição de novas fontes de potássio. Conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Localização do experimento. Uberlândia - MG



Fonte: Google maps (2023).

3.2 Preparo do solo

O primeiro passo foi a obtenção de quatro diferentes texturas de solos das regiões próximas da cidade de Uberlândia, área rural de solo virgem, a partir da obtenção desses solos foi coletado amostras do mesmo para análises Físicas no LAFIS - Laboratório de Física do Solo – ICIAG, e análises químicas realizadas no LABAS - Laboratório de Análise de Solos e Calcários – ICIAG, obtendo as seguintes Tabelas 1 e 2, logo depois da caracterização e homogeneização do solo ele foi peneirado e distribuído 10 dm³ em baldes plásticos com 20 litros brancos, com furos no fundo para uma boa drenagem de água, também foi realizado a calagem e irrigação no mesmo, somente após o solo repousar por secar de um mês foi realizado o plantio da cultura de interesse.

TABELA 1: Caracterização física dos solos

Solo	Teores				Classe Textura
	Areia Grossa	Area Fina	Sílte	Argila	
	----- g kg ⁻¹ -----				
1	179	179	292	350	Argila
2	401	439	52	108	Arenoso
3	315	488	28	169	Média
4	118	55	209	617	Muito Argilosa

Observações: Para obter textura em % basta dividir os resultados por 10. %= g kg⁻¹/10.

TABELA 2: Caracterização química dos solos de textura: Argilosa (1), Arenosa (2), Média (3), Muito Argilosa (4).

Solo	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	T	T	C-org	V	M
	água	-----mg dm ⁻³ -----					-----dm ⁻³ -----			--dag kg ⁻¹ --	-----%-----		
1	7,4	5,2	30,2	2,75	1,78	0,0	0,7	4,9	4,9	5,6	0,7	87,0	0,0
2	6,7	1,5	56,9	1,75	0,12	0,0	0,5	2,0	2,0	2,5	0,5	78,7	0,0
3	5,1	4,1	16,1	0,01	0,01	0,4	3,4	0,1	0,5	3,5	0,5	1,7	86,4
4	6,6	0,6	195,4	1,39	0,61	0,0	1,4	2,5	2,5	3,9	0,5	63,6	0,0

	S	B	Zn	Cu	Mn	Fe	MO	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
	-----mg dm ⁻³ -----						dag kg ⁻¹			
1	3,2	0,02	4,9	0,83	5,9	12,1	1,2	1,6	8,2	5,3
2	43,7	0,01	0,9	0,98	1,0	35,9	0,9	14,0	11,7	0,8
3	11,7	0,01	0,7	1,12	1,5	35,7	0,9	1,0	0,2	0,2
4	10,1	0,01	1,1	1,05	1,3	13,0	0,9	2,3	2,8	1,2

pH em água, relação 1/2,5

P, K- Extrator Mehlich-1

Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ (Extrator KCl 1,0 mol/L)

H+Al (acidez potencial)

t= capacidade de troca catiônica efetiva (t=SB+Al³⁺)

m= saturação de Al³⁺ na CTC efetiva (m= 100 Al/t)

V= saturação por bases na CTC potencial (V= 100 SB/T)

MO (Matéria Orgânica) - Método Colorimétrico

S= fosfato monocálcico

T= capacidade de troca catiônica a pH 7,0

SB= soma de bases trocáveis (Ca, Mg, K e Na)

3.3 Delineamento experimental e tratamentos

O ensaio foi montado no Delineamento inteiramente casualizado, pois o deliniamento em questão é usado em locais onde as condições experimentais são controladas, como laboratórios, casas de vegetação e terrenos pouco heterogêneos. Onde as unidades experimentais são destinadas a cada tratamento de uma forma inteiramente casual.

Foram realizados quatro experimentos de forma simultânea, mudando apenas as características texturais e químicas de cada solo. Onde em cada experimento com sua respectiva textura de solo recebeu um tratamento de fontes de potássio na dose equivalente de 600 mg dm⁻³ de K₂O, como podemos observar na Tabela 3 a seguir, as fontes e suas doses correspondentes para fornecer a quantidade de K₂O pré-estabelecida.

TABELA 3: Identificação dos tratamentos utilizados, doses e teores de K₂O fornecidos

Trat.	Sigla	Identificação	Teor de K ₂ O total	Dose	K ₂ O fornecido
			%	g vaso ⁻¹	mg dm ⁻³
T1	Testemunha	Testemunha	-	-	-
T2	KCl*	KCl (Padrão)	60	10	600
T3	FO	Fonolito	8,50	70,59	600
T4	PT	Fonolito Hidrotermalizado	13,15	45,63	600
T5	RM	Glauconita de Goiás	5,81	103,27	600
T6	GLC	Glauconita Paraná	4,61	130,15	600
T7	KMCP	Kamafugito Carmo do Paranaíba	4,42	135,75	600
T8	KM	Resíduo de Verdete	3,46	173,41	600
T9	UP	Silicato de potássio	21,43	28,00	600
T10	KL	Sulfato de Potássio	52,4	11,45	600
T11	TM	Termofosfato Potássico	4,62	129,87	600
T12	TK	Termopotassio	7,88	76,14	600
T13	VD	Verdete	9,21	65,15	600

* Fertilizante padrão Cloreto de Potássio.

Os tratamentos do presente trabalho foram todos obtidos do acervo do Laboratório de Tecnologia de Fertilizantes (LAFER), que está vinculado ao (ICIAG) Instituto de Ciências Agrárias da UFU, os materiais estavam armazenados em forma de pó, acondicionados em recipientes de vidro bem conservados e vedados com tampas, sem exposição à umidade ou luz solar direta, protegidos de qualquer contaminação externa e isolados de fatores ambientais.

Figura 6 - Armazenamento dos tratamentos usados no trabalho.



3.4 Disposição dos experimentos dentro da casa de vegetação

Após a caracterização completa e os cálculos das doses e do tempo de repouso necessário para que a correção do solo fosse efetiva, foi realizado um sorteio aleatório para determinar as posições dos tratamentos dentro do experimento, de acordo com a textura correspondente de cada solo. No segundo cultivo, após a primeira colheita da parte aérea, aguardou-se um período de um mês, com irrigações semanais, para manter a atividade química do solo.

Na Figura 7, é possível visualizar a disposição dos diferentes tipos de solo dentro da casa de vegetação, assim como o espaço necessário para garantir que o experimento ocorra de maneira organizada e esteja em conformidade com os padrões experimentais requeridos para uma condução adequada do estudo.

Os croquis que mostram a disposição posicional e a execução simultânea dos experimentos do 1º e 2º cultivos estão apresentados nas Figuras 8 e 9, respectivamente. Eles incluem o tratamento e a posição espacial de cada experimento, utilizando siglas e cores correspondentes conforme descrito na Tabela 4.

Figura 7 - Disposição dos experimentos dentro da casa de vegetação durante a condução. Uberlândia, MG, 2024.

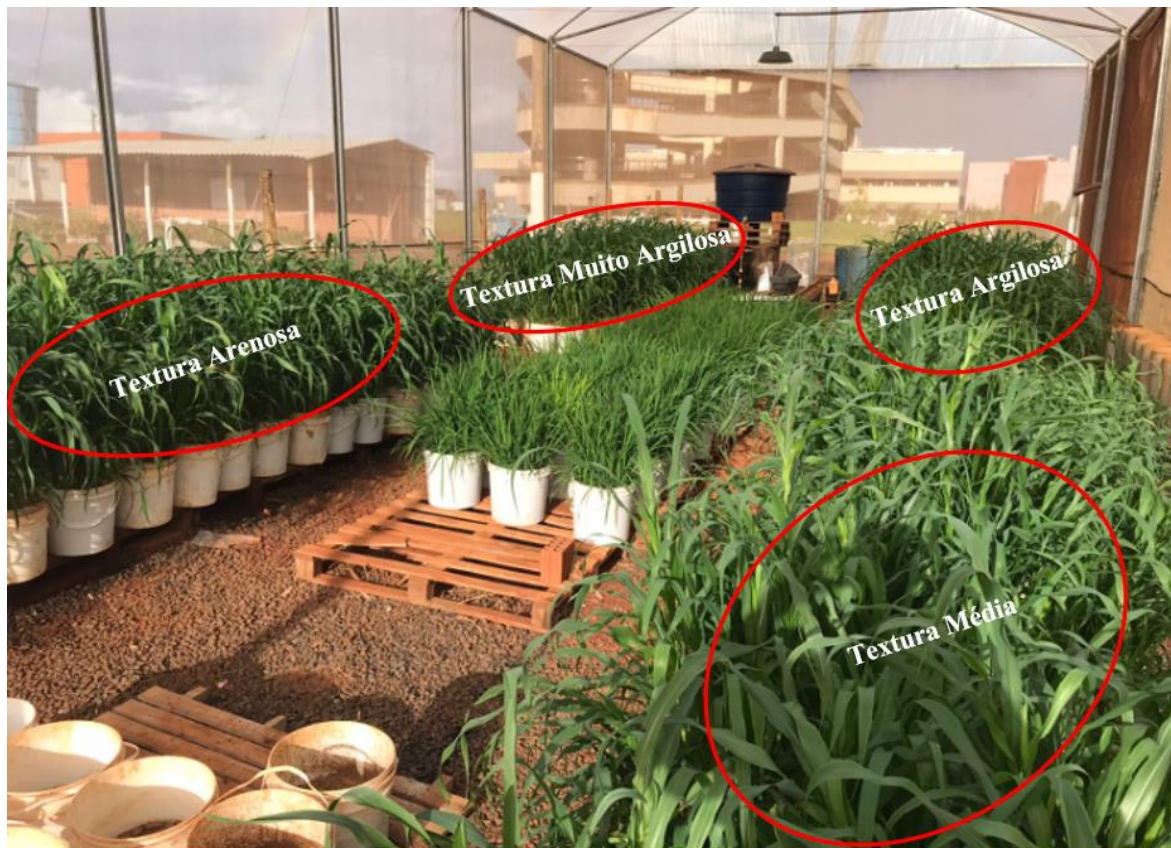


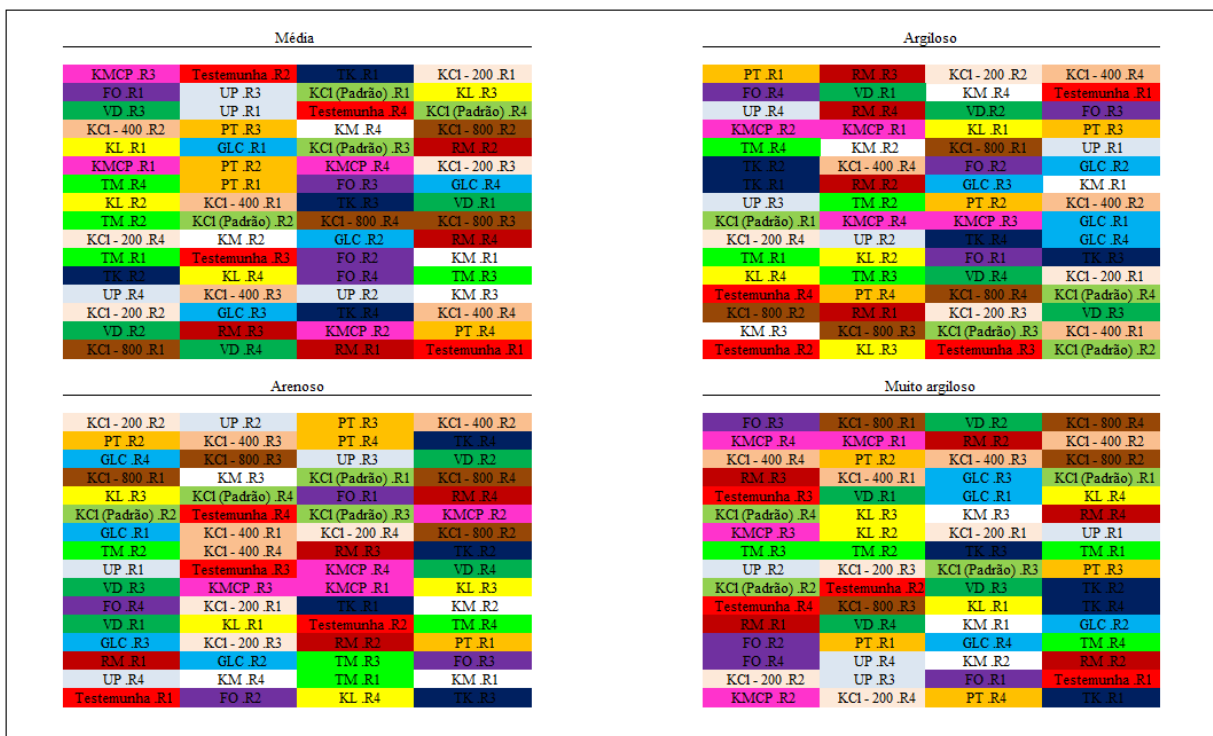
TABELA 4: Identificação de cada tratamento para interpretação do croqui de disposição dos vasos.

Sigla	Identificação
Testemunha	Testemunha
KCl (Padrão)	KCl (Padrão)
FO	Fonolito
PT	Fonolito Hidrotermalizado
RM	Glaucionita de Goiás
GLC	Glaucionita Paraná
KMCP	Kamafugito Carmo do Paranaíba
KM	Resíduo de Verdete
UP	Silicato de potássio
KL	Sulfato de Potássio
TM	Termofosfato Potássico
TK	Termopotássio
VD	Verdete
KCl - 200	KCl - 200 mg
KCl - 400	KCl - 400 mg
KCl - 800	KCl - 800 mg

Figura 8 - Croqui dos experimentos na casa de vegetação 1º cultivo.



Figura 9 - Croqui dos experimentos na casa de vegetação 2º cultivo.



3.5 Plantio e manejo da cultura

Após o peneiramento dos solos foi realizado a correção do mesmo onde cada vaso contendo 10 dm³ de solo recebeu uma aplicação de 12 g do produto Calcário Oxyfertil, subsequente com regas semanais ao logo de um mês para o solo se manter quimicamente ativo, foi realizado a aplicação dos tratamentos e a adubação com 5,35g de MAP (48% P₂O₅ + 9% N), com a semeadura logo em seguida de 20 sementes por vaso do milho variedade ADR300 (Variedade Palhada), com desbaste das plantas emergidas ocorrendo sete dias após a semeadura (DAS), para totalizar no total 10 plantas por vaso. O mesmo processo foi realizado no segundo cultivo, porém sem a nova adição dos tratamentos nos vasos. Foram realizados dois cultivos consecutivos sem a adição de novas doses, objetivando-se avaliar o efeito residual das fontes.

O controle fitossanitário das duas épocas de semeaduras foi feito com a utilização AMPLIGO® (150 ml ha⁻¹), Engeo® Pleno S (250 ml ha⁻¹) e PREMIO® STAR (250 ml ha⁻¹), para o controle principalmente de lepidópteros. Já para o controle de doenças fúngicas foi empregado o uso de TAMIZ® (400 ml ha⁻¹), o uso dos produtos fitossanitários foi empregado quando necessário nos dois cultivos e seguiu as boas práticas agrônômicas, com aplicação com bomba costal elétrica.

Figura 10 - Processos de condução: A - Aplicação dos tratamentos, B – Desbaste de plantas, C – Doença foliar no milho, D - Insetos encontrados. Uberlândia, MG, 2023.



O controle foi rápido e efetivo contra as pragas e doenças, diminuindo a possibilidade de danos aos experimentos, não influenciaram em nenhum desenvolvimento das plantas de milho em nenhum dos dois cultivos, foram apenas encontrados focos iniciais isolados.

3.6 Adubações e irrigação

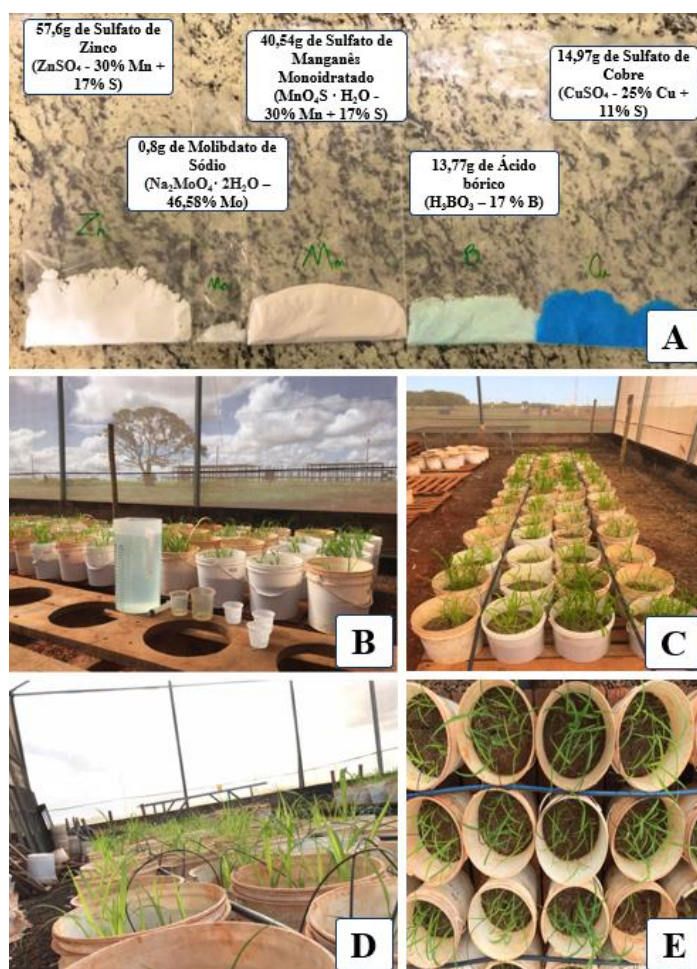
A adubação foi realizada de modo a não faltar nenhum elemento limitante para o desenvolvimento da planta de milho, deixando que o único fator limitante para ele fosse a disponibilidade de potássio (K) das fontes alternativas de potássio, tentou-se seguir ao máximo os mesmos processos no primeiro cultivo e segundo cultivo. Na semeadura foi realizado a adubação com 5,35 g vaso⁻¹ de MAP (48% P₂O₅ + 9% N), aos 18 DAS (dias após a semeadura) foi acrescentado 5,4 g vaso⁻¹ de Ureia.

Nos 26 ° DAS nos dois cultivos sempre foi realizado a adubação foliar com zinco (Zinco biometal®) e manganês (Manganês Biometal®), na forma de quelatos nas doses de 1 L ha⁻¹ e 1,2 L ha⁻¹ respectivamente, com o intuito de maximizar a produtividade de massa seca e o acúmulo de potássio na parte área.

Como e descrito pela EMBRAPA Milho e Sorgo (2016), a sensibilidade à carência de micronutrientes varia de acordo com a espécie vegetal em questão. De maneira geral, as gramíneas demonstram uma sensibilidade elevada à falta de zinco, uma sensibilidade média à carência de cobre, ferro e manganês, e uma sensibilidade baixa à falta de boro e molibdênio.

A cada 15 dias era realizada uma adubação líquida via solo com uma solução de micronutrientes para fornecer 0,81 g. dm⁻³ de Boro (B), 3,66 g. dm⁻³ de Manganês (Mn), 4 g. dm⁻³ de Zinco (Zn), 0,15g. dm⁻³ de Molibdênio (Mn) e 1,3 g. dm⁻³ de Cobre (Cu).

Figura 11 – Manejo realizado: A) Componentes para solução de micronutrientes, B) Dia de aplicação da solução, C) Disposição da irrigação, D e E) Irrigação por capilar. Uberlândia, MG, 2024.



3.7. AVALIAÇÕES

3.7.1. Massa seca da parte aérea (M.S)

A avaliação da parte aérea das plantas foi realizada colhendo-se as dez plantas por vaso. Em seguida, essas plantas foram acondicionadas em sacos de papel perfurados e levadas a uma estufa a 45 °C por 72 horas. Após a secagem, o material foi pesado em uma balança para determinar a massa seca da parte aérea das plantas por vaso. Esses valores foram registrados em ambos os cultivos, realizados em janeiro e abril de 2023.

O milho, por sua vez, foi colhido quando a folha bandeira da planta estava visível, o que ocorreu 40 dias após a semeadura em ambos os cultivos. Esse procedimento foi adotado para evitar a translocação dos nutrientes acumulados no limbo foliar para os grãos, que representam a principal fonte de drenagem de nutrientes.

3.7.2. Teor de potássio foliar (K)

Ao final de cada pesagem, foi coletada uma amostra de tecido vegetal de 0,5 gramas. Em seguida, realizou-se a digestão Nitro-Perclórica, conforme uma adaptação do método descrito por Sarruge e Haag (1974). O processo de preparação do extrato foi conduzido da seguinte forma:

Primeiramente, foram pesados 0,5 g do material moído em balança de precisão e transferidos para os tubos de digestão. Em seguida, adicionou-se 6 ml de ácido ($\text{HNO}_3 + \text{HCl } 4 \times 0,5$) aos tubos, que foram deixados em repouso durante a noite para permitir a completa digestão do material.

No dia seguinte, os tubos foram colocados no bloco digestor e o aquecimento foi iniciado. O aquecimento seguiu um protocolo específico: começou-se a 50°C por 15 minutos, em seguida, a temperatura foi aumentada para 75°C por mais 15 minutos. Posteriormente, foi aumentada para 120°C por 30 minutos e, em seguida, para 160°C até que não houvesse mais desprendimento de "fumos" avermelhados. O aquecimento foi então aumentado para 210°C até que não houvesse mais desprendimento de "fumos" brancos e o extrato atingisse um volume de 5 ml, como apresentado na figura 12.

Após o resfriamento dos tubos, adicionou-se 50 ml de água destilada previamente aquecida a 60°C . Os tubos foram agitados em um agitador de tubos e reservados em frascos de vidro de 100 ml durante uma noite para permitir a decantação de partículas suspensas.

Para garantir a precisão dos resultados, foi realizada uma prova em branco para cada série de 50 amostras. Foi pipetado 1 ml do extrato e adicionado a 9 ml de água, seguindo o mesmo procedimento para o branco e padrão do laboratório. Em seguida, os volumes foram transferidos para copos descartáveis pequenos.

Para a análise, a leitura foi feita no fotômetro de chama. Antes da análise, o equipamento foi ligado com 30 minutos de antecedência para estabilização da temperatura e procedeu-se à calibração utilizando a curva padrão como referência.

Figura 12 - A) Tubos com material durante a digestão foliar, B) Alíquota resultante da digestão foliar, C) Fotômetro de chama usado para a leitura de potássio, Uberlândia, MG, 2024.



3.7.3. Extração de potássio por vaso (EXTK)

Foram empregados os teores de potássio na parte aérea de dez plantas de milho, bem como sua massa seca, para calcular a quantidade de potássio extraída pelas plantas de milho em cada tratamento. Esse cálculo levou em conta como as diversas fontes interagiram em cada tipo de solo, junto com a aplicação de cada tratamento na dose equivalente, usando a seguinte fórmula:

$$\text{EXTK (mg vaso}^{-1}\text{)} = \text{MS (g vaso}^{-1}\text{)} \times \text{TK (g kg}^{-1}\text{)}$$

EXTK: Extração de potássio (K) por vaso em miligramas por vaso;

MS: Massa seca da parte aérea da planta com o tratamento correspondente, em gramas por vaso;

TK: Teor de potássio no tecido vegetal da amostra referente as dez plantas de milho de cada vaso e tratamento correspondente, em g por kg de massa vegetal.

3.7.4. Teor de silício foliar (Si)

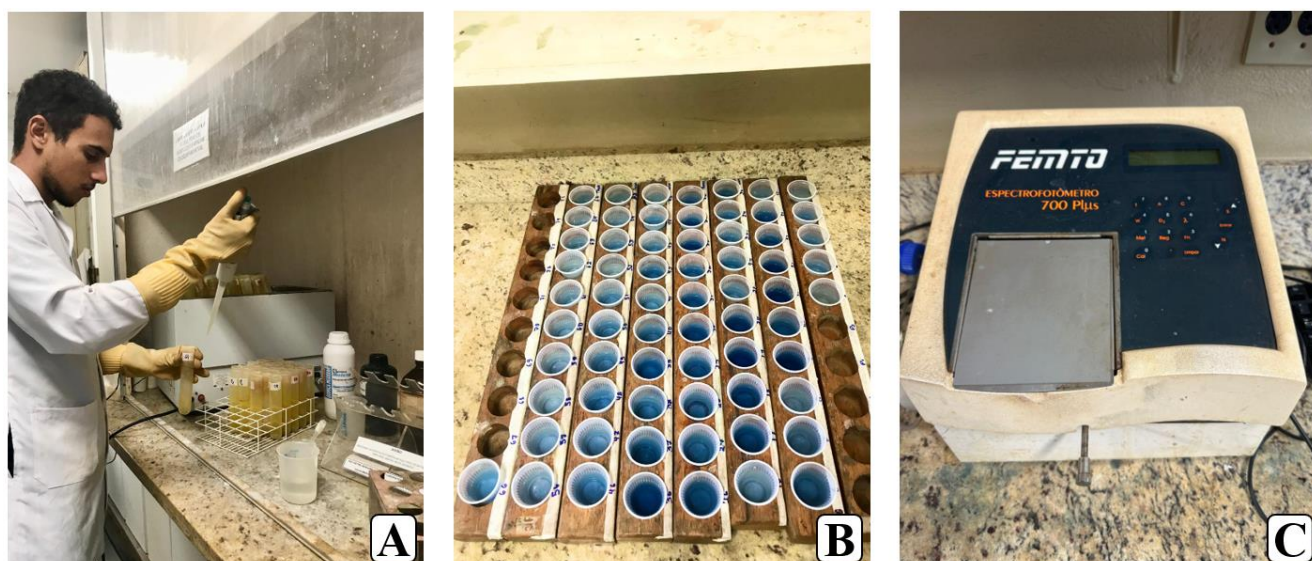
O processo de extração de silício nas plantas tem início com a queima e subsequente separação do carbono do tecido vegetal, utilizando água oxigenada (digestão). A adição de hidróxido de sódio tem o efeito de elevar o pH da solução extratora, o que aumenta a eficiência do peróxido de hidrogênio devido à menor concentração de íons hidrogênio, além de manter a sílica presente no tecido em solução. A quantificação do teor de silício no tecido vegetal é realizada por meio de colorimetria, conforme descrito por Elliott et al., (1991).

Neste estudo, adotou-se o método Azul (com bisulfito) para a análise. Para preparar as amostras, uma alíquota de 1 ml do sobrenadante do extrato foi transferida para um copo plástico de 50 ml. Em seguida, adicionou-se 19 mL de água ultrapura. Após essa etapa, 1 mL de HCl 20% (reagente A) foi introduzido em copos de 50 ml, com agitação leve, seguido pela adição de 1 mL do reagente B (molibdato de amônio), também com agitação suave.

Aguardou-se por 5 minutos. Posteriormente, acrescentou-se 2 mL do reagente C (ácido tartárico 20%) e esperou-se por 3 minutos. Em seguida, adicionou-se 2 mL do reagente D ANSA. Após um período de 40 minutos, a leitura foi realizada em um espectrofotômetro, a uma absorvância de 670 nm. Para um controle da leitura das soluções foi utilizado uma amostra em branco e uma amostra padrão do laboratório.

Na figura 13, mostra algumas etapas realizadas no processo de determinação de teor de silício foliar.

Figura 13 - A) Tubos com material durante a digestão foliar para análise de Sí foliar, B) Solução final após todo o processo de preparação, C) Espectrofotômetro utilizado para a leitura, Uberlândia, MG, 2024.



3.7.5. Extração de silício por vaso (EXTSi)

Com os teores de silício na parte aérea de dez plantas de milho, juntamente com sua massa seca, foram utilizados para determinar a quantidade de silício extraído pelas plantas. Isso foi feito considerando a interação das diferentes fontes em cada tipo de solo, em conjunto com a aplicação de cada tratamento na dose equivalente, conforme a seguinte equação:

$$\text{EXTSi (mg vaso}^{-1}\text{)} = \text{MS (g vaso}^{-1}\text{)} \times \text{TSi (g kg}^{-1}\text{)}$$

EXTSi: Extração de silício (Si) por vaso em miligramas por vaso;

MS: Massa seca da parte aérea da planta com o tratamento correspondente, em gramas por vaso;

TSi: Teor de silício no tecido vegetal da amostra referente as dez plantas de milho de cada vaso e tratamento correspondente, em g por kg de massa vegetal.

3.7.6. Índice de eficiência agronômica (IEA)

Com os dados de MS (massa seca) da parte aérea das 10 plantas de milho, calculou-se o índice de eficiência agronômica (IEA) das fontes para cada tipo de solo com a aplicação de cada tratamento e na dose equivalente, conforme a seguinte equação:

$$\text{IEA (\%)} = \frac{Y_2 - Y_1}{Y_3 - Y_1} \times 100$$

Y₁: Massa seca da parte aérea do tratamento controle sem a adição de fontes de potássio testemunha absoluta;

Y₂: Massa seca da parte aérea do tratamento com a fonte alternativa de potássio, na dose equivalente a 600 mg dm⁻³ de K₂O;

Y₃: Massa seca da parte aérea do tratamento com a fonte padrão de KCl, na dose equivalente a 600 mg. dm⁻³ de K₂O.

3.8. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados de cada variável foram submetidos à análise de variância, utilizando o programa estatístico SISVAR, Ferreira (2008), com teste de Scott-Knott a 0,05 de significância e análise de regressão polinomial. Ademais, os tratamentos foram comparados ao tratamento testemunha absoluta (dose 0) e testemunha Padrão (dose 600 mg. dm⁻³ de K₂O).

Para a variável Índice de eficiência agrônômica foi adotado o teste de Dunnett, utilizando o programa RStudio, buscando comparar os tratamentos com um único controle, tratamento T2- Cloreto de Potássio, com os demais tratamentos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Massa seca da parte aérea (M.S)

De acordo com a pesquisa realizada por Braz et al., (2004), aos 52 dias após a emergência das plantas de milho, os resultados revelaram um acúmulo de massa seca que excedeu 12.000 kg por hectare. Esse notável acúmulo de matéria seca demonstra, em parte, a impressionante capacidade do milho de acumular nutrientes, que, posteriormente, serão disponibilizados para a cultura subsequente por meio da decomposição e mineralização dos resíduos da cultura.

Os solos de textura Argilosa e Média não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos dentro de cada textura de solo, quando comparados entre si pelo teste de Scott-knott 5% de significância, no primeiro cultivo. Assim como no acumulado entre os dois cultivos consecutivos dos solos de textura argilosa, média e muito argilosa, como podemos observar na Tabela 5.

Seguy e Bouzinac (1995), conduziram um estudo em Sistema de Semeadura Direta (SSD) na região Norte do Mato Grosso, empregando tanto gramíneas quanto leguminosas. Os resultados evidenciaram que o milho foi capaz de produzir uma massa seca que variou de 3,3 a 10,0 mg ha⁻¹, sendo essa variação atribuída às diferenças na fertilidade do solo. Conforme os autores, o milho, seja semeado no início da estação chuvosa (setembro) ou em sucessão à cultura de verão, desempenhou um papel eficaz na supressão das plantas invasoras e na reciclagem de nutrientes, graças ao seu sistema radicular profundo, que atingiu uma

profundidade de 1,4 a 1,5 metros, isso demonstra que, em condições ideais, o milho é um excelente formador de massa seca, desempenhando um papel importante conforme evidenciado pelo trabalho realizado.

O milho desempenha um papel crucial na agricultura devido à sua capacidade de melhorar a fertilidade do solo, conforme Pereira-Filho et al. (2005), resultados experimentais e práticos destacam o milho como uma eficaz “bomba” de nutrientes principalmente o potássio, dada sua notável habilidade de extrair nutrientes do solo, em comparação com diversas outras culturas agrícolas, além suprimir ervas daninhas, conservar água. Sua adaptabilidade a condições adversas, como seca e solos pobres, faz dele uma cultura valiosa para regiões propensas a esses desafios. Além disso, o milho é uma alternativa sustentável que contribui para a diversificação das culturas e a segurança alimentar.

Essas afirmações reforçam a importância de se estudar a cultura do milho, bem como sua versatilidade. Fica evidente que o milho responde bem em relação à produção de massa seca quando são fornecidos os nutrientes que promovem seu crescimento e desenvolvimento de maneira eficiente.

Portanto, no presente trabalho, foram fornecidas todas as condições ideais de crescimento, sendo a disponibilidade de potássio das fontes alternativas o único fator limitante para a massa seca do milho, conforme demonstrado na tabela 5.

TABELA 5: Médias provenientes do teste de médias Scott-knott 5% de significância, solo 1, 2, 3, 4 em função das fontes alternativas de potássio no solo na cultura do Milheto *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. na variável analisadas Massa Seca da planta parte área de 10 plantas por vaso e acúmulo médio dos dois cultivos consecutivos. (**Massa Seca**). Uberlândia, MG- Maio de 2024.

	Massa Seca (M.S)											
	Argiloso			Arenoso			Média			Muito Argiloso		
	1°	2°	Acumulado	1°	2°	Acumulado	1°	2°	Acumulado	1°	2°	Acumulado
	-----g. vaso ⁻¹ -----											
T1	35,0 ^{ns}	5,4b	40,4 ^{ns}	22,4d	16,2b	38,6c	53,1 ^{ns}	6,6b	59,7 ^{ns}	10,9b	21,1 ^{ns}	32,0 ^{ns}
T2	57,7 ^{ns}	6,6b	64,3 ^{ns}	77,7a	17,1b	94,8a	71,6 ^{ns}	17,2a	88,8 ^{ns}	27,6a	14,3 ^{ns}	41,9 ^{ns}
T3	48,9 ^{ns}	24,6a	73,5 ^{ns}	40,9c	22,3b	63,2b	57,9 ^{ns}	7,3b	65,2 ^{ns}	39,4a	13,2 ^{ns}	52,6 ^{ns}
T4	37,5 ^{ns}	10,9b	48,4 ^{ns}	42,9c	36,3a	79,2b	66,6 ^{ns}	18,6a	85,1 ^{ns}	11,8b	16,5 ^{ns}	28,3 ^{ns}
T5	45,8 ^{ns}	10,9b	56,7 ^{ns}	27,5d	25,9a	53,4c	39,6 ^{ns}	8,6b	48,2 ^{ns}	14,1b	22,8 ^{ns}	36,9 ^{ns}
T6	41,1 ^{ns}	19,5a	60,6 ^{ns}	59,5b	19,0b	78,6b	80,6 ^{ns}	12,4a	93,0 ^{ns}	35,9a	21,0 ^{ns}	56,9 ^{ns}
T7	48,6 ^{ns}	15,8a	64,5 ^{ns}	44,4c	31,4a	75,8b	56,8 ^{ns}	16,3a	73,1 ^{ns}	25,3a	14,5 ^{ns}	39,8 ^{ns}
T8	35,6 ^{ns}	7,9b	43,6 ^{ns}	43,8c	26,7a	70,6b	57,7 ^{ns}	6,2b	64,0 ^{ns}	28,6a	18,3 ^{ns}	42,3 ^{ns}
T9	40,5 ^{ns}	16,1a	56,5 ^{ns}	65,1b	29,9a	95,0a	34,7 ^{ns}	21,6a	56,3 ^{ns}	39,7a	21,7 ^{ns}	61,4 ^{ns}
T10	55,1 ^{ns}	14,4a	69,5 ^{ns}	80,9a	26,0a	106,9a	55,6 ^{ns}	7,4b	63,0 ^{ns}	51,3a	21,7 ^{ns}	73,0 ^{ns}
T11	49,1 ^{ns}	9,9b	59,0 ^{ns}	52,8c	14,3b	67,1b	39,9 ^{ns}	2,6b	42,3 ^{ns}	29,1a	21,3 ^{ns}	50,4 ^{ns}
T12	47,9 ^{ns}	10,6b	58,5 ^{ns}	39,3c	24,7a	64,0b	51,9 ^{ns}	18,0a	69,9 ^{ns}	32,4a	12,0 ^{ns}	44,4 ^{ns}
T13	47,0 ^{ns}	5,0b	52,0 ^{ns}	40,6c	23,7a	64,2b	51,1 ^{ns}	17,0a	68,1 ^{ns}	29,1a	14,5 ^{ns}	43,6 ^{ns}
CV (%)	22,29*	26,69*	19,46*	26,21	33,88	20,47	34,40	19,42*	29,14	28,29*	28,17*	21,56*

(T1 - Testemunha, T2 - KCl (Padrão), T3 - Fonolito, T4 - Fonolito Hidrotermalizado, T5 - Glauconita de Goiás, T6 - Glauconita Paraná, T7 - Kamafugito Carmo do Paranaíba, T8 - Resíduo de Verdete, T9 - Silicato de Potássio, T10 - Sulfato de Potássio, T11 - Termofosfato Potássico, T12 - Termopotassio, T13 - Verdete).

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna pelo teste de Scott-knott 5% de significância.

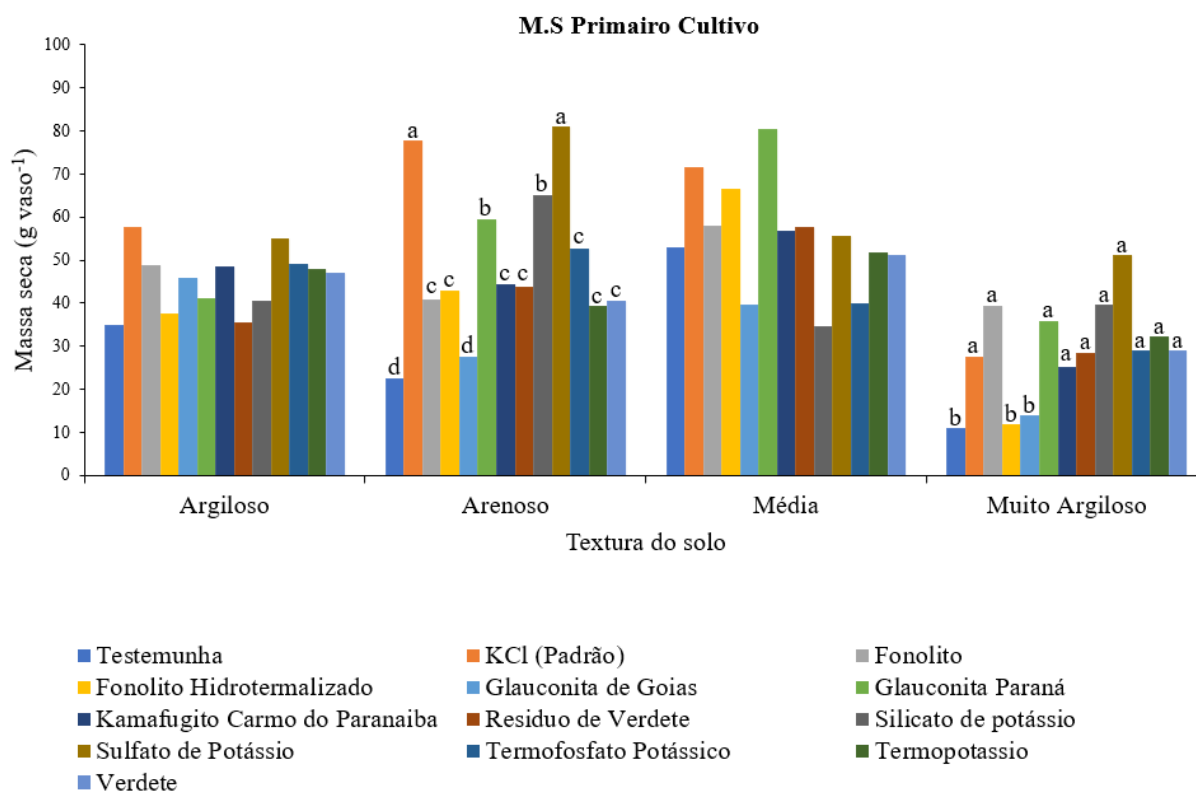
CV= coeficiente de variação. * Dados transformados = \sqrt{X} . 1° = Primeiro cultivo 2°= Segundo cultivo

Acumulada = Referente ao acúmulo de massa seca dos dois cultivos consecutivos referentes (soma de massa seca dos dois cultivos).

Uma observação relevante é que os tratamentos não devem ser comparados entre as diferentes texturas do solo. Essa comparação seria inadequada, visto que cada solo possui características químicas distintas, e o comportamento das fontes de nutrientes pode variar conforme os teores de argila e a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) do solo.

É perceptível que, no solo com textura Argilosa e textura Média durante o primeiro ciclo de cultivo, não se observou uma diferença estatisticamente significativa quando os tratamentos foram submetidos a uma análise de médias por meio do teste de Scott-Knott com um nível de significância de 5%, para a variável massa seca no primeiro cultivo, figura 14.

Figura 14 - Comportamento da massa seca no primeiro cultivo em função das fontes alternativas de potássio em quatro texturas de solo diferentes. Barras com letras minúsculas em cima apresentam diferença estatísticas dentro da mesma textura de solo pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Uberlândia, MG- Maio / 2024.



Nos solos de textura Arenosa, o tratamento com a fonte de Sulfato de potássio apresentou valores de massa seca estatisticamente iguais à fonte padrão de Cloreto de Potássio, o que demonstra uma solubilidade semelhante entre os dois tratamentos. Posteriormente, destacaram-se também a Glaucionita do Paraná e o Silicato de Potássio, demonstrando que essas

fontes são possivelmente mais solúveis em comparação com as demais fontes estudadas, resultando em uma boa resposta de massa seca, mas que não corresponde à mesma observada com o Cloreto de Potássio e o Sulfato de Potássio.

Segundo informações da SQM-VITAIS., (2021), o Sulfato de Potássio possui uma concentração de 52% de K_2O em sua formulação, além de conter Enxofre na forma do íon Sulfato (SO_4^{2-}). Essa fonte de potássio apresenta um menor teor de sais em comparação com o Cloreto de Potássio, também fornece Enxofre, que é classificado como um macronutriente secundário.

O uso de sulfato de potássio é uma técnica frequentemente empregada na agricultura de hortaliças no território brasileiro, uma das limitações associadas ao sulfato de potássio reside em seu custo mais elevado e em sua menor solubilidade, contrastando com o cloreto de potássio, que é mais econômico e solúvel. No entanto, a utilização do cloreto de potássio pode ser desvantajosa para determinadas culturas que são sensíveis ao cloro, tais como a batata, o tabaco, a cebola e diversas frutas e vegetais, tornando, assim, o sulfato de potássio uma alternativa mais apropriada, Cibra (2023). Portanto, é crucial buscar novas fontes de potássio, mesmo que elas não proporcionem um aumento significativo na massa seca, considerando que o uso de cloreto de potássio pode ter efeitos negativos em algumas culturas.

Tanto no solo de textura Arenosa e Muito Argilosa a Glauconita de Goiás não se mostrou muito responsiva a em relação geração de massa seca da parte aérea por vaso sendo estatisticamente igual a testemunha nos dois solos. O Fonolito se mostrou uma fonte mais responsiva na produção de massa seca quando comprado com as demais fontes em solos de textura Muito Argilosos. As frações de Fonolito apresentam cerca de 7,0% de K_2O , bem como nutrientes como silício, ferro, cálcio e manganês, que são essenciais para o crescimento das plantas. No entanto, é fundamental conduzir uma avaliação da possível liberação de metais potencialmente tóxicos da rocha, como cromo e cádmio, quando ela entra em contato com extratores apropriados. São necessários mais estudos em relação essa fonte visando determinar se esses metais podem se acumular no solo quando a rocha é aplicada, conforme destacado por Teixeira et al., (2012).

Alguns tratamentos já demonstram promissora eficácia no primeiro ciclo de cultivo, mesmo em um curto período no solo. O tratamento T5, que envolve o uso de Glauconito do Paraná, embora seja conhecido por ser uma fonte alternativa de potássio de liberação lenta, mostrou-se altamente responsivo no presente estudo, Pereira et al., (2019) com a condução de estudos utilizando a Glauconita para avaliar a extração de potássio utilizados extração dos sistemas processados termicamente em ácido cítrico, concluiu, que utilizando processamento

térmico da mistura (verdete, CaCO_3 , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) na proporção mássica de 1,0:0,2;0,3 foi eficiente no aumento da disponibilidade e solubilização do potássio, resultando em até 78% de extração de K em uma solução de ácido cítrico a 2% (m/m), além da observação da formação de silvita, comprovando o deslocamento do potássio da estrutura dos filossilicatos o que só confirma o potencial dessa fonte alternativa com potencial uso na agricultura em larga escala.

Uma observação interessante é que ao, observamos o tratamento T4 (Fonolito Hidrotermal), este se saiu melhor em solo de textura Arenosa do que em solos de textura Muito Argilosa, mostrando uma interação entre fonte alternativa e textura de solo.

Nesse primeiro cultivo, podemos observar na figura 14, de maneira geral no solo de textura Arenosa, as fontes T5 e T1 (Glaucionita de Goiás e Testemunha), apresentaram as piores medias para a variável Massa Seca de plantas de Milheto, 27,5 e 22,4 gramas por vaso, respectivamente. A fonte T10 (Sulfato de Potássio), mostrou-se estatisticamente igual a fonte T2 (KCl- Padrão), alcançando os maiores valores médios de Massa Seca em gramas, além de ser possível notar uma grande discrepância entre esses valores quando comparados com a testemunha absoluta sem a adição de qualquer tratamento.

Logo depois as fontes alternativas T6 e T9 (Glaucionita Paraná e Silicato de Potássio), ficando logo abaixo das fontes T2 e T10, as demais fontes apresentaram comportamentos semelhantes para essa textura de solo apresentando valores médios de entre 52,8 a 39,3 gramas de Massa Seca por vaso com dez plantas de milho.

Já no solo de Textura Muito Argilosa, T1 (Testemunha), T4 (Fonolito Hidrotermalizado) e T5 (Glaucionita de Goiás), foram estatisticamente iguais apresentando as piores medias de Massa Seca por vaso. Todas as demais fontes utilizadas foram estatisticamente iguais à fonte T2 (KCl – Padrão), algumas apresentando até valores numericamente maiores que o tratamento T2, como exemplo a fonte Silicato de Potássio, que foi a fonte que numericamente foi maior nas duas texturas de solo que apresentaram diferença significativa entre as fontes alternativas de potássio estudadas, o que mostrou uma disponibilidade potássica a curto prazo muito semelhante à do cloreto de potássio, tornando-se facilmente disponível para a planta absorver na forma iônica.

Outro processo realizado neste trabalho foi a documentação da diferença visual entre as plantas com seus diferentes tratamentos, para uma compreensão mais prática do que os números nos mostram. O critério de escolha das plantas para a documentação foi o segundo melhor vaso de cada tratamento, a fim de eliminar a discrepância entre as quatro repetições, presentes nas Figuras 15, 16, 17 e 18.

Figura 15 – As imagens documentam as plantas colhidas no final do primeiro ciclo de cultivo em solo com textura **Argilosa**, juntamente com suas respectivas tratamentos aplicados. A cota presente na fita métrica, adjacente a cada planta, representa incrementos de 10 centímetros, delineados por diferentes cores.

Uberlândia, MG, Maio de 2024.

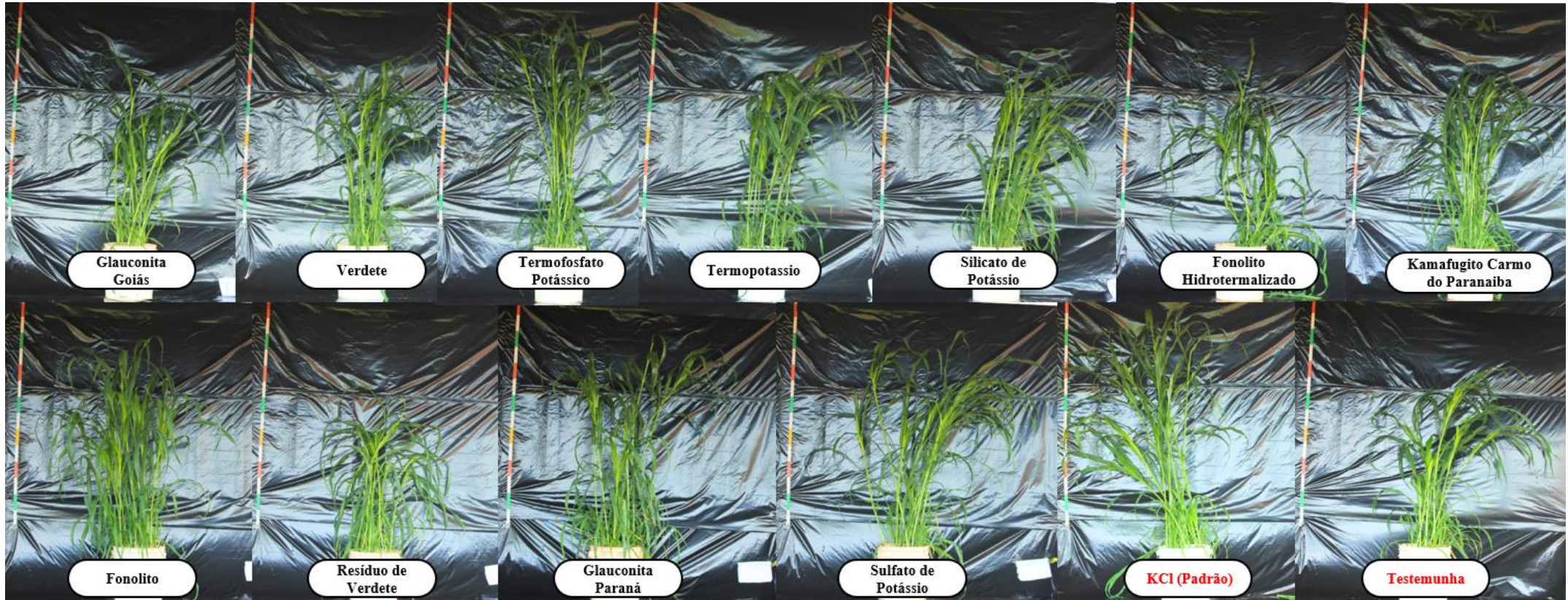


Figura 16 – As imagens documentam as plantas colhidas no final do primeiro ciclo de cultivo em solo com textura **Arenosa**, juntamente com suas respectivas tratamentos aplicados. A cota presente na fita métrica, adjacente a cada planta, representa incrementos de 10 centímetros, delineados por diferentes cores.

Uberlândia, MG, Maio de 2024.

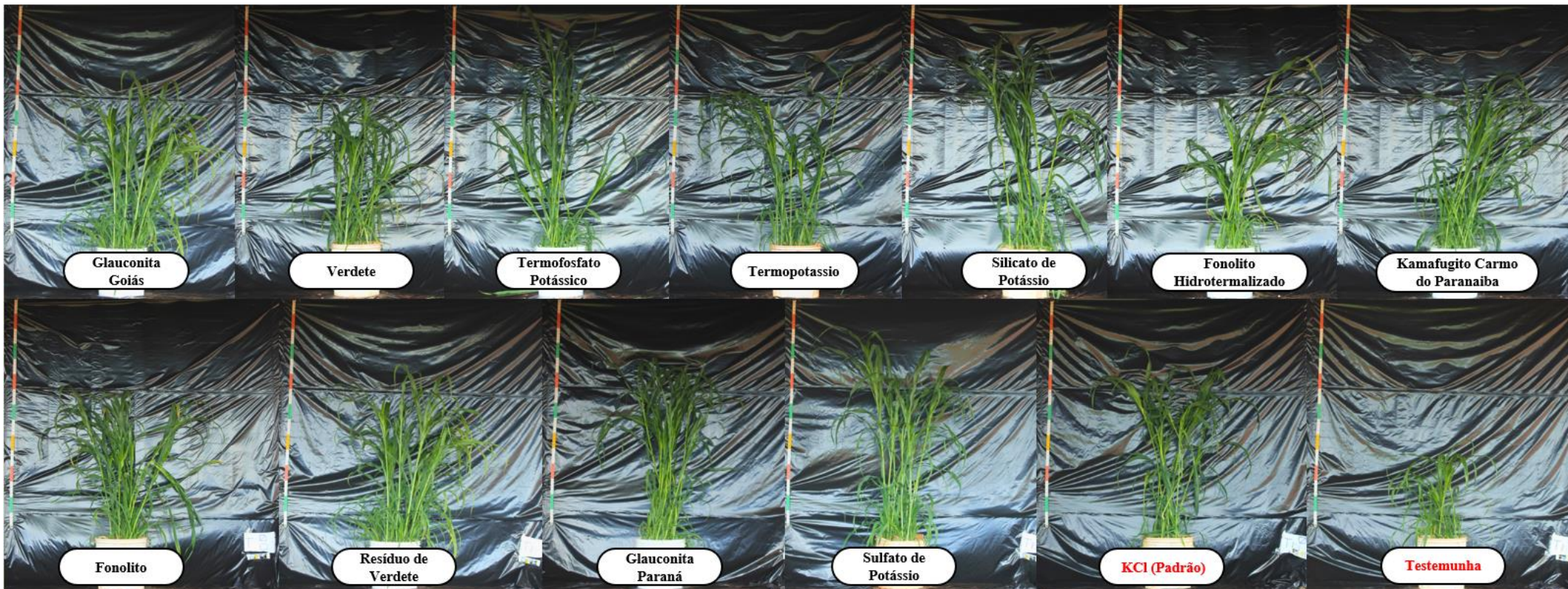


Figura 17 – As imagens documentam as plantas colhidas no final do primeiro ciclo de cultivo em solo com textura **Média**, juntamente com suas respectivas tratamentos aplicados. A cota presente na fita métrica, adjacente a cada planta, representa incrementos de 10 centímetros, delineados por diferentes cores. Uberlândia, MG, Maio de 2024.

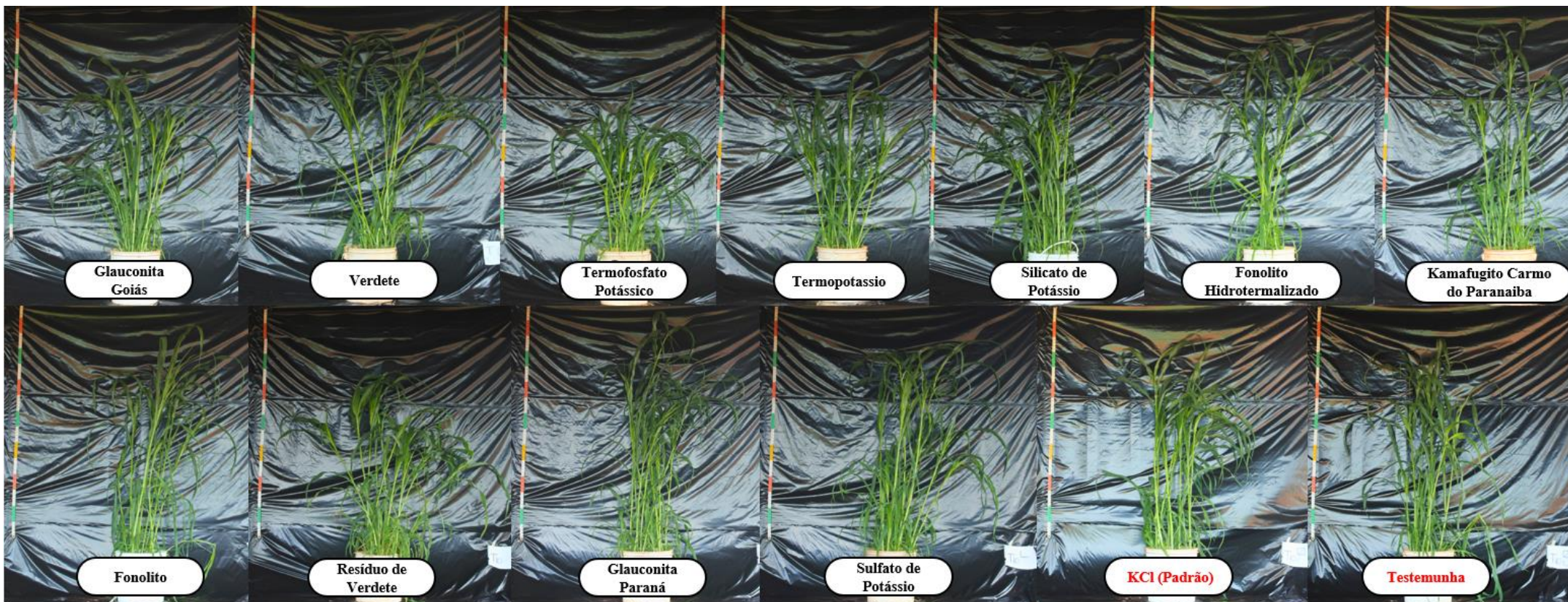
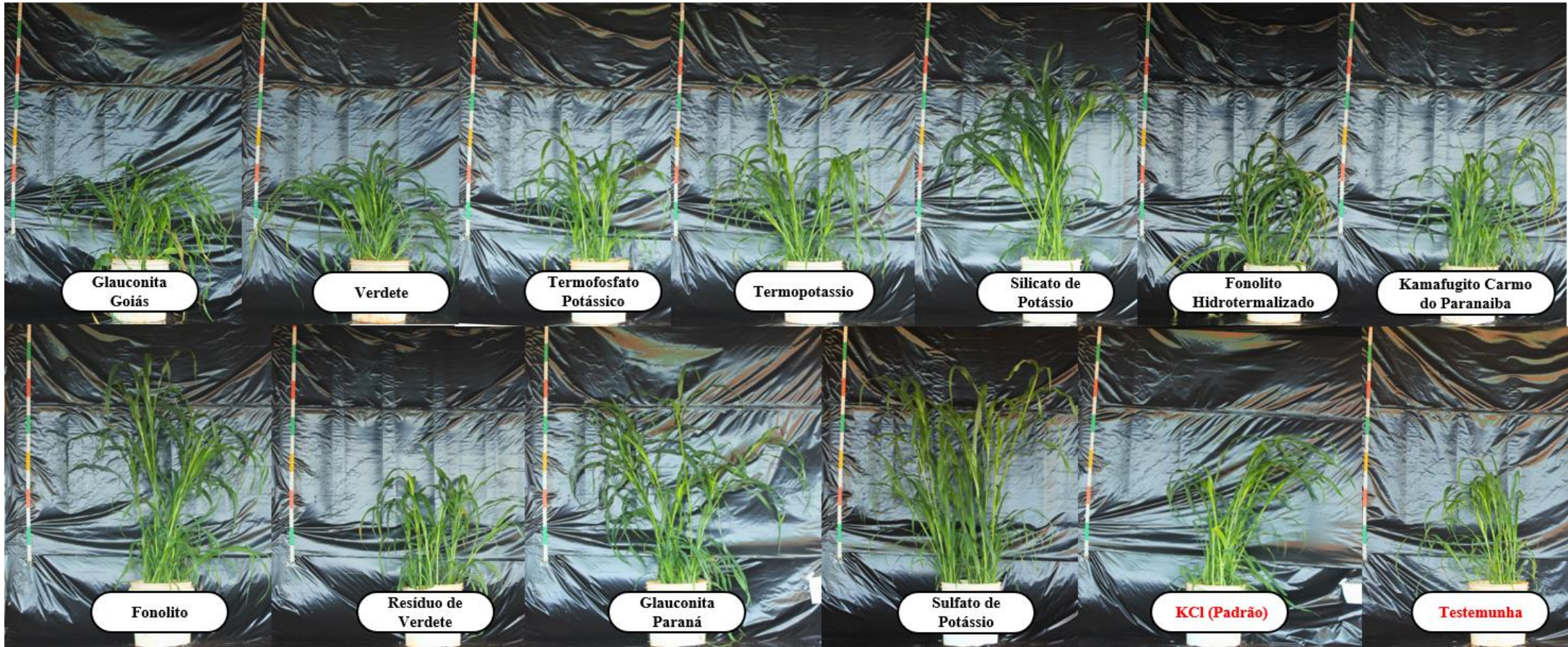
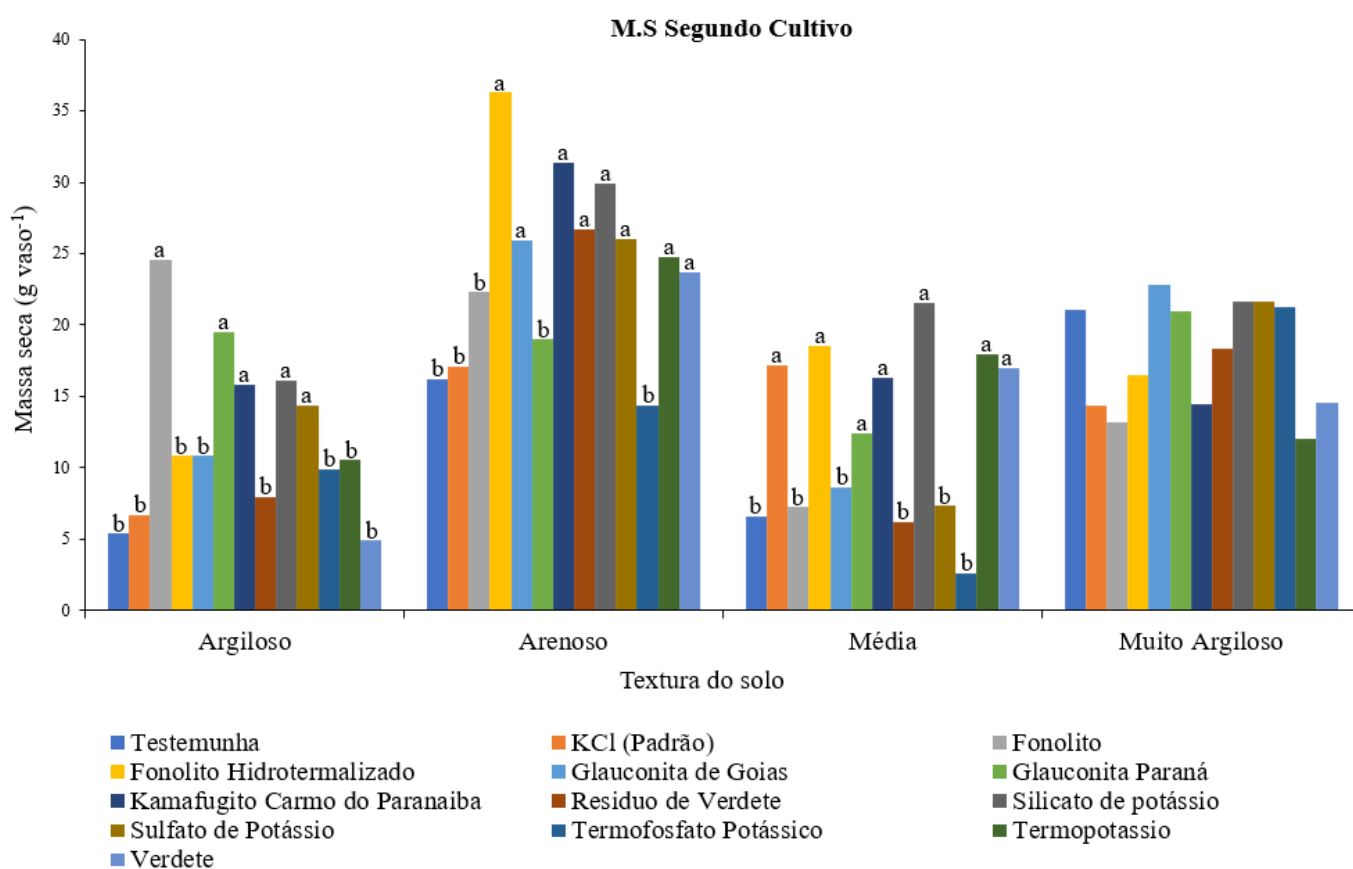


Figura 18 – As imagens documentam as plantas colhidas no final do primeiro ciclo de cultivo em solo com textura **Muito Argilosa**, juntamente com suas respectivas tratamentos aplicados. A cota presente na fita métrica, adjacente a cada planta, representa incrementos de 10 centímetros, delineados por diferentes cores. Uberlândia, MG, Maio de 2024.



Quando observamos a figura 19, referente a segunda colheita, podemos notar que os tratamentos T2 com a fonte padrão KCl não apresentam mais um efeito residual significativo, influenciando pouco na capacidade de geração de Massa Seca das plantas de Milheto. Estatisticamente, ela se torna igual à testemunha absoluta, sem a adição de nenhum tratamento, na textura de solos Argiloso, Arenoso e Média. Não apresentando diferença significativa no solo de textura Muito Argiloso.

Figura 19 - Comportamento da massa seca parte aérea no segundo cultivo em função das fontes alternativas de potássio em quatro texturas de solo diferentes. Letras minúsculas comparam média de massa seca dos tratamentos dentro de uma mesma textura de solo pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Uberlândia, MG- Maio/2024.



Os tratamentos com fontes alternativas de potássio apresentaram alto efeito residual, quando comparados com as testemunhas absolutas e padrão. Além disso suas respostas foram diferentes dependendo da textura de solo, o que comprova que sua dinâmica no solo a e liberação de potássio e outros elementos, está diretamente relacionado com a física e a química presentes em cada textura de solo, pesquisas nesse âmbito são de suma importância, para entender um melhor posicionamento dessas fontes alternativas de acordo com a textura do solo em que se deseja fazer o uso delas.

Portanto, é de extrema importância que as rochas empregadas como fertilizantes demonstrem uma eficiência residual, assegurando o fornecimento de potássio para as plantas em cultivos subsequentes, como discutido por Oliveira et al., (2006).

Os tratamentos T7 – Kamafugito Carmo do Paranaíba e o T9 - Silicato de Potássio se mostraram responsivos tanto em solos de textura Argilosa como também em solos de textura Arenosa e Média, quando comparado aos demais tratamentos so indica uma alta versatilidade de uso dessas fontes em diferentes texturas de solos e uma boa resposta em relação à variável Massa Seca, quando comparadas com a testemunha absoluta e a fonte convencional de potássio.

No solo de textura Argilosa, os tratamentos T3 – Fonolito, T6 - Glauconita Paraná, T9 - Silicato de Potássio, T7 - Kamafugito Carmo do Paranaíba e T10 -Sulfato de Potássio, apresentaram as maiores médias de Massa Seca respectivamente, sendo estatisticamente iguais, e todos superiores quando comparado as fontes T1 – Testemunha Absoluta e T2 – KCl (Padrão).

No solo de textura Arenosa, ao observarmos a resposta do tratamento T4 - Fonolito Hidrotermalizado, na primeira colheita (Gráfico 1) em comparação com a segunda colheita (Gráfico 2), nota-se que essa fonte apresenta uma resposta mais a longo prazo do que em primeiro plano. Em geral, a maioria das fontes apresentou uma resposta residual maior e mais responsiva para a planta de milho, impactando na formação de Massa Seca. Somente as fontes alternativas T3 - Fonolito, T6 - Glauconita Paraná e T11 - Termofosfato Potassíca apresentaram valores estatisticamente iguais à testemunha e à fonte padrão.

Já na textura Média, as fontes alternativas T4 - Fonolito Hidrotermalizado, T6 - Glauconita Paraná, T7 - Kamafugito Carmo do Paranaíba e o T9 - Silicato de Potássio forma estatistimante iguais a fonte padrão e melhores que a testemunha absoluta.

Nas Figuras 20, 21, 22 e 23, a documentação das plantas ao final do segundo ciclo.

Figura 20 – As imagens documentam as plantas colhidas no final do segundo ciclo de cultivo em solo com textura **Argilosa**, juntamente com suas respectivas tratamentos aplicados. A cota presente na fita métrica, adjacente a cada planta, representa incrementos de 10 centímetros, delineados por diferentes cores.

Uberlândia, MG, Maio de 2024

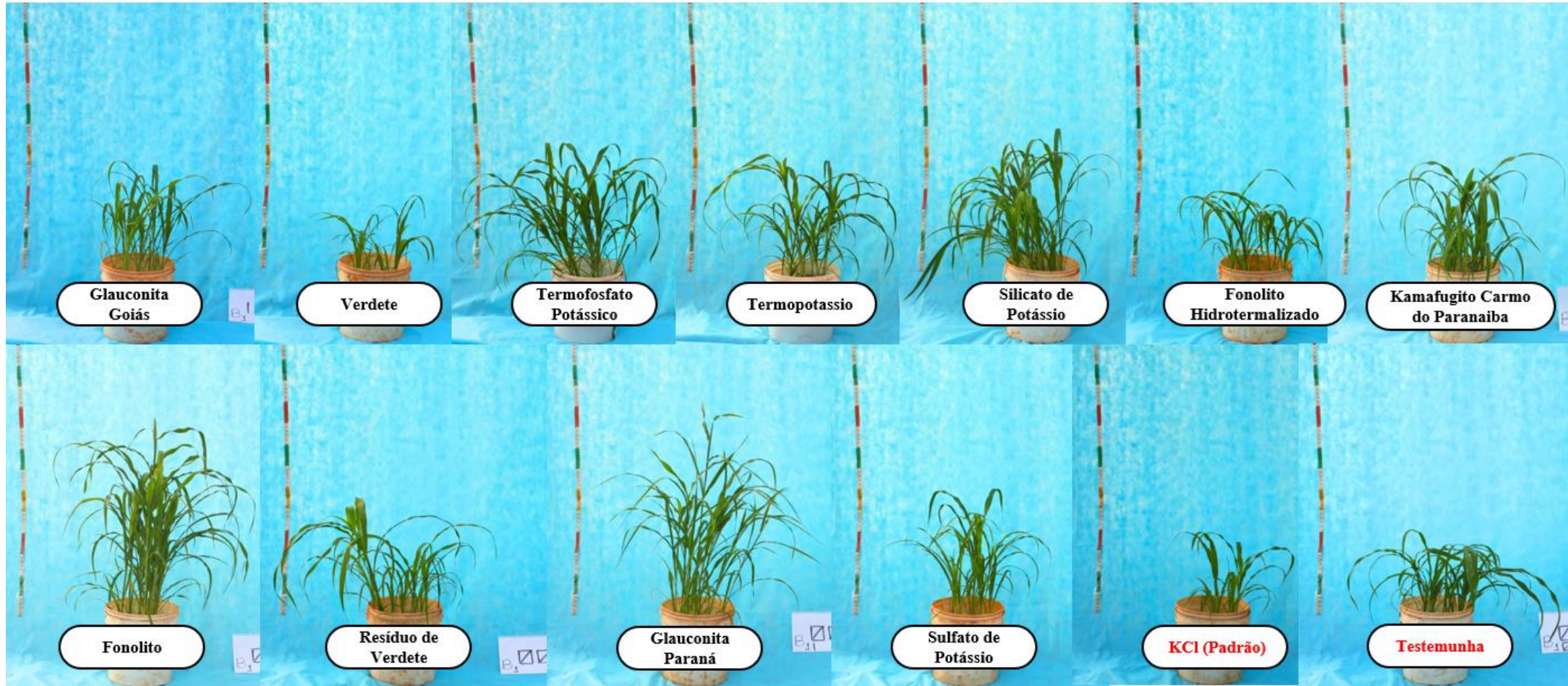


Figura 21 – As imagens documentam as plantas colhidas no final do segundo ciclo de cultivo em solo com textura **Arenosa**, juntamente com suas respectivas tratamentos aplicados. A cota presente na fita métrica, adjacente a cada planta, representa incrementos de 10 centímetros, delineados por diferentes cores.

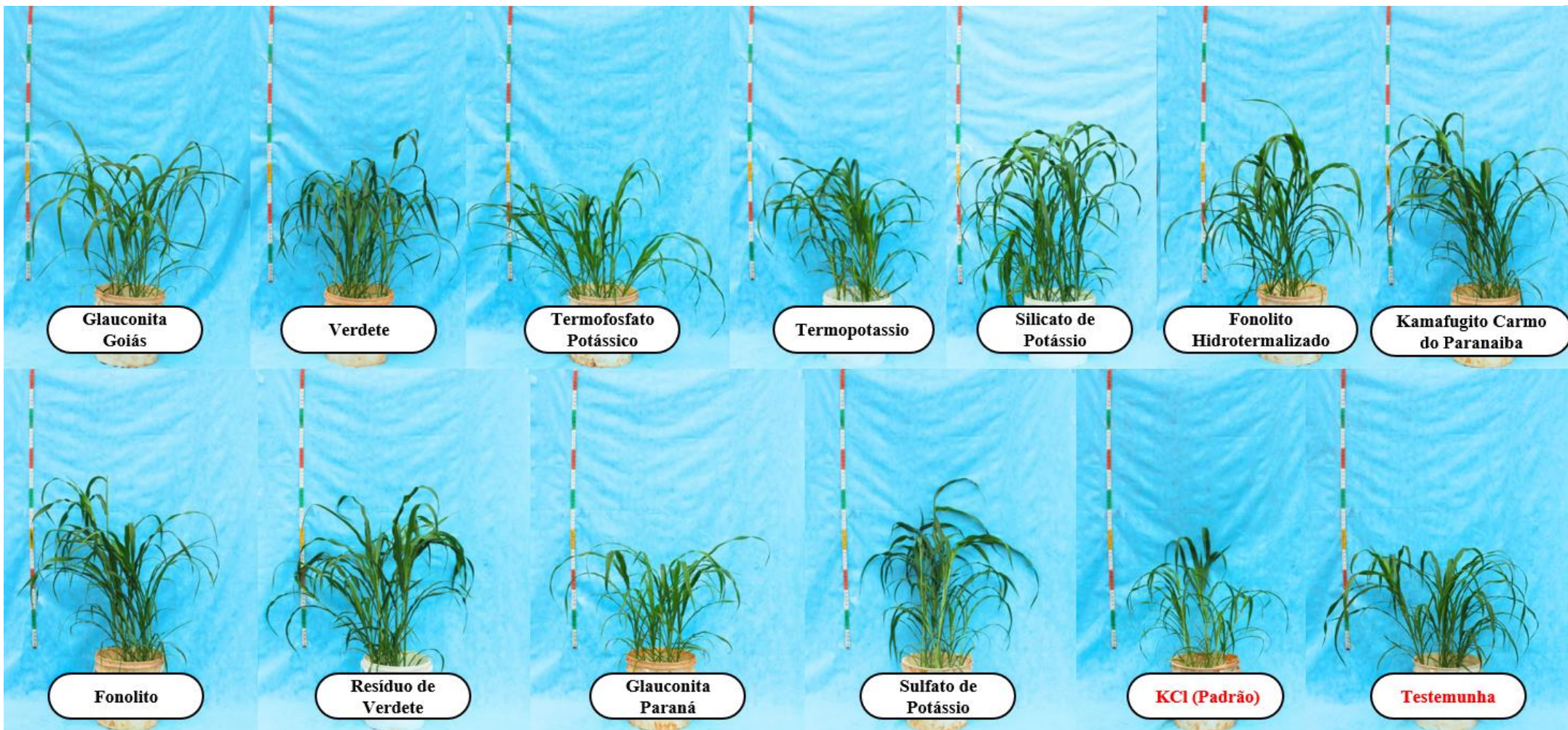


Figura 22 – As imagens documentam as plantas colhidas no final do segundo ciclo de cultivo em solo com textura **Média**, juntamente com suas respectivas tratamentos aplicados. A cota presente na fita métrica, adjacente a cada planta, representa incrementos de 10 centímetros, delineados por diferentes cores.

Uberlândia, MG, Maio de 2024.

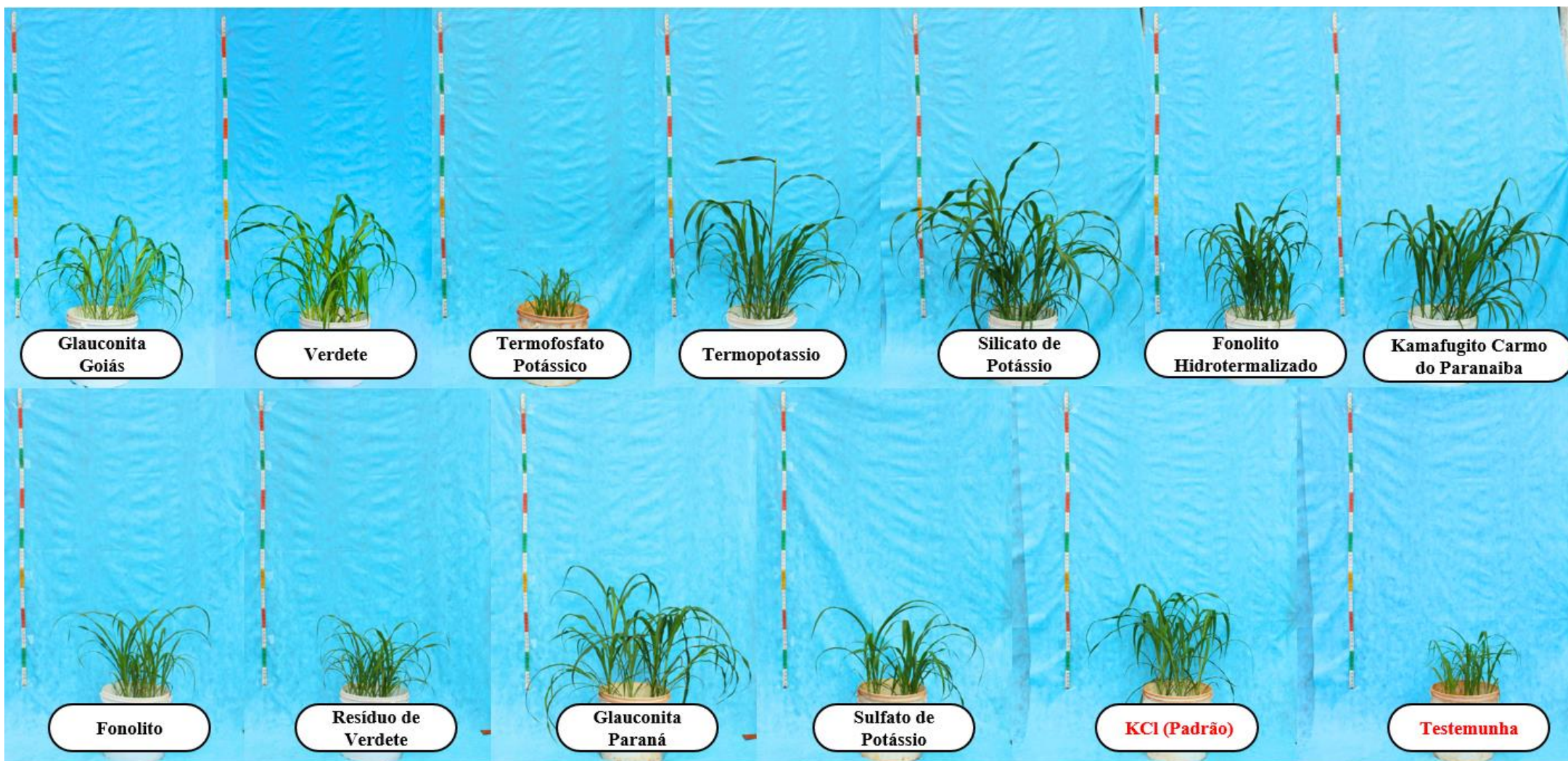
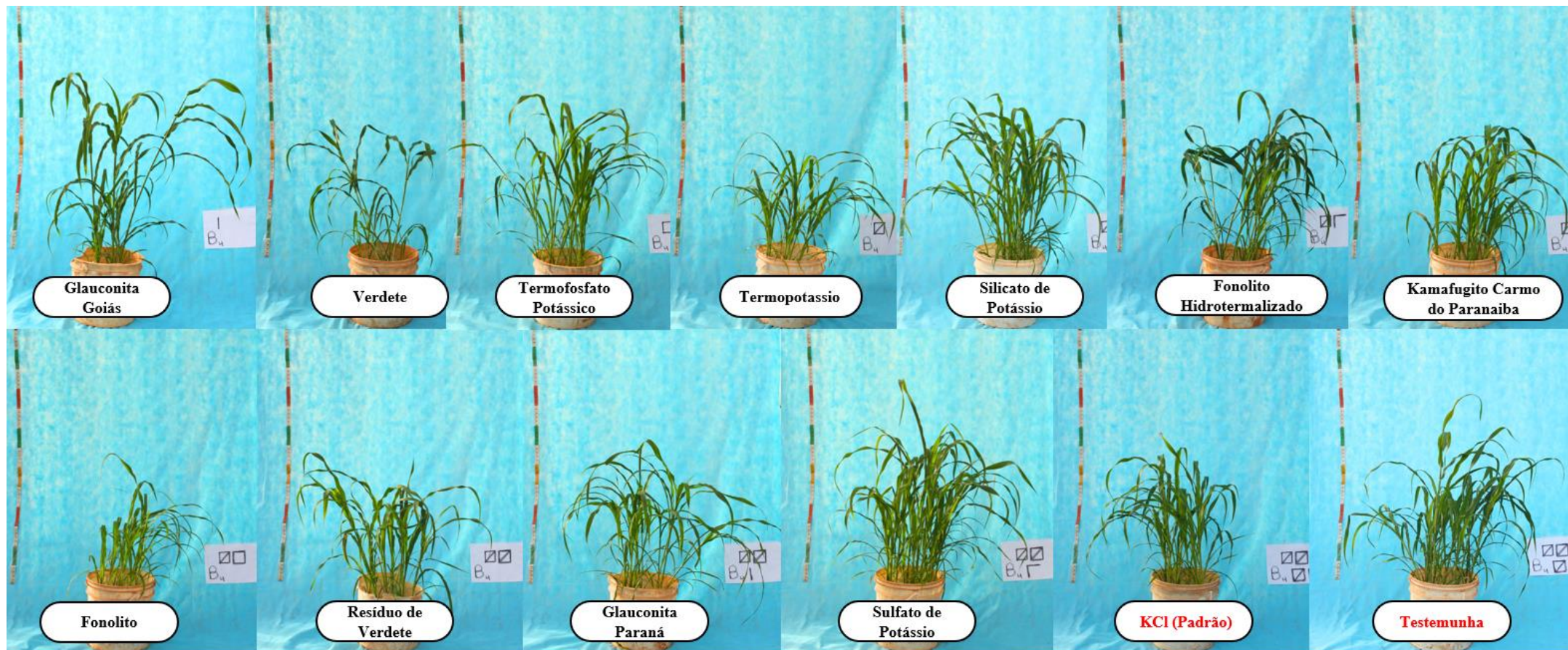


Figura 23 – As imagens documentam as plantas colhidas no final do segundo ciclo de cultivo em solo com textura **Muito Argilosa**, juntamente com suas respectivas tratamentos aplicados. A cota presente na fita métrica, adjacente a cada planta, representa incrementos de 10 centímetros, delineados por diferentes cores. Uberlândia, MG, Maio de 2024.

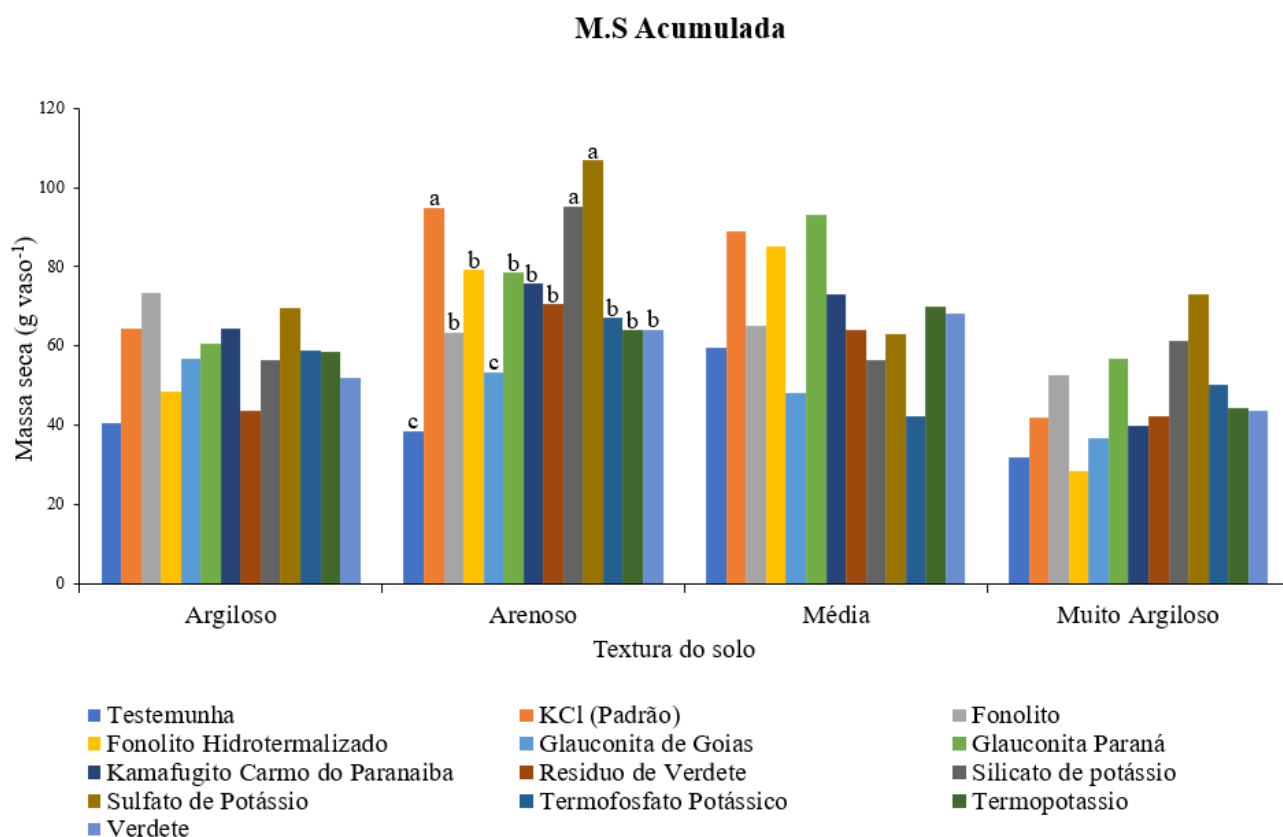


Ao comparar as fontes de potássio em relação ao acúmulo médio de Massa Seca após os dois cultivos, a textura que apresentou resposta significativa as fontes alternativas de potássio foi a Arenosa, figura 24.

Quando consideramos o acúmulo da variável "massa seca", observamos que o T10 - Sulfato de Potássio, o T9 - Silicato de Potássio e o T2 – KCl (Padrão) demonstraram desempenhos estatisticamente iguais, resultando nos maiores rendimentos médios de massa seca da parte aérea após dois cultivos consecutivos, sem a necessidade de adição de novas doses de potássio.

As demais texturas de solo, não demonstraram diferença significativa entre os tratamentos utilizados, mesmo apresentando diferença numérica entre as fontes alternativas de potássio.

Figura 24 - Comportamento da massa seca parte aérea acúmulo médio dos dois cultivos consecutivos em função das fontes alternativas de potássio em quatro texturas de solo diferentes. Letras minúsculas comparam média de massa seca dos tratamentos dentro de uma mesma textura de solo pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Uberlândia, MG-Maio/2024.



O grupo que apresentou os menores valores para dando um foco especial na textura de solo Arenosa foi a testemunha absoluta sem adição de qualquer fonte. Ao analisar a dinâmica do potássio no perfil do solo, Werle et al., (2008) notaram que a taxa de lixiviação foi mais pronunciada no solo de textura mais arenosa. Contudo, no solo argiloso, a lixiviação foi mais estável, resultando em uma maior retenção de potássio. Os autores sugerem que essa diferença pode ser explicada pela Capacidade de Troca Catiônica (CTC) do solo.

As fontes T10 - Sulfato de Potássio e o T9 - Silicato de Potássio. Seguidas das demais fontes que mostraram respostas positivas em comparação com a testemunha absoluta, porém não atingiram valores semelhantes à fonte T2 - KCl (Padrão).

Por fim a dinâmica em solos de textura Arenosos e mais responsivas a aplicação de fontes alternativas de potássio quando analisamos a variável Massa Seca, como apresentado por condicionamento físico que essa textura de solo apresenta por Polidoro e Texeira., (2013), pois, as propriedades e características desses solos favorecem uma maior mobilidade do K^+ no perfil do solo, nesse trabalho foi possível observar que como as fontes alternativas de potássio possuem um liberação mais gradual de potássio, a um efeito residual mais favorável em solos arenosos, já que os mesmos apresentam maiores perdas desse íon.

6.2 Teor de potássio foliar (K)

Quanto ao teor de K na parte aérea de plantas de milho semeadas em solos de textura diferentes, foram observadas diferenças entre as fontes alternativas em todos os cultivos, Tabela 6.

Trabalhos como o de Polidoro e Teixeira (2013), ressaltam a utilização de milho como reciclador de potássio em solos de textura arenosa, já que situação de seu estudo, se optaram por utilizar o milho como planta de cobertura, é aconselhável calcular a biomassa da parte aérea e a quantidade de potássio acumulado. Dessa forma, pode-se utilizar esse valor de potássio como parte da recomendação para adubação potássica.

Lavres junior (2001), observaram estudos realizados com gramíneas indicam a existência de interação entre as quantidades de nitrogênio e potássio no que diz respeito à produção de matéria seca da parte aérea, na área foliar, nos níveis de clorofila nas folhas recentemente expandidas, no número de perfilhos, na atividade da enzima redutase do nitrato, no comprimento total e na superfície total das raízes, bem como nos teores de nitrogênio e potássio na parte aérea. Esses estudos destacam os efeitos positivos das doses de nitrogênio e potássio.

Coppo (2017), ressalta que a carência de potássio nas plantas leva ao acúmulo de carboidratos solúveis, resultando na redução dos níveis de amido e no acúmulo de compostos nitrogenados solúveis, como aminoácidos, devido à diminuição da síntese proteica. Esse cenário torna as plantas mais suscetíveis a doenças e insetos. Adicionalmente, Faquin., (2005), enfatiza que o potássio não faz parte de compostos orgânicos, ou seja, não desempenha funções estruturais, o que torna mais suscetível a perda desse elemento nas plantas.

De maneira geral a planta de milho é um bom acumulador de potássio foliar principalmente a variedade ADR300 utilizada no trabalho em questão, e altamente responsiva a esse elemento como destacado, no estudo conduzido por Prada e Vidal, (2008), foi observado que a omissão do potássio em solução nutritiva impactou outros nutrientes, resultando em aumento nos teores foliares de fósforo, nitrogênio, cálcio e magnésio em comparação com o tratamento que continha todos os nutrientes. Por outro lado, a ausência de potássio resultou em menor acumulação de fósforo, magnésio, nitrogênio e cálcio, indicando que a omissão de K^+ provocou a concentração desses nutrientes, uma vez que seus teores aumentaram em associação com a redução do acúmulo nos tecidos vegetais.

A relação da concentração de potássio presente no tecido vegetal, nos ajuda a entender se a fonte alternativa de potássio libera esse elemento em uma forma prontamente disponível para a planta em que ela, de forma direta já o absorvesse e o acumula em seu interior.

Além disso, como mencionado anteriormente, o milho é uma planta capaz de acumular grandes concentrações de potássio em suas folhas, tornando-se um excelente extrator vegetal. Isso nos permite comparar os melhores tratamentos para fornecer potássio de forma adequada para as culturas vegetais de interesse agrônomico.

Como apresentado por Marchioli (2023), uma presença adequada de níveis de potássio, aumenta a espessura da cutícula e da parede celular da planta, assim dificultando a penetração de possíveis fitopatógenos que causam infecções e doenças.

TABELA 6: Médias provenientes do teste de médias Scott-knott 5% de significância, solo 1, 2, 3, 4 em função das fontes alternativas de potássio no solo na cultura do Milheto *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. na variável analisadas Concentração de Potássio parte área de 10 plantas por vaso dos dois cultivos. (**K Foliar**). Uberlândia, MG- Maio de 2024.

	K Foliar							
	Argiloso		Arenoso		Média		Muito Argiloso	
	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°
	-----g kg ⁻¹ -----							
T1	39,0b	25,4b	2,4d	16,1c	21,6c	22,0c	8,8c	10,9b
T2	53,5a	43,5a	20,4b	24,0a	54,2b	32,0b	69,2a	18,9a
T3	20,6c	19,6b	3,5d	17,8c	22,8c	22,5c	10,6c	18,3a
T4	21,6c	22,4b	5,1d	9,7d	24,7c	20,2c	10,1c	14,8b
T5	15,7c	21,2b	4,4d	10,4d	26,5c	18,6c	12,2c	12,6b
T6	37,0b	24,9b	11,6c	19,7b	22,6c	24,5c	10,5c	14,5b
T7	24,6c	18,4b	4,5d	9,3d	22,3c	21,2c	7,7c	13,9b
T8	27,2c	28,6b	8,7c	15,9c	22,3c	19,4c	8,8c	19,4a
T9	25,1c	45,5a	34,2a	23,0a	67,2a	48,4a	72,7a	22,5a
T10	53,1a	31,2b	21,5b	19,0b	46,5b	30,1b	51,0b	17,5a
T11	15,9c	45,2a	5,9d	28,4a	29,0c	42,9a	13,4c	22,9a
T12	12,9c	21,6b	6,9d	16,5c	28,5c	23,5c	7,9c	17,0a
T13	25,1c	25,3b	4,8d	17,2c	25,0c	24,3c	7,6c	15,5b
CV (%)	27,18	21,27	26,21	20,62	21,18	19,10	17,91*	25,91

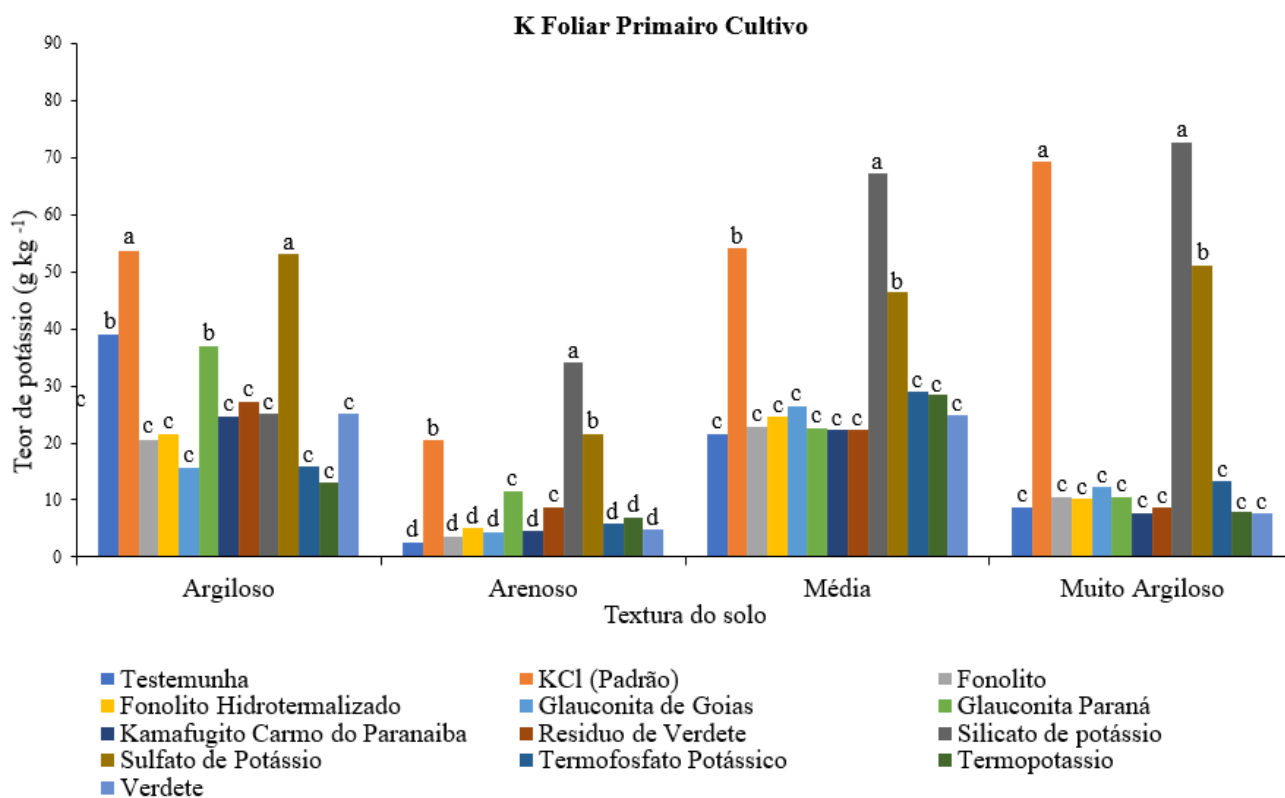
(T1 - Testemunha, T2 - KCl (Padrão), T3 - Fonolito, T4 - Fonolito Hidrotermalizado, T5 - Glauconita de Goiás, T6 - Glauconita Paraná, T7 - Kamafugito Carmo do Paranaíba, T8 - Resíduo de Verdete, T9 - Silicato de potássio, T10 - Sulfato de Potássio, T11 - Termofosfato Potássico, T12 - Termopotássio, T13 - Verdete).

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna pelo teste de Scott-knott 5% de significância.

CV= coeficiente de variação. 1° = Primeiro cultivo 2°= Segundo cultivo * Dados transformados = \sqrt{X} .

Quando observamos apenas as médias do primeiro cultivo de cada textura de solo na figura 25, percebemos que o solo de textura Arenosa naturalmente apresenta teores de potássio foliar mais baixos em comparação com as outras testemunhas de textura de solo diferente. Nota-se que, na testemunha do segundo cultivo figura 26, houve um aumento no teor de potássio foliar em comparação com o primeiro cultivo no solo Arenoso. Isso se deve principalmente à relação entre a área da planta e a concentração de potássio, pois quando relacionamos esses teores com a massa seca da parte aérea das plantas, observamos que as plantas do primeiro cultivo apresentaram maiores resultados de massa seca. Isso ocorre porque a amostragem não é realizada em toda a quantidade de material triturado, resultando em uma maior concentração de potássio no segundo cultivo devido ao menor efeito do fator diluição.

Figura 25 - Comportamento dos teores de potássio foliar primeiro cultivo em função das fontes alternativas de potássio em quatro texturas de solo diferentes. Letras minúsculas comparam média da concentração de potássio fornecida pelos tratamentos dentro de uma mesma textura de solo pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Uberlândia, MG- Maio/2024.



Ao analisar o solo de textura Argilosa, observamos que não houve diferença significativa entre a fonte T2- KCl (Padrão) e a utilização de T10 - Sulfato de Potássio, em resposta aos teores de potássio foliar, ambos foram estatisticamente iguais. Por outro lado, as demais fontes foram estatisticamente inferiores à testemunha absoluta T1 e a fontes T2 – KCl (Padrão).

Já as plantas de milho em solos de textura Arenosa apresentaram os menores teores de concentração de potássio foliar. Isso se deve, naturalmente, aos baixos teores do elemento potássio nos solos Arenosos em relação às demais texturas de solo. Entre as fontes alternativas, o T9 - Silicato de Potássio obteve os melhores resultados de concentração do elemento potássio nos tecidos (em g/kg), superando até mesmo as concentrações de potássio da fonte padrão. Em seguida as fontes T10 - Sulfato de Potássio, equivalente à T2 - Testemunha Padrão KCl. As fontes T6 - Glauconita do Paraná e o T8 - Resíduo de Verdete apareceram em seguida, enquanto as demais fontes alternativas apresentaram valores de teor de potássio foliar próximos à testemunha absoluta T1, sendo estatisticamente iguais.

Solos de textura Média também tiveram os melhores teores de potássio no tecido vegetal com a fonte T9 - Silicato de Potássio, com o uso dessas fontes se pode obter inúmeras vantagens como a apresentada no trabalho realizado por Souza e Rodrigues. et al., (2009), concluíram que as doses de K_2SiO_3 influenciaram nos teores de clorofila a, b, total (a + b) e relação a/b somente terço inferior, na massa seca de colmo, na massa de mil grãos e na produtividade.

Com a realização desse trabalho podemos afirmar que via solo o tratamento T9 -Silicato de Potássio, independente da textura de solo oferece altos teores de potássio foliar, iguais a fonte T2 - KCl (Padrão), ou até mesmo sendo superiores a essa fonte, sem que ocorra ainda um efeito salino no solo. Efeito esse citado por Alcarde e Guidolin. et al., (1998), onde apresenta que o cloreto de potássio apresenta índices salinos de até 116 em relação ao nitrato de sódio tomado como índice 100.

Também no solo Arenoso, as fontes T6 - Glauconita do Paraná e o T8 - Resíduo de Verdete apareceram em seguida, enquanto as demais fontes alternativas apresentaram valores de teor de potássio foliar próximos à testemunha absoluta T1, sendo estatisticamente iguais.

Na interação entre as fontes alternativas e a textura de solo muito argiloso, no primeiro cultivo, a testemunha Padrão KCl e o silicato de potássio foram as fontes que apresentaram os melhores resultados, seguidas pelo sulfato de potássio. As demais fontes, ao final do primeiro cultivo, não influenciaram na concentração de potássio foliar das plantas de milho, sendo estatisticamente equivalentes à concentração obtida na testemunha absoluta, sem a adição de fontes de potássio.

Após o segundo cultivo apresentado pela figura 26, tornou-se mais evidente a diferença entre as fontes, devido à sua dinâmica e interação com a textura do solo, bem como à sua liberação, que pode ocorrer de forma mais lenta ou rápida, dependendo da fonte. Entretanto, o

efeito residual foi claramente observado.

Ao analisar cada textura separadamente após o segundo cultivo, observamos que, em todos os tipos de solo, a fonte alternativa T9 - Silicato de Potássio e T7 - Kamafugito Carmo do Paranaíba estiveram presentes e foram estatisticamente iguais aos valores mais elevados de cada textura, em comparação com as demais fontes. Isso evidencia que seu efeito residual e a forma de absorção pelas plantas de milho apresentam uma dinâmica interessante, podendo ser utilizados como ferramentas para aumentar os teores de potássio no tecido vegetal. Podem ser combinadas com fontes padrões como o Cloreto de Potássio para prolongar o efeito altos teores de potássio no tecido vegetal.

Além disso estudos feitos por Souza e Martins. et al., (2015), destacam que a utilização de silicato contendo cálcio e magnésio resultou em melhorias na taxa de germinação e no desenvolvimento inicial das mudas de milho.

Em solos de textura Argilosa, as fontes alternativas T2 - KCl (Padrão), T11 - Termofosfato Potássico e T9 - Silicato de Potássio, se comportaram de maneira muito semelhante, apresentando os maiores teores de potássio foliar, as demais fontes mostraram-se inferiores, sendo estatisticamente equivalentes à testemunha absoluta.

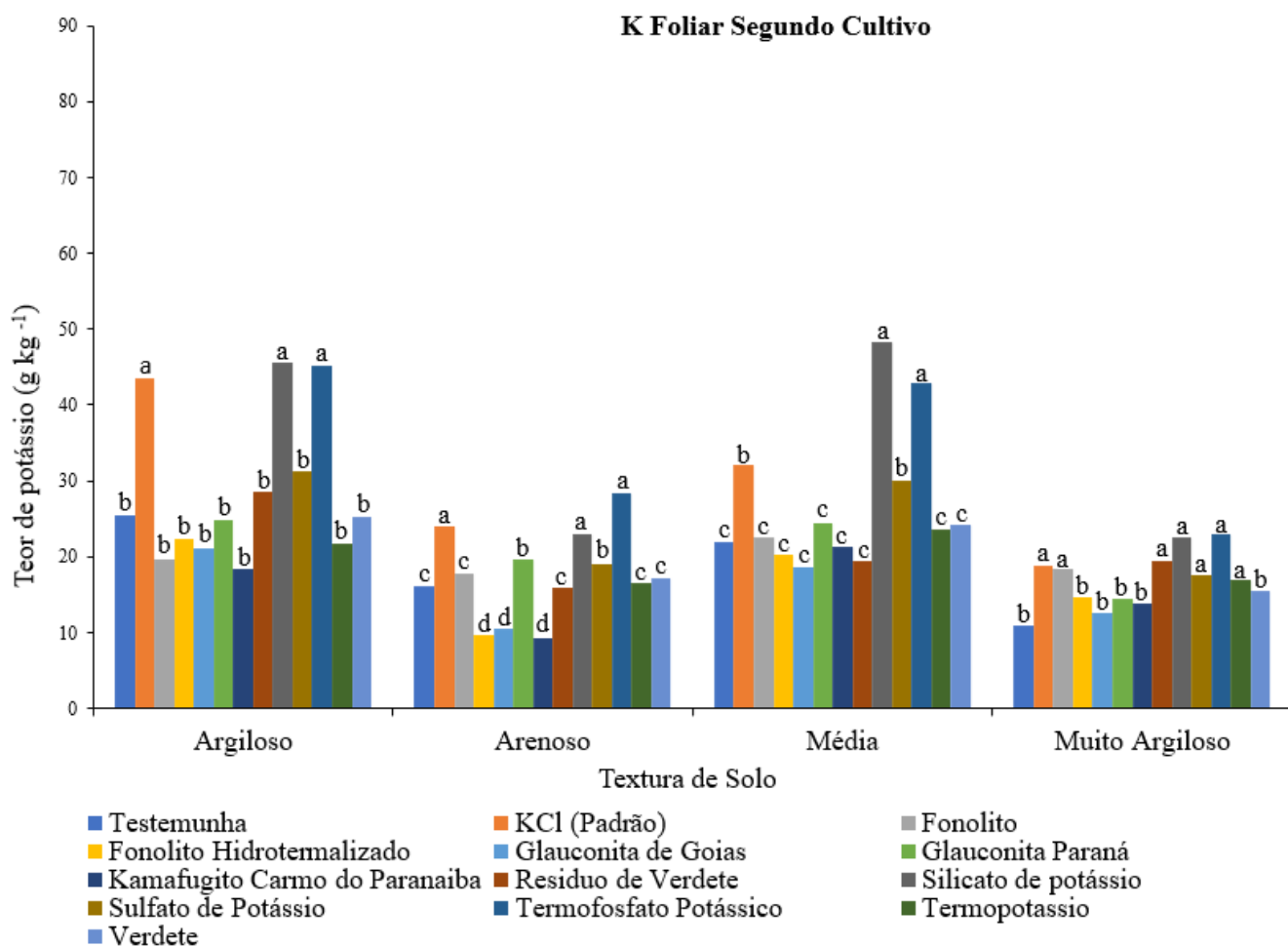
No solo Arenoso, observou-se um padrão similar, com algumas diferenças. Após as fontes que apresentaram maiores teores de potássio foliar, T2 - KCl (Padrão), T11 - Termofosfato Potássico e T9 - Silicato de Potássio. As fontes T6 - Glauconita do Paraná e T10 Sulfato de Potássio foi superior a testemunha absoluta sem a adição de fonte de potássio. As demais fontes num contexto de segunda colheita apresentaram valores até inferiores as fontes a T1 – Testemunha absoluta.

Em textura média, as fontes se comportaram da seguinte maneira, T11 - Termofosfato Potássico e T9 - Silicato de Potássio foram superiores em termos de teor de potássio à fonte T2 - KCl (Padrão). Logo em seguida, T10 foi estatisticamente igual à fonte de potássio padrão. As demais fontes estudadas para essa mesma textura de solo no segundo cultivo apresentaram teores de concentração de potássio similares à T1 - Testemunha absoluta.

A dinâmica das fontes alternativas em solo de textura Muito Argilosa, se mostraram mais responsivas, se destacando as fontes T3 - Fonolito, T8 - Resíduo de Verdete, T9 - Silicato de Potássio, T10 - Sulfato de Potássio, T11 - Termofosfato e Potássico T12 - Termopotássio, sendo todas estatisticamente iguais a fonte T2 - KCl (Padrão). As demais fontes nessa textura de solo se comportaram iguais a testemunha absoluta T1.

Em um estudo conduzido por Nicchio e Korndorfer. et al., (2019), ressalta-se a importância e utilização da aplicação de adubos para aumentar as concentrações de potássio e silício foliares. Ambos os elementos (Si e K) podem conferir maior resistência das plantas ao ataque de doenças, estresse hídrico e condições ambientais adversas.

Figura 26 - Comportamento dos teores de potássio foliar segundo cultivo em função das fontes alternativas de potássio em quatro texturas de solo diferentes. Letras minúsculas comparam média da concentração de potássio fornecida pelos tratamentos dentro de uma mesma textura de solo pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Uberlândia, MG- Maio /2024.



6.3 Extração de potássio por vaso (EXTK)

Como evidenciado na Tabela 7, a absorção de potássio pelas plantas de milho é significativa quando a fonte alternativa, libera o de potássio em uma forma prontamente utilizável pela planta. Para a agricultura, seria ideal que a fonte fornecesse a quantidade exata de potássio conforme a demanda da planta para otimizar seu crescimento. Os dados foram coletados em ciclos individuais e em uma extração total considerando ambos os ciclos.

O potássio desempenha um papel crucial no processo de transpiração, influenciando a abertura e o fechamento dos estômatos das plantas. Plantas bem supridas de potássio utilizam a água de forma mais eficiente do que aquelas deficientes. Além disso, a presença adequada de potássio influencia a abertura dos estômatos, afetando a entrada de dióxido de carbono e, conseqüentemente, a intensidade da fotossíntese, Malavolta, (1980).

Rosolem et al., (2006), as plantas de cobertura, como o milho, podem contribuir significativamente para o suprimento de potássio às culturas subsequentes em sistemas de plantio direto, especialmente devido à rápida mineralização do potássio presente na palhada depositada no solo. Apesar das condições desafiadoras dos solos ácidos e com baixa fertilidade, o milho é capaz de prosperar e produzir nesses ambientes, sendo uma escolha popular para a formação de palhada em sistemas de plantio direto no cerrado, Pires et al., (2007).

Além disso, devido às suas raízes relativamente profundas, o milho é capaz de absorver potássio das camadas mais profundas do solo e redistribuí-lo para as camadas superficiais, atuando como uma espécie de "bomba de potássio".

Analisando de maneira abrangente, os tratamentos T9 - Silicato de Potássio e T10 - Sulfato de Potássio demonstram uma alta eficácia na extração de potássio. Além disso, apresentam a vantagem de não conter altos índices salinos, como o cloreto de potássio, e têm um efeito prolongado de liberação.

Além disso, é evidente que a interação entre os tratamentos e a extração de potássio em solo foi influenciada pela textura do solo, onde um tratamento podendo ser mais responsiva em uma determinada textura de solo do que em outra.

TABELA 7: Médias provenientes do teste de médias Scott-knott 5% de significância, solo 1, 2, 3, 4 em função das fontes alternativas de potássio no solo na cultura do Milheto *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. na variável analisadas extração de potássio por vaso, parte área de 10 plantas por vaso e extração total de K em cultivos consecutivos. (EXTK). Uberlândia, MG- Maio de 2024.

	Extração de K											
	Argiloso			Arenoso			Média			Muito Argiloso		
	1°	2°	Extração Total	1°	2°	Extração Total	1°	2°	Extração Total	1°	2°	Extração Total
	-----mg. vaso ⁻¹ -----											
T1	1350,2b	137,0b	1487,3b	52,5d	260,0c	312,5c	1114,7b	148,7c	1263,3c	91,2b	213,4 ^{ns}	304,7b
T2	3084,6a	264,5b	3349,0a	1612,7a	411,1c	2023,8b	3821,2a	576,9b	4401,1a	1798,4a	263,0 ^{ns}	2061,4a
T3	1088,8b	389,2a	1478,1b	149,0d	344,2c	493,1c	1320,6b	162,9c	1483,5c	416,2b	233,5 ^{ns}	649,8b
T4	837,8b	189,0b	1026,8b	215,4d	329,3c	544,6c	1619,2b	361,3b	1980,5c	110,1b	218,6 ^{ns}	328,7b
T5	744,0b	221,3b	965,3b	122,1d	270,7c	392,9c	985,9b	164,1c	1150,0c	99,1b	255,3 ^{ns}	354,4b
T6	1484,4b	487,7a	1972,0b	686,1b	362,9c	1049,0c	1821,8b	292,6c	2114,4c	356,3b	306,3 ^{ns}	659,6b
T7	1203,5b	284,0b	1487,5b	199,1d	284,1c	483,1c	1258,2b	343,6b	1601,8c	197,4b	166,1 ^{ns}	363,4b
T8	1005,9b	200,6b	1206,5b	372,0c	399,6c	771,5c	1279,0b	119,9c	1398,9c	250,2b	272,7 ^{ns}	523,0b
T9	1024,7b	716,6a	1741,3b	2200,5a	650,5a	2851,0a	2189,5b	1034,2a	3223,7b	2907,2a	499,5 ^{ns}	3406,7a
T10	2755,2a	438,0a	3193,2a	1727,1a	498,8b	2226,0b	2710,9b	229,3c	2940,2b	2668,2a	345,1 ^{ns}	3013,3a
T11	757,6b	430,7a	1188,3b	309,4c	406,8c	716,3c	1121,6b	111,6c	1233,2c	400,0b	471,9 ^{ns}	871,9b
T12	636,3b	229,6b	865,9b	260,8d	362,9c	623,7c	1460,3b	406,6b	1866,9c	254,6b	197,4 ^{ns}	452,1b
T13	946,5b	116,2b	1062,7b	194,8d	387,1c	582,0c	1267,3b	389,5b	1656,8c	218,1b	212,7 ^{ns}	430,8b
CV (%)	26,99*	20,24*	21,84*	20,40*	25,62	27,70	26,58*	20,02*	19,99*	37,57*	29,10*	26,75*

(T1 - Testemunha, T2 - KCl (Padrão), T3 - Fonolito, T4 - Fonolito Hidrotermalizado, T5 - Glauconita de Goiás, T6 - Glauconita Paraná, T7 - Kamafugito Carmo do Paranaíba, T8 - Resíduo de Verdete, T9 - Silicato de Potássio, T10 - Sulfato de Potássio, T11 - Termofosfato Potássico, T12 - Termopotassio, T13 - Verdete).

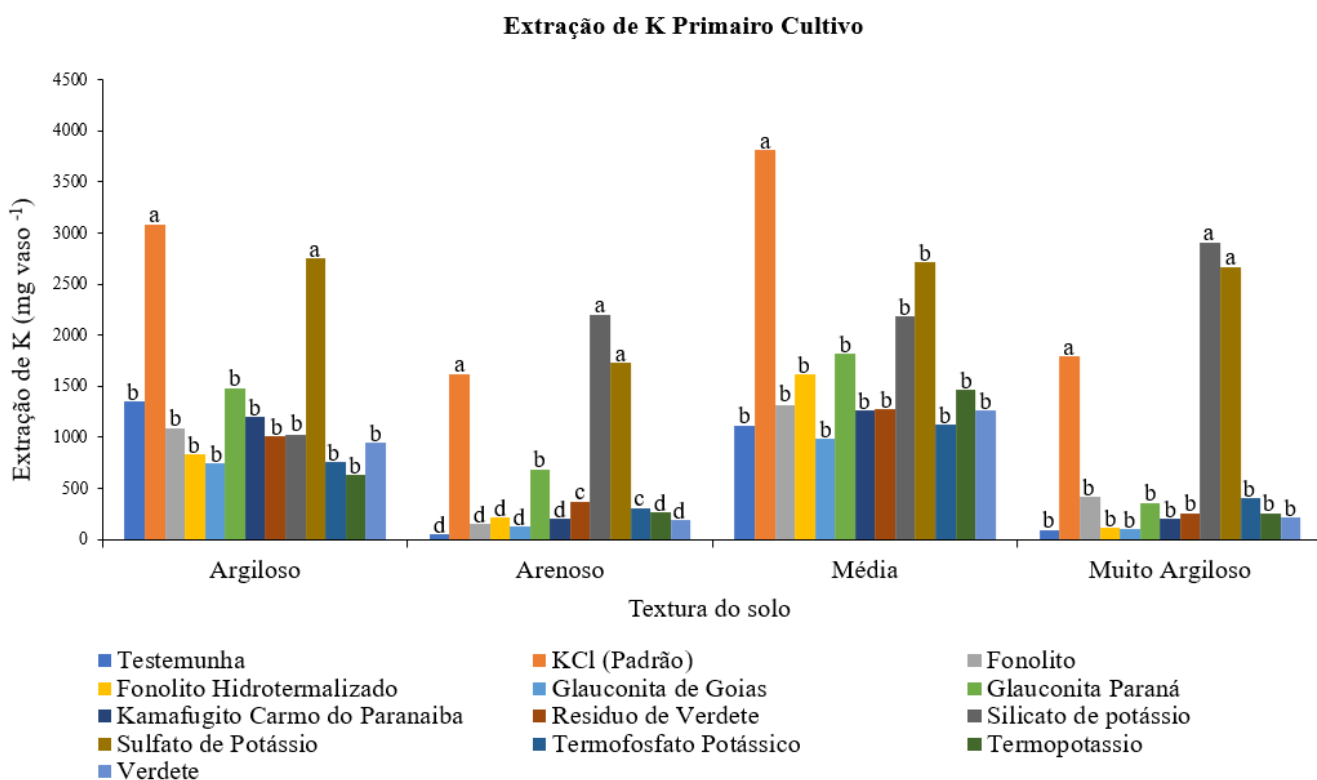
Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna pelo teste de Scott-knott 5% de significância.

CV= coeficiente de variação. * Dados transformados = \sqrt{X} .

1° = Primeiro cultivo 2°= Segundo cultivo Extração Total = Somatória da extração do 1° e 2° cultivos.

Na figura 27, que apresenta a extração de potássio no primeiro cultivo pelas plantas de milho em solo de textura argilosa, observa-se que as fontes de potássio T2 - KCl (Padrão) e T10 - Sulfato de Potássio foram aquelas em que as plantas obtiveram a maior extração de potássio por vaso.

Figura 27 - Extração de potássio por vaso primeiro cultivo em função das fontes alternativas de potássio em quatro texturas de solo diferentes. Letras minúsculas comparam média da concentração de potássio fornecida pelos tratamentos dentro de uma mesma textura de solo pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Uberlândia, MG-Maio /2024.



Para o solo de textura Arenosa e Muito Argilosa, os resultados foram semelhantes, onde as fontes de potássio T2 - KCl (Padrão), T9 - Silicato de Potássio e T10 - Sulfato de Potássio obtiveram as melhores respostas em extração de potássio por vaso no primeiro cultivo para essas texturas de solo.

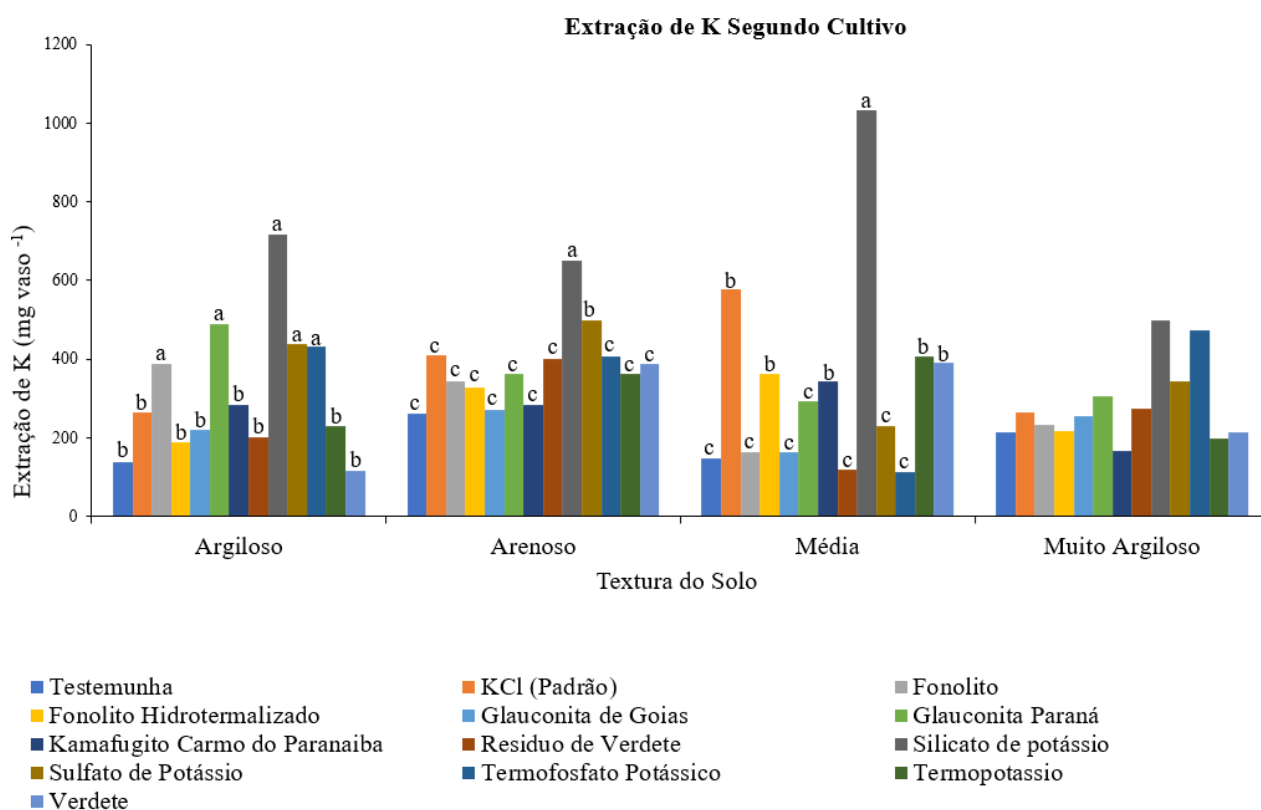
A fonte T6 - Glauconita Paraná no solo arenoso apresentou o segundo nível de resposta na extração de potássio por vaso, seguida pela fonte T8 - Resíduo de Verdete, porém com valores bastante distantes das médias dos tratamentos T2, T9 e T10. As demais fontes apresentaram extração semelhante à testemunha absoluta no primeiro cultivo.

Já no solo de textura média, a fonte de potássio KCl - T2, mostrou-se diferenciada das demais fontes alternativas de potássio, apresentando as maiores médias de extração de potássio

por vaso. Os demais tratamentos foram estatisticamente iguais à testemunha absoluta T1, mesmo que tenham valores numéricos diferentes.

No segundo cultivo, observa-se que na textura muito argilosa não foi possível detectar diferença significativa na extração de potássio entre as fontes estudadas, conforme mostrado na figura 28.

Figura 28 - Extração de potássio por vaso segundo cultivo em função das fontes alternativas de potássio em quatro texturas de solo diferentes. Letras minúsculas comparam média da concentração de potássio fornecida pelos tratamentos dentro de uma mesma textura de solo pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Uberlândia, MG- Maio /2024.



Em solo argiloso, destacam-se as fontes T9 - Silicato de Potássio, T4 - Glaucionita Paraná, T10 - Sulfato de Potássio, T11 - Termofosfato Potássico e T3 - Fonolito, sugerindo uma liberação mais gradual dessas fontes nesse tipo de solo. As demais fontes apresentaram médias semelhantes à testemunha absoluta, incluindo a fonte de potássio padrão.

Em solos arenosos, as melhores médias na extração de potássio no segundo cultivo foram obtidas pelo tratamento T9 - Silicato de Potássio, seguido pela fonte T10 - Sulfato de Potássio. Os demais tratamentos apresentaram valores médios semelhantes às testemunhas absoluta e padrão.

Trabalhos realizados por Guimarães e Pedrosa et al., (2008), concluíram que a aplicação de silicato de potássio via sulco foi eficiente na indução de resistência a *M. incognita* em plantas de cana-de-açúcar, sem afetar negativamente o crescimento da planta. Isso demonstra mais uma vantagem do uso dessa fonte via solo além do fornecimento de potássio e silício.

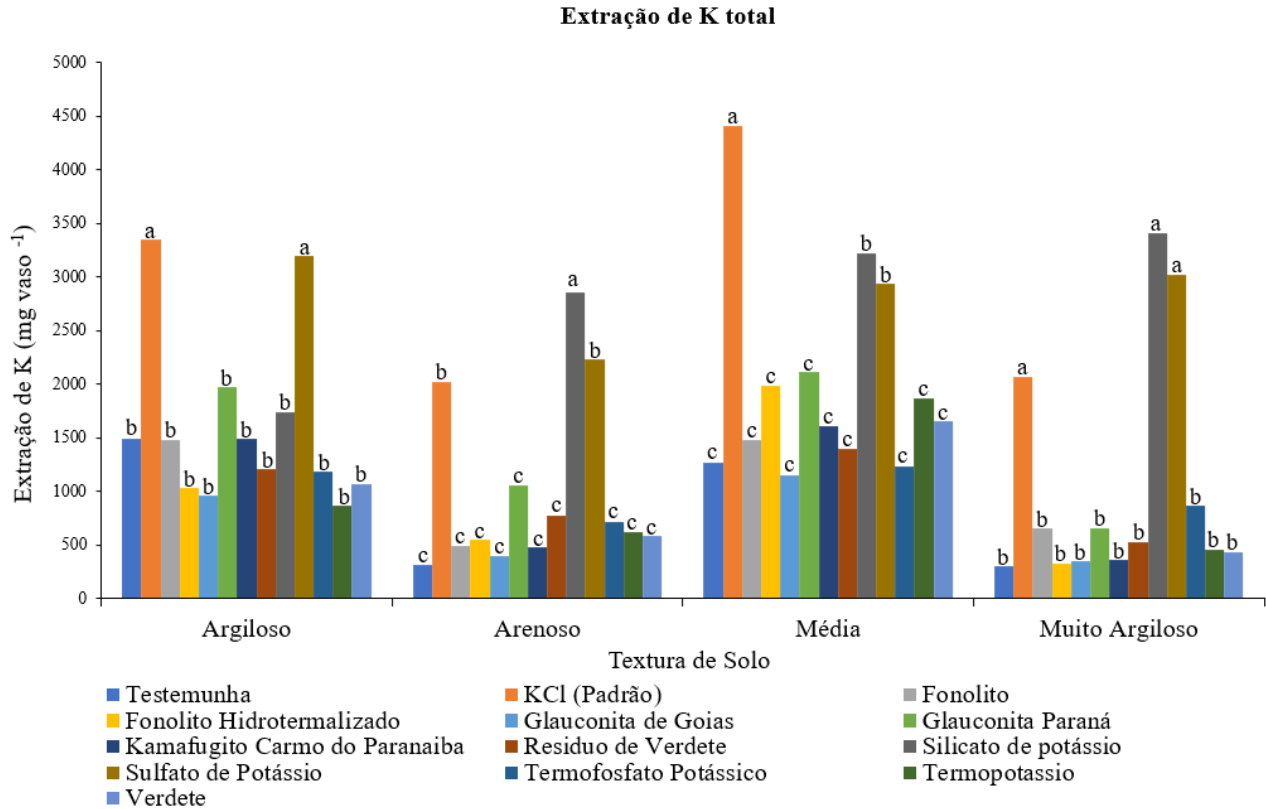
O tratamento com silicato de potássio também obteve as maiores médias de extração de potássio em solos de textura Média, indicando que, em um segundo cultivo sem adição de novas fontes de potássio e sem a palhada resultante do cultivo anterior, o silicato de potássio se mostra uma excelente fonte, aproveitada pelas plantas de milho. Isso sugere uma melhor utilização desses elementos, aumentando os teores desse nutriente na parte aérea da planta de milho, visando um efeito residual para a produção de palhada em um próximo cultivo.

Na figura 29, ao considerar a extração total de potássio de cada tratamento, resultante da soma da capacidade de extração das plantas de milho no primeiro e segundo cultivos, é possível obter um resultado referente à capacidade das fontes em liberar potássio prontamente disponível para as plantas. Observa-se que em todas as texturas de solo houve diferença significativa entre os tratamentos, e cada um teve comportamentos diferentes dependendo da textura de solo em que estava posicionado.

Em solo de textura Argilosa, as plantas conseguiram uma maior extração total de potássio com os tratamentos T2 - KCl (Padrão) e T10 - Sulfato de Potássio. As demais fontes se comportaram de maneira semelhante à testemunha quanto à variável extração total de potássio decorrente dos dois cultivos.

Em solos de textura Arenosa, a fonte T9 - Silicato de Potássio apresenta elevado índice de extração por vaso, com médias até mesmo superiores às da testemunha Padrão, cloreto de potássio, T2 - KCl (Padrão) e T10 - Sulfato de Potássio vêm logo em seguida para essa determinada textura. Fontes como T6 - Glauconita Paraná, mesmo sendo numericamente relevantes, não se distinguiram estatisticamente da testemunha absoluta T1, sem a aplicação de qualquer tratamento.

Figura 29- Extração de total de potássio por vaso somatória primeiro e segundo cultivo em função das fontes alternativas de potássio em quatro texturas de solo diferentes. Letras minúsculas comparam média da concentração de potássio fornecida pelos tratamentos dentro de uma mesma textura de solo pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Uberlândia, MG- Maio /2024.



Em solos de textura Média, os resultados de maior extração por vaso foram obtidos com o tratamento T2 - KCl (Padrão). Em seguida, o segundo grupo com as maiores extrações de potássio total incluiu T9 - Silicato de Potássio e T10 - Sulfato de Potássio. A fonte T5 - Glaucionita Goiás apresentou médias menores que o tratamento T1 - Testemunha Absoluta, indicando uma baixa eficiência em ser extraída do solo para a planta. Tanto a Glaucionita Goiás quanto as demais fontes foram estatisticamente iguais à testemunha absoluta, para essa textura de solo.

Em solo Muito Argiloso, as fontes T2 - KCl (Padrão), T9 - Silicato de Potássio e T10 - Sulfato de Potássio também apresentaram as maiores médias, superando as demais fontes alternativas de potássio.

De maneira geral, as plantas de milho apresentaram uma maior extração de potássio total com as fontes T2 - KCl (Padrão), T9 - Silicato de Potássio e T10 - Sulfato de Potássio, independentemente das texturas de solos, sendo estas as que proporcionaram as maiores extrações. Em um segundo cultivo, as plantas extraíram mais potássio da fonte T9- Silicato de

Potássio, enquanto no primeiro cultivo, ele apresentou as maiores médias de extração nos solos de textura arenosa e muito argilosa.

Importante ressaltar que segundo Garcia. e Merlin (2011), em sua pesquisa utilizando aveia branca, puderam concluir que a utilização de silicato de potássio afeta a disponibilidade de fósforo no solo. Apesar da aplicação de uma quantidade elevada de adubo fosfatado durante a semeadura, a adição de silicato aumenta a disponibilidade de fósforo no solo e sua absorção pelas plantas de aveia branca. Os níveis de silício na palha das panículas, nas folhas e colmos, e nos grãos são impactados pela maior disponibilidade de silício no solo.

O que reforça a multifuncionalidade da aplicação de silicato de potássio no solo, além do fornecimento de silício um elemento benéfico para as plantas e que ajuda na superação de stress ambiental, como apresentado por Cantuário (2012), onde em estudos com aplicação de silicato de potássio, via aplicação foliar, a cultura do pimentão é beneficiada pela adubação com silicato, resultando em uma maior área foliar, tanto em condições de déficit hídrico quanto em condições de fornecimento adequado de água às plantas, quando aplicada na concentração de 4,3 kg/ha de silício. A aplicação de silicato de potássio nessa concentração resultou em maiores valores de massa seca de frutos por planta de pimentão em ambas as condições de disponibilidade de água no solo, contribuindo positivamente para a manutenção da massa seca e preservando sua qualidade, mesmo em situações de escassez de água.

Machado (2020), conduziu um estudo sobre o cultivo de coentro e cebolinha hidropônico, utilizando água salobra na região do semiárido. Na cultura do coentro, a aplicação de silicato de potássio como adubo mostrou-se eficaz em atenuar os efeitos da salinidade nas plantas, especialmente em condições hidropônicas. Além disso, essa adubação contribuiu para a redução dos teores de sódio e cloro, o que resultou em uma diminuição dos danos causados por esses íons. Foi observado que a aplicação de silicato de potássio reduziu os níveis de cloro e aumentou os de potássio nas plantas de coentro, porém não teve impacto nos teores foliares de outros nutrientes avaliados.

6.3 Teor de Silício foliar (Si)

Os teores de silício na parte aérea das plantas de Milheto variaram de acordo com as fontes alternativas de potássio utilizadas, uma vez que algumas dessas fontes também são fontes desse elemento, assim como de outros elementos benéficos para as plantas. Essa diferença consistente foi constatada em todos os experimentos conduzidos, exceto no primeiro cultivo em solo de textura Argilosa, onde não foi observada uma diferença significativa no teste de Scott-Knott com 5% de significância, conforme evidenciado na Tabela 8.

O silício é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, depois do oxigênio. É absorvido pelas plantas na forma de H_4SiO_4 (ácido monossilícico), resultado de intensos processos de intemperização dos minerais, como os argilossilicatos Korndörfer., (2017).

Existem plantas classificadas como acumuladoras de silício, como arroz, sorgo e milho, que geralmente apresentam teores foliares acima de 1%, e não acumuladoras, como feijão e soja, com teores de silício abaixo de 0,5%, MA et al., (2001).

A adubos contendo silício estão sendo cada vez mais utilizados em diversos países, sendo considerado um elemento-chave para a sustentabilidade da agricultura Korndörfer, (2006). Encontrado principalmente em minerais inertes como as areias, quartzo (SiO_2 puro), caulinita, micas, feldspato e outros minerais de argilas silicatadas Souza et al., (2010).

Figueiredo et al. (2010) destacam que a aplicação foliar de fontes de silício solúvel tem sido objeto de estudos, devido à sua eficácia, praticidade e uso de doses menores, sendo adaptável aos pulverizadores comumente utilizados por muitos produtores.

Quando aplicado via radicular, após a absorção, o silício é transportado pelo xilema e segue o fluxo transpiracional, podendo acumular-se e formar uma dupla camada na epiderme foliar. Esse processo aumenta a rigidez celular e a interceptação de luz pelo dossel vegetativo, melhorando as características agrônômicas e potencialmente aumentando a produtividade das culturas Crusciol et al., (2013).

O silício oferece várias vantagens para as plantas, incluindo o aumento da matéria seca Gomes et al., (2011). Ele é conhecido por induzir tolerância a diferentes tipos de estresse, como a falta de água Zanetti., (2013), a toxicidade de alumínio Liang et al., (2001) e de manganês LI et al., (2012).

Algumas fontes alternativas de potássio oferecem não apenas potássio, mas também outros nutrientes como o silício, proporcionando uma vantagem adicional ao fornecimento de elementos benéficos para as plantas.

TABELA 5: Médias provenientes do teste de médias Scott-knott 5% de significância, solo 1, 2, 3, 4 em função das fontes alternativas de potássio no solo na cultura do Milheto *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. na variável analisadas Massa Seca da planta parte área de 10 plantas por vaso. **(Si Foliar)**. Uberlândia, MG- Maio de 2024.

	Si Foliar							
	Argiloso		Arenoso		Média		Muito Argiloso	
	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°
	g kg ⁻¹							
T1	3,12 ^{ns}	5,82b	4,42a	4,33b	2,10b	4,76b	0,25c	2,07d
T2	3,63 ^{ns}	4,08c	3,98a	3,25b	2,47b	5,83b	1,37b	2,33d
T3	4,37 ^{ns}	8,45a	4,04a	7,67a	5,65a	3,05c	2,95a	6,42b
T4	3,76 ^{ns}	4,18c	1,75b	3,62b	4,20a	2,43c	1,77b	4,16c
T5	3,60 ^{ns}	3,84c	3,17a	3,40b	2,55b	1,77c	0,82c	3,37d
T6	3,63 ^{ns}	4,36c	3,15a	3,47b	4,90a	2,75c	2,65a	5,22c
T7	3,30 ^{ns}	3,68c	0,98b	3,00b	2,31b	3,16c	0,42c	3,03d
T8	3,66 ^{ns}	7,57a	3,50a	6,82a	3,50b	3,33c	3,83a	8,76a
T9	3,74 ^{ns}	6,58b	3,28a	5,85a	6,37a	8,00a	2,87a	6,47b
T10	3,53 ^{ns}	3,93c	2,42b	2,76b	2,82b	2,96c	0,72c	2,55d
T11	5,07 ^{ns}	7,60a	5,40a	6,80a	6,77a	4,05c	3,72a	9,70a
T12	2,93 ^{ns}	8,22a	4,15a	7,25a	4,86a	4,90b	3,42a	4,93c
T13	4,25 ^{ns}	3,96c	2,93a	3,14b	3,10b	2,42c	0,57c	4,45c
CV (%)	27,81	15,64	33,18	17,77	19,78*	26,44	26,02*	19,91

(T1 - Testemunha, T2 - KCl (Padrão), T3 - Fonolito, T4 - Fonolito Hidrotermalizado, T5 - Glauconita de Goiás, T6 - Glauconita Paraná, T7 - Kamafugito Carmo do Paranaíba, T8 - Resíduo de Verdete, T9 - Silicato de potássio, T10 - Sulfato de Potássio, T11 - Termofosfato Potássico, T12 - Termopotassio, T13 - Verdete).

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna pelo teste de Scott-knott 5% de significância.

^{ns} = Médias não significativas pelo teste de comparação de medias de Scott-knott 5% de significância. CV= coeficiente de variação. 1° = Primeiro cultivo, 2°= Segundo cultivo,

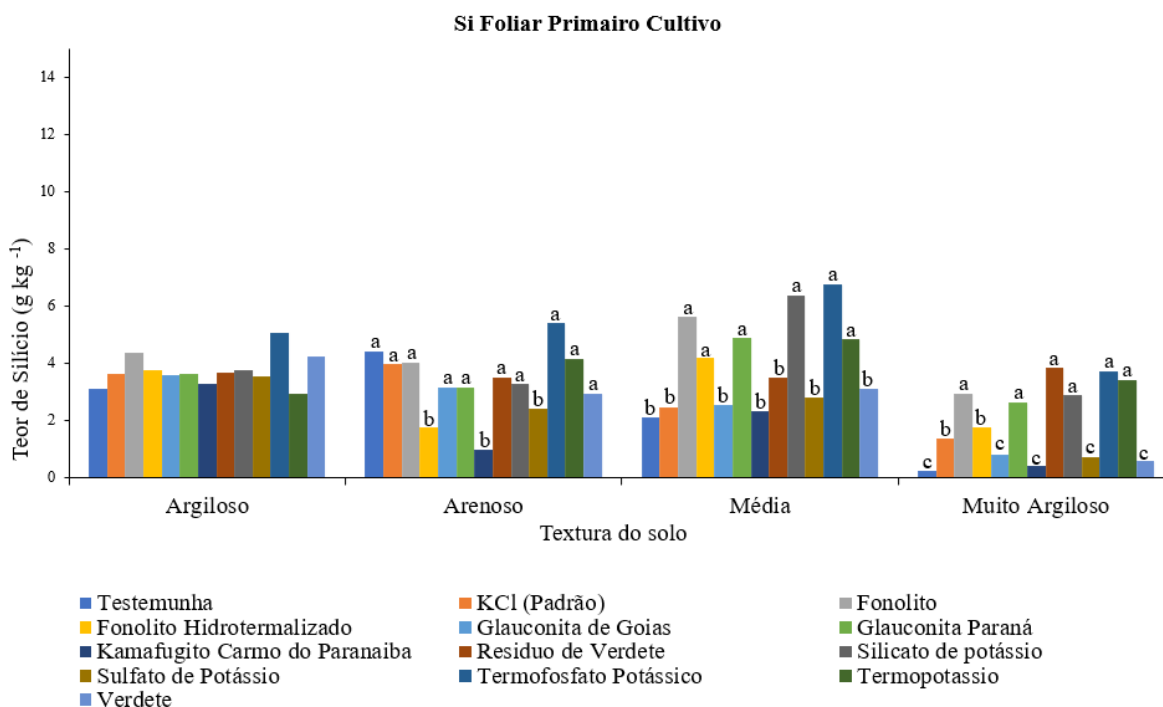
Média = Referente a média do teor de silício foliar dos dois cultivos consecutivos. * Dados transformados = \sqrt{X} .

** Dados transformados = $\sqrt{X+1}$.

Como e destacado em no livro *Agrominerais – Rochas Silicáticas como Fontes Mineraias Alternativas de Potássio para a Agricultura*, no capítulo 9 Martins e Oliveira, et al., (2013), diversas rochas têm potencial para aplicação na agricultura, como as rochas magmáticas alcalinas (tais como carbonatitos, kimberlitos, kamafugitos e flogopititos), rochas metassedimentares cálcio-silicáticas e produtos de metassomatismo potássico (como biotita xisto, flogopita xisto, biotitito e flogopitito), que possuem distribuição variada por todo o país.

Analisando o primeiro cultivo separadamente figura 30, observamos que no solo de textura Argilosa, as fontes não mostraram diferença significativa. Por outro lado, nos demais texturas de solos, foi possível notar teores de silício, em concentrações variadas.

Figura 30 - Comportamento da média dos teores de silício no primeiro cultivo em função das fontes alternativas de potássio em quatro texturas de solo diferentes. Letras minúsculas comparam média de concentração de silício fornecida pelos tratamentos dentro de uma mesma textura de solo pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Uberlândia, MG- Maio/2024.



É importante destacar que nem todas as fontes utilizadas no experimento são fontes de silício. Portanto, consideramos as diferenças entre elas para identificar possíveis fontes que liberam mais desse elemento benéfico para as plantas, capazes de aumentar a produtividade ou favorecer respostas fisiológicas a doenças e estresses ambientais.

De maneira geral, conforme mostrado na figura 30, o silício apresenta comportamentos distintos dependendo da textura do solo. As análises realizadas ao final da primeira colheita das

texturas de solo que apresentaram diferença significativa, apresentaram as seguintes respostas.

As fontes em solos de textura Arenosa não demonstraram aumento significativo nos teores de silício na planta a curto prazo, estatisticamente não superando os tratamentos T1 - Testemunha Absoluta e T2 - KCl (Padrão). Isso se deve ao conhecimento de que essas fontes de potássio não resultam em um acréscimo de silício no solo, uma vez que não são fontes desse nutriente.

Algumas fontes alternativas de potássio mostraram-se promissoras ao demonstrarem que, mesmo em um curto espaço de tempo, são fontes de silício, podendo aumentar consideravelmente a concentração desse elemento em seu tecido vegetal, em solos de textura Média e Muito Argilosa. Exemplos desses tratamentos incluem T3 - Fonolito, T6 - Glauconita Paraná, T9 - Silicato de Potássio, T11 - Termofosfato Potássico e T12 - Termopotássio.

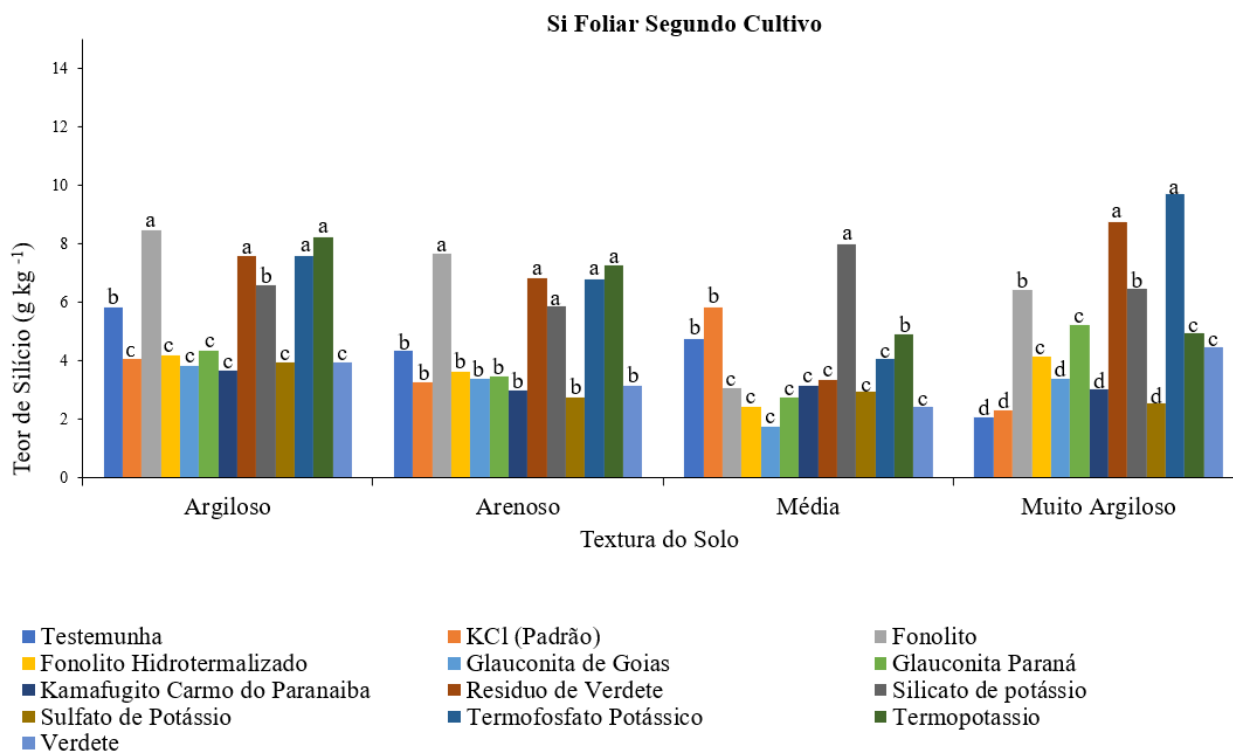
Em ambas as duas texturas de solos, eles apresentaram aumento significativo nos teores de silício, fornecendo-o prontamente e de forma absorvível às plantas de Milheto.

Também foi observado nas análises desta primeira colheita que existem fontes de potássio que se comportaram de maneira diferenciada no fornecimento de silício, dependendo da textura do solo em que foram aplicadas. Um exemplo desse comportamento ocorreu com as fontes T4 - Fonolito Hidrotermalizado e T8 - Resíduo de Verdete.

No segundo cultivo consecutivo figura 31, foi possível observar uma diferença significativa em todas as fontes alternativas de potássio, independentemente da textura em que foram testadas, com algumas dessas fontes fornecendo claramente altos teores de silício para as plantas de milho.

Isso sugere que, a longo prazo, após um intemperismo químico proveniente da relação entre solo, planta e essas fontes alternativas, ocorre uma diferença mais acentuada nos teores de silício de algumas fontes em comparação com todos os tratamentos presentes neste estudo. Além disso, demonstra-se que a textura do solo pode ser um fator a ser considerado, já que, dependendo da textura em que a fonte está presente, ela se comporta de maneira diferente em comparação com as demais fontes alternativas de potássio, no fornecimento de silício foliar.

Figura 31 - Comportamento da média dos teores de silício no segundo cultivo em função das fontes alternativas de potássio em quatro texturas de solo diferentes. Letras minúsculas comparam concentração de silício fornecida pelos tratamentos dentro de uma mesma textura de solo pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Uberlândia, MG- Maio/2024.



Em solos de textura Argilosa e Arenosa, na segunda colheita, mantiveram padrões semelhantes em relação ao fornecimento de silício pelas fontes alternativas de potássio, evidenciando que os tratamentos T3 - Fonolito, T8 - Resíduo de Verdete, T9 - Silicato de Potássio, T11 - Termofosfato de Potássico e T12 - Termopotássio conseguem claramente fornecer silício de forma absorvível para a planta quando aplicados no solo. Isso resultou em um aumento gradual dos teores de silício foliar em comparação com as demais fontes alternativas de potássio nessas duas texturas de solo. Isso sugere uma liberação gradual desse elemento, o que é vantajoso, demonstrando um alto efeito residual dessas fontes que liberam silício.

No solo de textura Média somente o tratamento T9 – Silicato de Potássio, mostrou altos teores de potássio quando comparado com os demais tratamentos, na segunda colheita em termos de gramas de silício em quilogramas de massa seca de plantas de Milheto.

O solo de textura Muito Argilosa demonstrou, em uma segunda análise, seguir o mesmo padrão observado nos solos de textura argilosa e arenosa mencionados anteriormente, com uma sutil diferença no fornecimento de silício da fonte T12 - Termopotássio. No entanto, as duas fontes que se mostraram estatisticamente superiores em relação às demais fontes

alternativas de potássio foram as fontes T8 - Resíduo de Verdete e T11 - Termofosfato de Potássico, apresentando os mais elevados teores de silício nessa textura de solo em comparação com os demais tratamentos.

Trabalhos também mostram que, o silício acumulado na folha de gramíneas permite que esta fique mais ereta, aumentando a área foliar exposta à luz solar Epstein., (1999); Cruciol., (2006).

Essas fontes podem proporcionar grandes vantagens para a agricultura já que, como destacado por Sávio e Silva et al., (2016), os solos tropicais, em sua maioria, são altamente intemperizados, ácidos e pobres em Si disponíveis para as plantas, e puderam concluir que aplicações foliares de silício podem promover um segundo e terceiro cortes com maior produção de massa seca para as duas espécies de gramíneas estudadas.

Portanto, fontes que conseguiram fornecer, em média, altos valores de silício, além de teores de potássio, merecem um estudo mais aprofundado e maior atenção. Esses materiais podem oferecer inúmeras vantagens nutricionais e fisiológicas para as plantas, o que pode se refletir diretamente na produção final.

6.4 Extração de silício por vaso (EXTSi)

Na tabela 9, e apresentado as médias da extração de silício das plantas de milho nas diferentes texturas de solo, a absorção de silício pelas plantas dá-se como ácido monossilícico, (H_4SiO_4), de forma passiva, com o elemento acompanhando a absorção da água., Jones e Handreck, (1967).

O estudo em questão adotou uma abordagem para fornecer água de maneira a atender às necessidades adequadas da cultura. O milho, por sua vez, apresenta uma extensa área radicular que maximiza a absorção de nutrientes, proporcionando todas as condições para uma máxima extração por parte da planta. Nesse contexto, a eficácia da extração de silício depende exclusivamente da liberação desse elemento pelas fontes testadas.

No solo de textura Argilosa, as fontes alternativas de potássio não apresentaram diferença significativa nem no primeiro cultivo, nem na soma das extrações de silício de cada ciclo.

TABELA 9: Médias provenientes do teste de médias Scott-knott 5% de significância, solo 1, 2, 3, 4 em função das fontes alternativas de potássio no solo na cultura do Milheto *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. na variável analisadas extração de silício por vaso, parte área de 10 plantas por vaso e extração total de Si em cultivos consecutivos. (EXTSi). Uberlândia, MG- Maio de 2024.

	Extração de Si											
	Argiloso			Arenoso			Média			Muito Argiloso		
	1°	2°	Extração Total	1°	2°	Extração Total	1°	2°	Extração Total	1°	2°	Extração Total
	----- mg. vaso ⁻¹ -----											
T1	115,4 ^{ns}	31,5 ^c	146,9 ^{ns}	97,6 ^c	69,7 ^b	167,3 ^b	122,8 ^b	34,1 ^c	156,9 ^b	2,4 ^b	46,5 ^b	48,8 ^b
T2	211,1 ^{ns}	25,2 ^c	236,3 ^{ns}	311,4 ^a	55,2 ^b	366,7 ^a	177,8 ^b	98,0 ^b	275,8 ^a	36,8 ^b	33,9 ^b	70,8 ^b
T3	197,1 ^{ns}	211,0 ^a	408,1 ^{ns}	166,6 ^b	174,6 ^a	341,2 ^a	315,2 ^a	23,6 ^d	338,8 ^a	122,5 ^a	84,5 ^b	207,0 ^a
T4	138,7 ^{ns}	46,4 ^c	185,1 ^{ns}	75,6 ^c	130,8 ^a	206,5 ^b	286,0 ^a	47,3 ^c	333,3 ^a	22,2 ^b	68,2 ^b	90,4 ^b
T5	166,4 ^{ns}	42,5 ^c	208,8 ^{ns}	86,4 ^c	87,5 ^b	173,9 ^b	94,3 ^b	15,6 ^d	109,9 ^b	13,6 ^b	74,1 ^b	87,7 ^b
T6	151,2 ^{ns}	85,2 ^b	236,3 ^{ns}	173,1 ^b	65,7 ^b	238,8 ^b	393,2 ^a	36,6 ^c	429,8 ^a	82,5 ^a	111,7 ^a	194,3 ^a
T7	166,0 ^{ns}	55,9 ^c	221,9 ^{ns}	39,2 ^c	91,5 ^b	130,7 ^b	130,4 ^b	54,2 ^c	184,6 ^b	14,0 ^b	39,0 ^b	53,1 ^b
T8	145,8 ^{ns}	57,0 ^c	202,8 ^{ns}	148,9 ^b	186,6 ^a	335,5 ^a	202,0 ^a	20,6 ^d	222,7 ^b	111,4 ^a	119,0 ^a	230,5 ^a
T9	157,3 ^{ns}	106,8 ^b	264,1 ^{ns}	218,7 ^b	180,3 ^a	399,1 ^a	230,8 ^a	169,7 ^a	400,5 ^a	109,2 ^a	142,3 ^a	251,5 ^a
T10	183,0 ^{ns}	58,0 ^c	240,9 ^{ns}	191,2 ^b	71,9 ^b	263,1 ^b	105,6 ^b	22,0 ^d	127,6 ^b	31,6 ^b	53,6 ^b	85,2 ^b
T11	248,8 ^{ns}	76,9 ^b	325,7 ^{ns}	286,2 ^a	99,9 ^b	386,1 ^a	284,1 ^a	10,0 ^d	294,1 ^a	112,2 ^a	211,6 ^a	323,8 ^a
T12	142,1 ^{ns}	87,3 ^b	229,4 ^{ns}	163,7 ^b	176,8 ^a	340,5 ^a	249,4 ^a	86,0 ^b	335,5 ^a	106,1 ^a	66,6 ^b	172,7 ^a
T13	202,1 ^{ns}	20,4 ^c	222,4 ^{ns}	119,3 ^c	75,6 ^b	194,9 ^b	160,4 ^b	39,9 ^c	200,3 ^b	15,9 ^b	64,0 ^b	79,9 ^b
CV (%)	27,18*	30,24*	22,18*	22,16*	22,26*	28,08	28,02*	24,63*	21,28*	34,53*	34,67*	22,15*

(T1 - Testemunha, T2 - KCl (Padrão), T3 - Fonolito, T4 - Fonolito Hidrotermalizado, T5 - Glauconita de Goiás, T6 - Glauconita Paraná, T7 - Kamafugito Carmo do Paranaíba, T8 - Resíduo de Verdete, T9 - Silicato de Potássio, T10 - Sulfato de Potássio, T11 - Termofosfato Potássico, T12 - Termopotássio, T13 - Verdete).

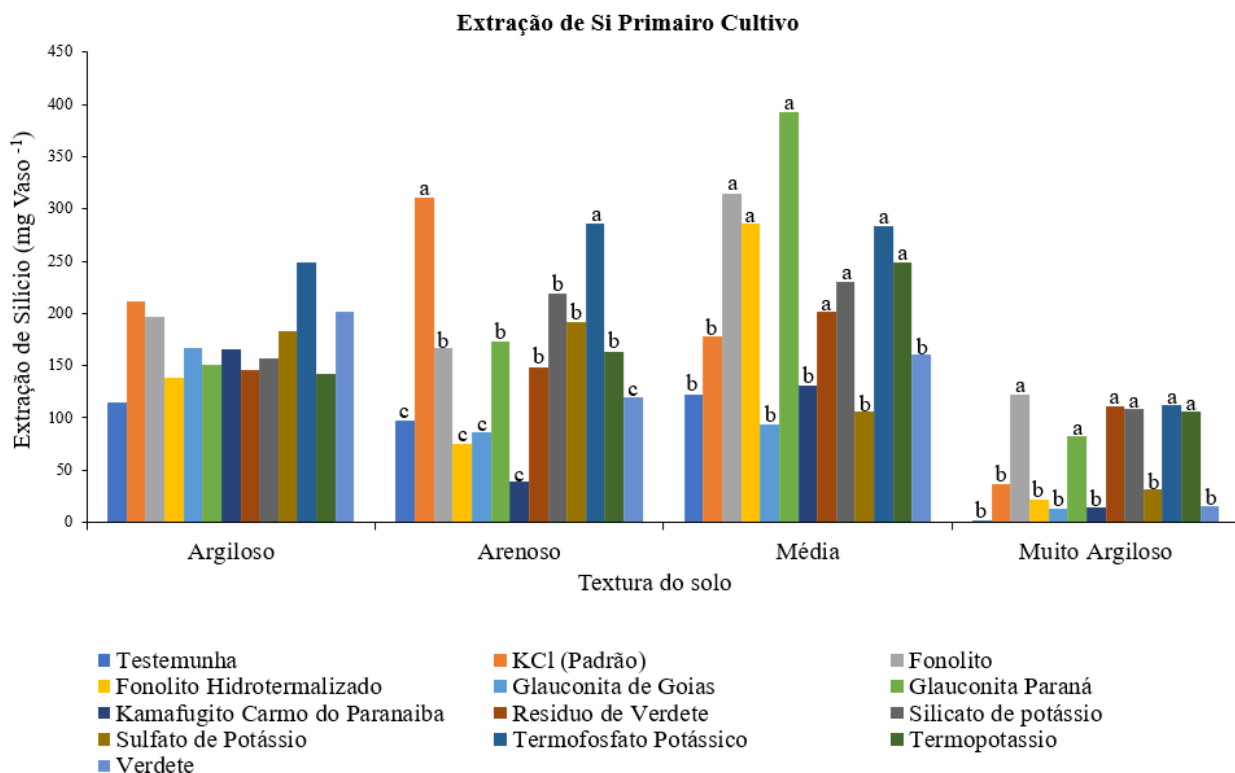
Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna pelo teste de Scott-knott 5% de significância.

CV= coeficiente de variação. * Dados transformados = \sqrt{X} .

1° = Primeiro cultivo 2° = Segundo cultivo Extração Total = Somatória da extração do 1° e 2° cultivos.

Na figura 32, que corresponde ao primeiro plantio de milho, ao analisar a extração de potássio em solo de textura Arenosa, observa-se que os tratamentos T2 - KCl (Padrão) e T7 - Glaucônita do Carmo do Paranaíba apresentaram as maiores médias de extração de silício. No entanto, o cloreto de potássio não é uma fonte de silício, o que sugere que a função da fonte de potássio, no caso do cloreto de potássio, foi maximizar o crescimento da planta de milho, permitindo que a planta absorvesse mais desse elemento já disponível no solo em questão.

Figura 32 - Comportamento das plantas em extrair silício no primeiro cultivo em função das fontes alternativas de potássio em quatro texturas de solo diferentes. Letras minúsculas comparam concentração de silício fornecida pelos tratamentos dentro de uma mesma textura de solo pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Uberlândia, MG- Maio/2024.



No primeiro ciclo em solo de textura média, alguns tratamentos apresentaram uma média significativa em relação à extração de silício. Fontes alternativas como T3 - Fonolito, T4 - Fonolito Hidrotermalizado, T6 - Glaucônita Paraná, T8 - Resíduo de Verdete, T9 - Silicato de Potássio, T11 - Termofosfato Potássico e T12 - Termopotássio permitiram que as plantas de milho extraíssem altos teores de silício por vaso.

Resultados semelhantes foram alcançados em relação as fontes em solo de textura Muito Argilosa, com exceção do tratamento T4 - Fonolito Hidrotermalizado, o qual apresentou uma maior extração de silício em solo de textura média em comparação com solo de textura

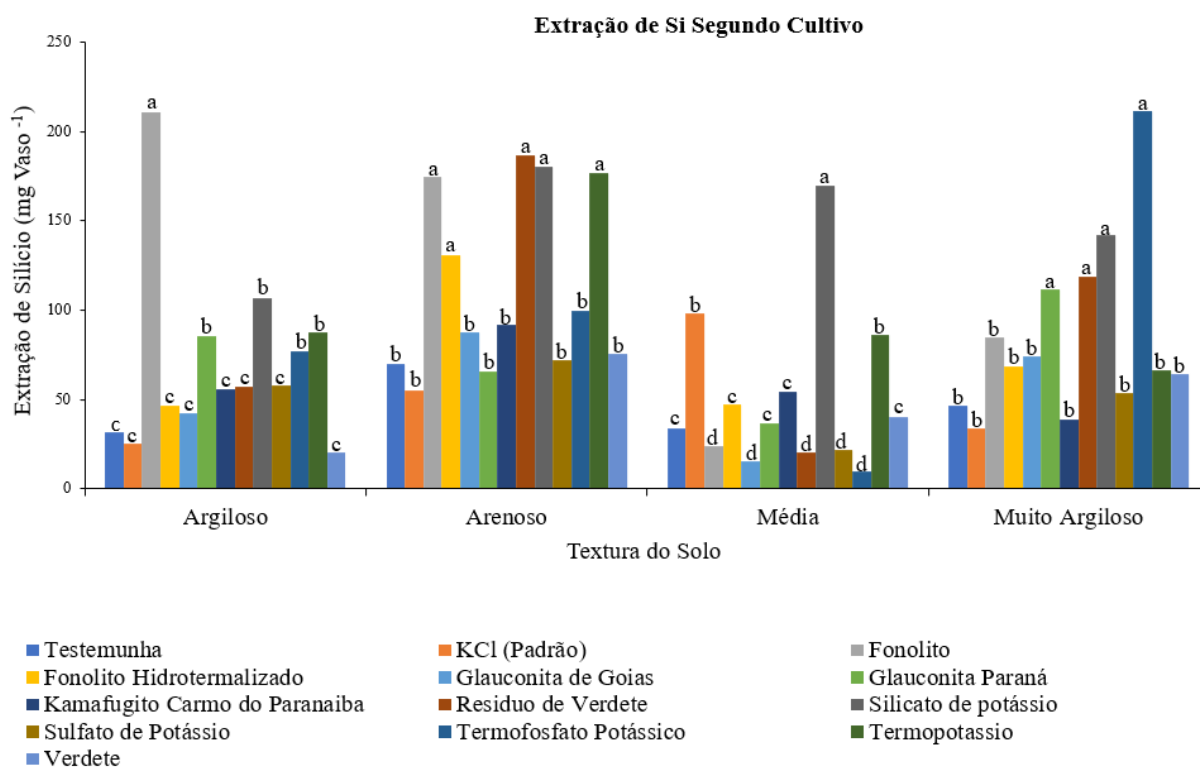
muito argilosa. Todas essas fontes mencionadas anteriormente, que possibilitam uma alta extração de silício pelas plantas de milho, são de origem nacional, o que favorece a economia e a exploração interna desses recursos. Além disso, essas fontes não se limitam apenas ao fornecimento de um único elemento, como o potássio ou o silício. Elas podem ser utilizadas de outras formas, maximizando seu uso quando combinadas de maneira adequada.

Leite (1985) e Valarelli (1993) desenvolveram métodos para produzir "Termofosfato Potássico Cálcico-Magnésico" e "Termofosfato Potássico", utilizando uma combinação de rocha potássica (verdete) de Abaeté, rocha fosfatada de Araxá e, no primeiro caso, também calcário magnésico. O objetivo do processo de Leite (1985), era criar um tipo de fertilizante que corrigisse a acidez do solo e fornecesse potássio e magnésio simultaneamente. Foram aplicados diversos tratamentos térmicos para avaliar a disponibilidade de fósforo e potássio no produto final. Valarelli (1993), concluiu em seus estudos que o termofosfato fundido, utilizando o verdete de Cedro do Abaeté como fonte de K_2O , possui características semelhantes ao termofosfato produzido com rochas ígneas, como as de Poços de Caldas.

Como mencionado em estudos de Lápido- Loureiro e Nascimento, et al., (2009), sobre "Tecnologias de Aplicação de Glauconita como Fonte de Potássio na Agricultura: O Caso Brasileiro e a Experiência Indiana", o Brasil deveria investir mais em pesquisa e desenvolvimento que viabilizasse o uso direto de glauconita (rochagem) na agricultura brasileira, bem como em estudos nesse sentido. A experiência da Índia mostra um interesse substancial em explorar essa abordagem no Brasil. Portanto, é crucial realizar um planejamento adequado para investigar essa possibilidade.

A extração de silício pelas plantas de milho é maior durante um segundo cultivo, evidenciando seu efeito residual na liberação desse elemento pelas fontes que o fornecem, conforme destacado na figura 33. Há uma diferença significativa entre as fontes alternativas de potássio em todas as texturas de solo, indicando uma complexa interação entre a extração de silício pelas plantas e a textura do solo. Dependendo do tipo de solo em que a fonte está presente, ela pode apresentar uma resposta mais eficaz ou menos eficaz em comparação com outras fontes estudadas neste trabalho.

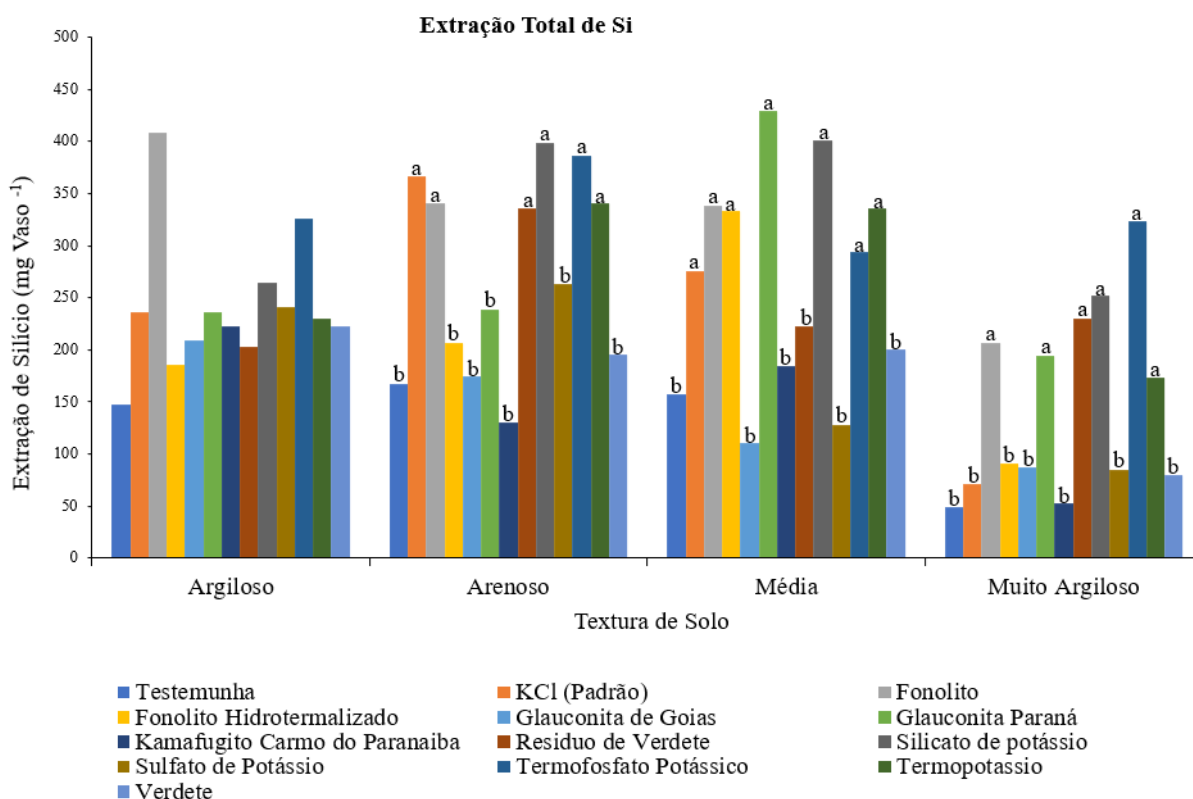
Figura 33 - Comportamento das plantas em extrair silício no segundo cultivo em função das fontes alternativas de potássio em quatro texturas de solo diferentes. Letras minúsculas comparam concentração de silício fornecida pelos tratamentos dentro de uma mesma textura de solo pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Uberlândia, MG-Maio/2024.



No segundo ciclo, o tratamento T3 - Fonolito apresentou as melhores extrações de silício em solos de textura argilosa e arenosa. Em solos de textura arenosa e muito argilosa, tanto o T8 - Resíduo de Verdete quanto o T9 - Silicato de Potássio permitiram altas médias de extração de silício, mesmo após um cultivo anterior em ambos os tipos de solo. Notavelmente, algumas fontes demonstraram comportamentos distintos dependendo da textura do solo em que estavam presentes. Por exemplo, o T3 - Fonolito e o T4 - Fonolito Hidrotermalizado exibiram melhores respostas em solos arenosos em comparação com solos muito argilosos, enquanto o oposto ocorreu com a fonte T6 - Glaucionita do Paraná e T11 - Termofosfato Potássico.

O tratamento com silicato de potássio evidenciou que, independentemente da textura do solo, as plantas apresentaram altos valores de extração de silício no segundo ciclo de cultivo de milho, destacando-se como uma fonte extremamente versátil de utilização ampla, sendo prontamente absorvida do solo pelas plantas.

Figura 34 - Extração total de silício pelas plantas em função das fontes alternativas de potássio em quatro texturas de solo diferentes. Letras minúsculas comparam concentração de silício fornecida pelos tratamentos dentro de uma mesma textura de solo pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Uberlândia, MG- Maio/2024.



Considerando tanto o primeiro quanto o segundo ciclo para calcular a extração total de silício realizada pelas plantas de milho, conforme mostrado na figura 34, os tratamentos não apresentaram diferença significativa para o solo de textura argilosa. No entanto, para as demais texturas de solo, os tratamentos revelaram diferenças significativas, permitindo que as plantas aumentassem sua extração de silício por vaso.

Na extração total de silício pelas plantas em relação aos tratamentos em solo arenoso, fontes como T3 - Fonolito, T8 - Resíduo de Verdete, T9 - Silicato de Potássio, T11 - Termofosfato Potássico e T12 - Termopotássio mostraram melhorias na extração total de silício em comparação com a testemunha absoluta, que não recebeu a adição de qualquer fonte. É possível que o T2 - KCl (Padrão) tenha atuado como um condicionador para as plantas, permitindo uma maior absorção de silício.

Segundo Faquim (2011), um benefício adicional do silício tem sido associado ao aumento da resistência das plantas à toxicidade de manganês (Mn). Esse efeito não se traduz em uma redução da absorção de Mn; ao invés disso, resulta em uma distribuição mais uniforme do Mn na folha, impedindo a formação das típicas manchas marrons, sintoma característico da

toxicidade de Mn. No caso do arroz cultivado em solos inundados, o silício aumenta a capacidade oxidativa das raízes, reduzindo a absorção e a toxicidade de ferro (Fe) e manganês (Mn). Esse mecanismo é explicado pela melhor estruturação do aerênquima, que promove a oxidação desses elementos na superfície radicular, diminuindo sua disponibilidade e absorção.

Em solo de textura Média, os tratamentos T3 - Fonolito, T4 - Fonolito Hidrotermal, T6 - Glauconita Paraná, T9 - Silicato de Potássio, T11 - Termofosfato e T12 - Termopotássio apresentaram as melhores médias de extração total de silício. Similarmente aos demais solos, houve variações entre os tratamentos dependendo da textura do solo, e isso foi observado também no solo de textura Muito Argilosa.

Portanto, fontes como T3 - Fonolito, T9 - Silicato de Potássio, T11 - Termofosfato Potássico e T12 - Termopotássio demonstraram proporcionar uma extração total de silício superior em relação às outras fontes estudadas, em solos de texturas arenosa, média e muito argilosa. Essa maior extração de silício oferece inúmeras vantagens para as plantas, uma vez que eleva os teores desse elemento em seu tecido vegetal.

6.5 Índice de Eficiência Agronômica (IEA)

O índice de eficiência agronômica é altamente relevante para uma comparação porque permite avaliar a eficácia relativa das diferentes fontes de nutrientes, como no caso do potássio. Esse índice considera não apenas a quantidade de nutriente fornecido pelas fontes, mas também o seu efeito no crescimento e desenvolvimento das plantas. Dessa forma, ele proporciona uma medida mais abrangente do desempenho das fontes de nutrientes, ajudando os agricultores a tomarem decisões informadas sobre a escolha da fonte mais adequada para maximizar a produção e a eficiência dos recursos agrícolas.

Conforme demonstrado na Tabela 10, o índice de eficiência agronômica revelou significativas diferenças entre as fontes alternativas de potássio, dependendo da textura do solo em que foram aplicadas. Além disso, destaca-se o notável efeito residual dessas fontes, evidenciado em uma segunda colheita.

TABELA 10: Índice de eficiência agronômica 1° e 2° cultivo e acumulado. (IEA de K), em função das fontes alternativas de potássio aplicadas nos 4 solos. Uberlândia, MG- Maio de 2024.

	IEA de K											
	Argiloso			Arenoso			Média			Muito Argiloso		
	1°	2°	IEA Ac.	1°	2°	IEA Ac.	1°	2°	IEA Ac.	1°	2°	IEA Ac.
T2	100,0 ^{ns}	100,0 ^{ns}	100,0 ^{ns}	100,0 ^{ns}	100,0 ^{ns}	100,0 ^{ns}	100,0 ^{ns}	100,0 ^{ns}	100,0 ^{ns}	100,0 ^{ns}	100,0 ^{ns}	100,0 ^{ns}
T3	61,3 ^{ns}	1600,0 ^a	138,5 ^{ns}	33,4 ^{ns}	677,8 ^a	43,8 ^{ns}	25,9 ^a	6,6 ^a	18,9 ^a	170,6 ^λ	116,2 ^{ns}	208,1 ^a
T4	11,0 ^{ns}	458,3 ^a	33,5 ^{ns}	37,1 ^{ns}	2233,3 ^a	72,2 ^{ns}	73,0 ^{ns}	113,2 ^{ns}	87,3 ^{ns}	5,4 ^a	67,6 ^{ns}	-37,4 ^a
T5	47,6 ^{ns}	458,3 ^a	68,2 ^{ns}	9,2 ^{ns}	1077,8 ^a	26,3 ^{ns}	-73,0 ^a	18,9 ^a	-39,5 ^a	19,2 ^β	-25,0 ^a	49,5 ^{ns}
T6	26,9 ^{ns}	1175,0 ^a	84,5 ^{ns}	67,1 ^{ns}	311,1 ^{ns}	71,2 ^{ns}	148,6 ^a	54,7 ^a	114,4 ^{ns}	149,7 ^{ns}	1,47 ^a	251,5 ^a
T7	59,9 ^{ns}	866,7 ^a	101,0 ^{ns}	39,8 ^{ns}	1688,9 ^a	66,2 ^{ns}	20,0 ^a	91,5 ^{ns}	46,0 ^a	86,2 ^{ns}	97,1 ^{ns}	78,8 ^{ns}
T8	2,6 ^{ns}	208,3 ^{ns}	13,4 ^{ns}	38,7 ^{ns}	1166,7 ^a	56,9 ^{ns}	24,9 ^a	-3,8 ^a	14,8 ^a	106,0 ^{ns}	41,2 ^{ns}	104,0 ^{ns}
T9	24,2 ^{ns}	891,7 ^a	67,4 ^{ns}	77,2 ^{ns}	1522,2 ^a	100,4 ^{ns}	-99,5 ^a	141,5 ^β	-11,7 ^a	172,5 ^λ	-8,8 ^a	297,0 ^a
T10	88,5 ^{ns}	750,0 ^a	121,8 ^{ns}	105,8 ^{ns}	1088,9 ^a	121,5 ^{ns}	13,51 ^a	7,5 ^a	11,3 ^a	241,9 ^a	-8,8 ^a	414,1 ^a
T11	62,1 ^{ns}	375,0 ^β	77,8 ^{ns}	55,0 ^{ns}	-211,1 ^λ	50,7 ^{ns}	-71,3 ^a	-37,7 ^a	-59,8 ^a	109,0 ^{ns}	-2,9 ^a	185,9 ^β
T12	56,8 ^{ns}	433,3 ^a	75,7 ^{ns}	30,6 ^{ns}	944,4 ^a	45,2 ^{ns}	-6,5 ^a	107,5 ^{ns}	35,0 ^a	128,7 ^{ns}	133,8 ^{ns}	125,2 ^{ns}
T13	52,9 ^{ns}	-33,3 ^{ns}	48,5 ^{ns}	32,9 ^{ns}	833,3 ^a	45,5 ^{ns}	-10,81 ^a	98,1 ^{ns}	28,9 ^a	109,0 ^{ns}	97,1 ^{ns}	117,2 ^{ns}
CV (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

(T2 - KCl (Padrão), T3 - Fonolito, T4 - Fonolito Hidrotermalizado, T5 - Glauconita de Goiás, T6 - Glauconita Paraná, T7 - Kamafugito Carmo do Paranaíba, T8 - Resíduo de Verdete, T9 - Silicato de potássio, T10 - Sulfato de Potássio, T11 - Termofosfato Potássico, T12 - Termopotássio, T13 - Verdete).

Médias seguidas de símbolos diferem da coluna pelo teste de Dunnett (KCl), onde ^a (0,001 de significância), ^β (0,01 de significância), ^λ (0,05 de significância) e ^{ns} = não significativas.

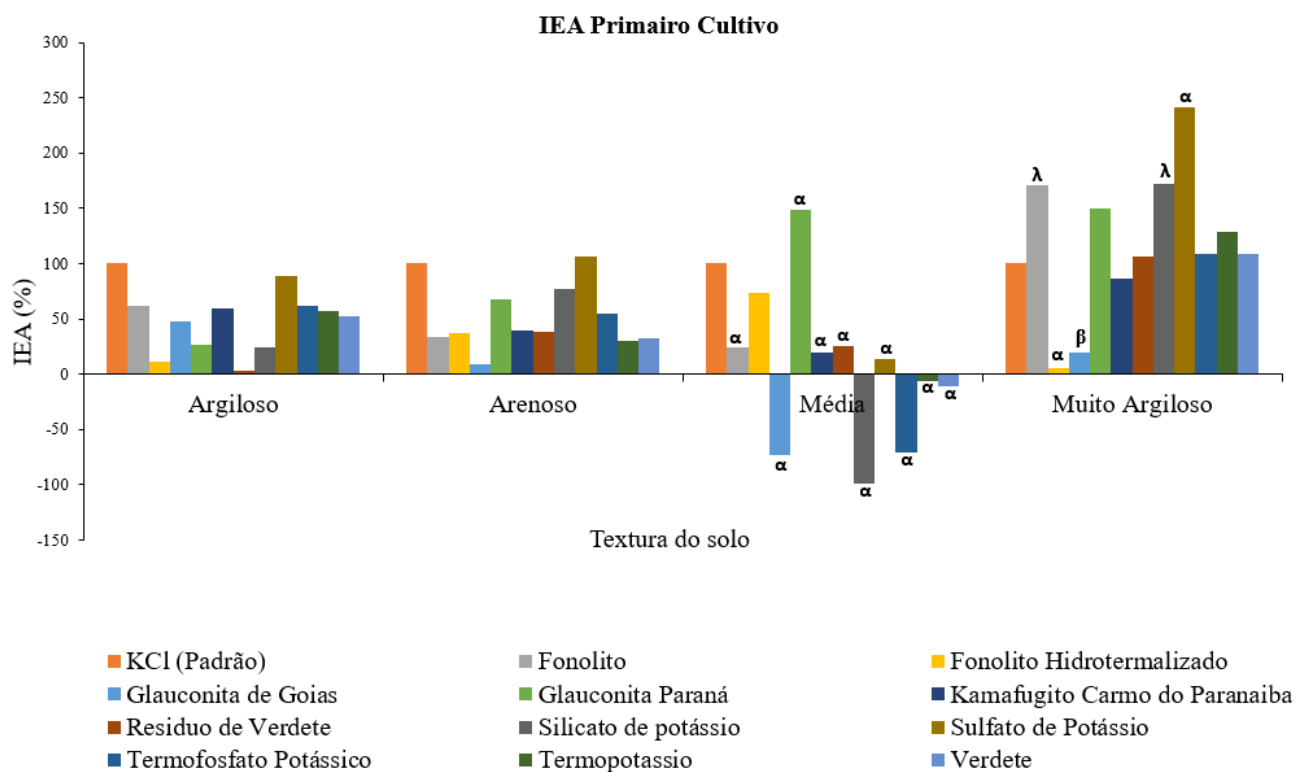
CV= coeficiente de variação. 1° = Primeiro cultivo. 2°= Segundo cultivo.

IEA Ac. = Referente ao índice de eficiência agronômica calculada do acúmulo de massa seca.

Esses resultados destacam a importância de considerar a interação entre as fontes de nutrientes e as características do solo para maximizar a eficiência e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

Como representado pela figura 35, nos solos de textura Argilosa e Arenosa, as fontes alternativas de potássio não apresentaram diferenças significativas quando comparadas com o cloreto de potássio, enquanto nos solos de textura Média e Muito Argiloso, observou-se uma diferença significativa entre as fontes já no primeiro cultivo, evidenciando que algumas fontes se mostraram agronomicamente eficientes em um curto espaço de tempo.

Figura 35 - Índice de eficiência agrônômica calculada após primeiro cultivo, em função das fontes alternativas de potássio em quatro texturas de solo diferentes. Símbolos representam diferença significativa para o teste de Dunnett, onde α (0,001 de significância), β (0,01 de significância), λ (0,05 de significância) e sem qualquer letra (não significativas), quando comparadas com o tratamento T2- Cloreto de Potássio. Uberlândia, MG- Maio/2024.



Em solo de textura Média, a fonte T3- Fonolito, T5- Glauconita de Goiás, T7- Kamafugito Carmo do Paranaíba, T8- Resíduo de Verdete, T9- Silicato de Potássio, T10- Sulfato de Potássio, T11- Termofosfato Potássico, T12- Termopotassio e T13- Verdete, apresentam diferença significativa menor 0,001 de significância o que representa que são considerados altamente significativos quando comparados como o tratamento T2- (KCl Padrão), porém e uma diferença de uma forma negativa apresentando valores de índice de

eficiência agronômica em um primeiro cultivo inferiores ao tratamento padrão T2.

A fonte alternativa de potássio T6 - Glauconita Paraná apresentou um valor altamente significativo quando comparada com o tratamento T2 - KCl (padrão). Notavelmente, os resultados foram positivos, com a Glauconita Paraná alcançando valores superiores à fonte padrão de potássio já no primeiro cultivo em solo de textura Média, conforme ilustrado na Figura 35.

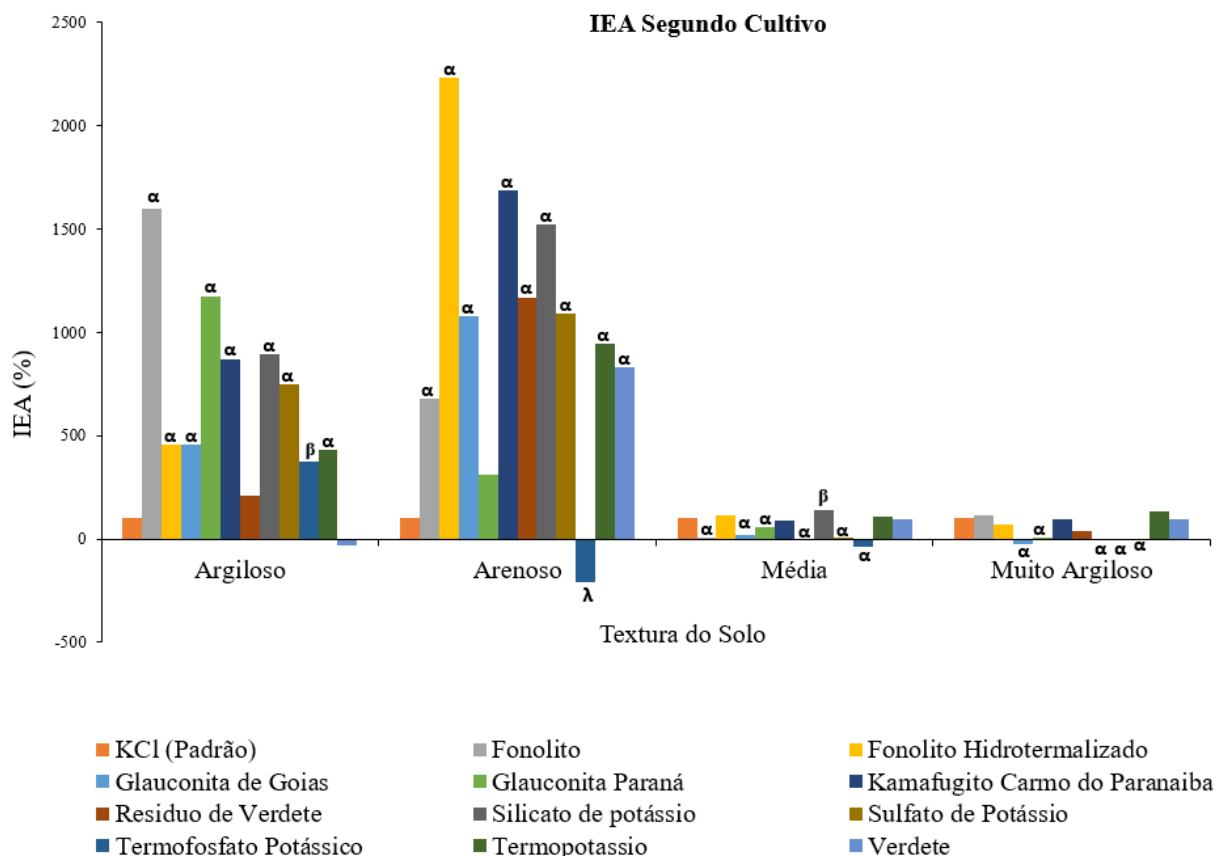
Em solo de textura Muito Argilosa, os tratamentos T3 - Fonolito e T9 - Silicato de Potássio mostraram ser significativos ao nível de 0,05 de significância quando comparados com o tratamento padrão T2 - KCl, apresentando índices de eficiência agrônômica superiores ao tratamento com cloreto de potássio no primeiro cultivo. Além desses tratamentos, a fonte T10 - Sulfato de Potássio apresentou uma diferença altamente significativa, obtendo o maior índice de eficiência agrônômica para essa textura de solo a curto prazo.

A Figura 25 evidencia que a dinâmica das fontes de potássio depende da textura do solo em que são aplicadas, influenciando seu índice de eficiência agrônômica. Nascimento e Loureiro (2004) já destacavam que existem fontes alternativas de potássio com grande potencial para fornecer K, devido ao seu considerável teor de K_2O e à sua ocorrência abundante. No entanto, para que possam ser eficazmente utilizadas como fertilizantes de liberação lenta, aplicados diretamente no solo, são necessários estudos sobre as propriedades químicas dos solos e a cinética de migração de íons, uma vez que essas características variam de acordo com o tipo de solo e as condições climáticas locais.

Em estudos similares Vaz (2011), com a cultura do milho em solos de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), verificou-se que, ao longo de dois cultivos consecutivos em casa de vegetação, o termopotássio demonstrou maior eficiência em comparação com o KCl. O termopotássio apresentou um comportamento caracterizado pela liberação imediata de parte do potássio e gradual de outra parte no solo, conferindo-lhe o atributo de fonte com liberação gradual desse nutriente. Resultados similares não foram obtidos nesse trabalho já em um primeiro cultivo a curto prazo não foi possível observar índices de eficiência agrônômica significativa para o tratamento T12- Termopotássio, maiores que a fonte padrão T2 independente da textura de solo.

Após a conclusão da primeira colheita, a segunda safra foi iniciada e o processo de cálculo da eficiência agrônômica foi repetido para investigar a liberação de potássio entre diversas fontes e texturas de solo, figura 36.

Figura 36 - Índice de eficiência agrônômica calculada após segundo, em função das fontes alternativas de potássio em quatro texturas de solo diferentes. Símbolos representam diferença significativa para o teste de Dunnett, onde α (0,001 de significância), β (0,01 de significância), λ (0,05 de significância) e sem qualquer letra (não significativas), quando comparadas com o tratamento T2- Cloreto de Potássio. Uberlândia, MG- Maio/2024.



Esses resultados, juntamente com relatos anteriores, ressaltam ainda mais a crescente necessidade de estudos mais aprofundados para compreender a complexa relação entre as fontes alternativas de potássio e sua interação com diversas texturas de solo. Existe uma clara relação direta entre o índice de eficiência agrônômica e as diferentes texturas de solo, além de um efeito a longo prazo que deve ser considerado.

No segundo cultivo, conforme apresentado na Figura 36, o efeito residual das fontes alternativas de potássio foi mais evidente. Em todas as texturas de solo, alguns tratamentos apresentaram índices de eficiência agrônômica significativamente diferentes do tratamento T2 (KCl padrão).

Em solo de textura Argilosa, a maioria das fontes apresentou diferenças fortemente significativas em relação à fonte cloreto de potássio T2, com exceção das fontes T8 - Resíduo de Verdete e T13 - Verdete, que não mostraram diferença significativa em relação à T2. Nessa mesma textura de solo, destacaram-se as fontes T3 - Fonolito, T6 - Glauconita Paraná, T9 - Silicato de Potássio e T7 - Kamafugito Carmo do Paranaíba, que apresentaram índices de

eficiência agronômica significativamente maiores do que a testemunha padrão, T2.

Já em solo Arenoso, a fonte T4 - Fonolito Hidrotermalizado mostrou-se altamente significativa quando comparada com T2 (KCl padrão), apresentando um índice de eficiência agronômica até 22 vezes maior do que o calculado para a fonte convencional. A fonte T6 - Glauconita Paraná não apresentou diferença significativa em relação ao KCl, enquanto a fonte T11 - Termofosfato Potássico mostrou uma diferença significativa de forma negativa. As demais fontes demonstraram ser significativamente diferentes, utilizando o teste de Dunnett para o índice de eficiência agronômica calculado para o segundo cultivo em relação ao tratamento T2, apresentando valores significativamente positivos.

Fontes como T4- Fonolito hidrotermalizado, mostram-se mais responsivas, dependente da textura de solo em que estão presentes, além de uma liberação mais a longo prazo. Podem apresentar uma resposta positiva em solo Arenoso, superando a fonte padrão, ou se equiparando ao cloreto de potássio em textura Média. Outros tratamentos também apresentaram comportamentos distintos quando levando em conta as duas texturas.

Em solo de textura Média, a única fonte que se destacou como significativamente superior a T2 (KCl Padrão) foi o T9- Silicato de Potássio. Outras fontes, como o T3- Fonolito, a T5- Glauconita de Goiás, a T6- Glauconita Paraná, o T8- Resíduo de Verdete, o T10- Sulfato de Potássio e o T11- Termofosfato Potássico, também mostraram diferença significativa em comparação com T2, porém de forma negativa, apresentando valores relativamente inferiores à testemunha padrão.

Em um segundo cultivo em solo Muito Argiloso, apenas algumas fontes alternativas demonstraram diferenças significativas em comparação com a testemunha padrão (cloreto de potássio). As fontes T5- Glauconita de Goiás, T6- Glauconita Paraná, T9- Silicato de Potássio, T10- Sulfato de Potássio e T11- Termofosfato Potássico, foram significativamente inferiores de forma negativa, obtendo valores de índice de eficiência agronômica bem menores do que o tratamento T2.

Com o intuito de considerar um efeito cumulativo de vantagens e desvantagens ao longo do tempo, abarcando tanto os efeitos de um primeiro cultivo quanto os subsequentes a longo e curto prazo, de modo a refletir a realidade enfrentada pelo produtor e mitigar possíveis impactos negativos da baixa disponibilidade a curto prazo e o elevando potencial de eficiência agronômica a longa das fontes alternativas, foi realizada o cálculo do índice da eficiência agronômica acumulada, a partir da massa seca acumulada entre as duas colheitas de milho, em vez de uma simples soma, como demonstrado na tabela 10.

Em seguida, a figura 37, pode-se visualizar esse efeito separadamente, considerando o acumulado geral do índice de eficiência agrônômica.

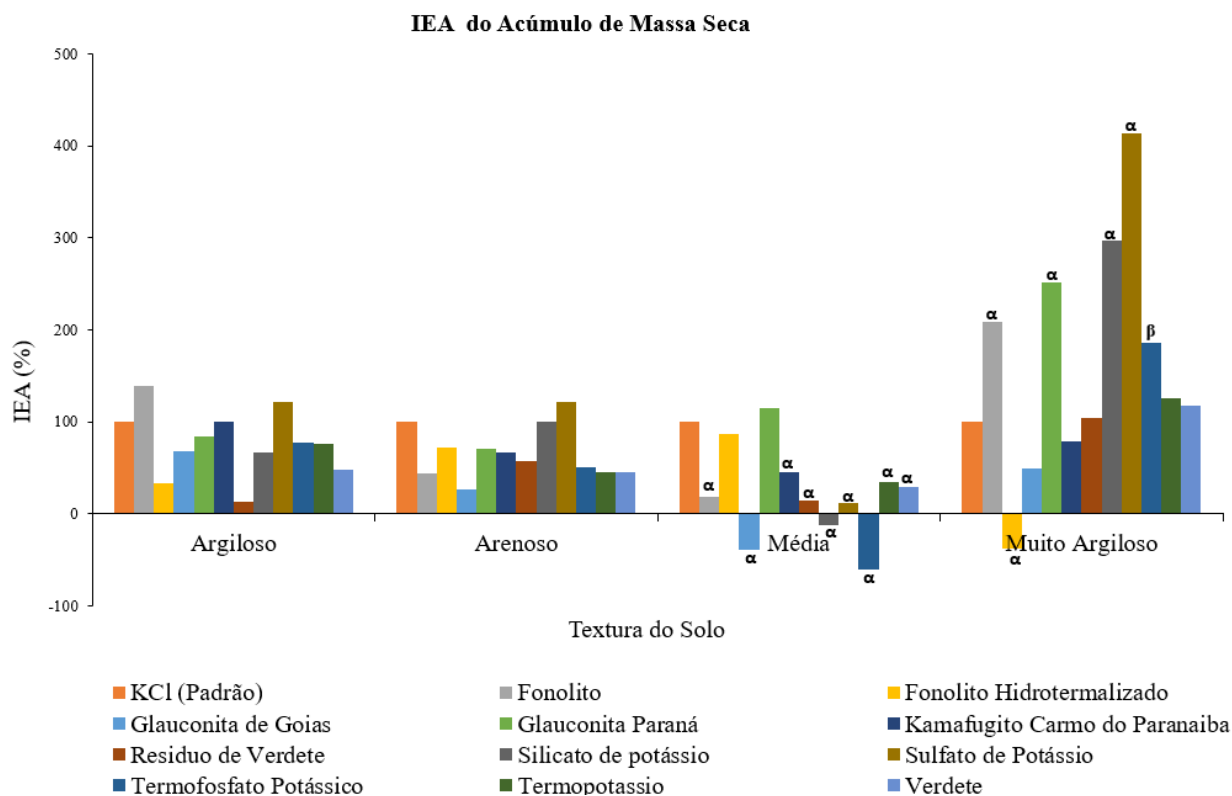
Estudos conduzidos por Reis et al., (2011) já destacavam a importância de pesquisas relacionadas ao milho e às fontes alternativas de potássio, evidenciando um interesse prévio em compreender melhor o efeito residual dessas rochas, que podem apresentar resultados mais promissores para variáveis de interesse agrônômico e econômico.

Em estudos de Teixeira e Garido (2012), foi observada uma leve variação na eficiência de extração do potássio presente na rocha, dependendo de sua granulometria. O teor máximo de potássio disponível na rocha, de 0,08%, foi obtido durante a extração com a solução de Mehlich 1. Essas descobertas incentivam a investigação do uso da rocha como uma alternativa de fertilizante potássico, ressaltando sua importância para a sustentabilidade do setor agrícola.

Nascimento e Loureiro (2004), destacam que existem fontes alternativas de potássio que possuem um grande potencial para extrair o K, devido ao seu considerável teor de K_2O e à sua ocorrência abundante. No entanto, para que possam ser eficazmente utilizadas como fertilizantes de liberação lenta, aplicados diretamente no solo, são necessários estudos sobre as propriedades químicas dos solos e a cinética de migração de íons, uma vez que essas características variam de acordo com o tipo de solo e as condições climáticas locais.

Na Figura 37, é possível observar o índice de eficiência agrônômica calculado a partir da massa seca acumulada durante os dois cultivos consecutivos, sem a adição de novos tratamentos.

Figura 37 - Índice de eficiência agrônômica calculado do acúmulo de massa seca, em função das fontes alternativas de potássio em quatro texturas de solo diferentes. Símbolos representam diferença significativa para o teste de Dunnett, onde α (0,001 de significância), β (0,01 de significância), λ (0,05 de significância) e sem qualquer letra (não significativas), quando comparadas com o tratamento T2- Cloreto de Potássio. Uberlândia, MG- Maio/2024.



Conforme demonstrado na Figura 37, as fontes alternativas de potássio em solos com texturas Argilosa e Arenosa não apresentaram diferenças significativas em relação ao tratamento T2 (KCl Padrão), quando consideramos o índice de eficiência agrônômica do acúmulo de massa seca após dois cultivos.

No solo de textura Média, apenas as fontes T4 - Fonolito Hidrotermal e T6 - Glauconita Paraná não demonstraram diferenças significativas em comparação com o KCl, enquanto as demais fontes apresentaram diferenças negativas significativas, com índices de eficiência agrônômica significativamente menores do que a testemunha absoluta.

Por outro lado, em solo Muito Argiloso, as fontes T10 - Sulfato de Potássio, T9 - Silicato de Potássio, T6 - Glauconita Paraná, T3 - Fonolito e T11 - Termofosfato Potássico mostraram-se significativamente diferentes da fonte padrão de KCl, com valores positivamente superiores ao T2. No entanto, a fonte T4 - Fonolito Hidrotermalizado não obteve bons

resultados nessa textura de solo, sendo altamente significativa de forma negativa, com um índice de eficiência agrônômica consideravelmente inferior ao do KCl padrão.

As texturas de solo que, ao final do estudo, revelaram um efeito significativo no índice de eficiência acumulado foram os solos de textura Média e Muito Argilosa. Isso indica que, considerando uma análise cumulativa, algumas fontes demonstraram ser mais vantajosas do que a fonte tradicional de cloreto de potássio, especialmente quando aplicadas em texturas de solo alinhadas com os resultados desejados.

Fontes alternativas de potássio, como T3- Fonolito, T6- Glauconita Paraná, , T9- Silicato de Potássio, T10- Sulfato de Potássio, T11- Termopotássio demonstraram um alto índice de eficiência agrônômica no fornecimento de potássio em relação a T2- KCl (Padrão), na textura de solo Muito Argiloso, demonstrando a versatilidade de utilização dessas fontes e uma possível combinação, entre fonte padrão de potássio e fontes nacionais, pensando em uma liberação a curto prazo utilizando o sal de potássio e em longos prazos liberação mais lenta, as fontes nacionais.

Em trabalho realizado por Oliveira et al., (2006), estudando o efeito residual da adubação com rochas brasileiras como fontes de potássio para a cultura da soja, pode concluir que as rochas ultramáficas alcalinas e os xistos de biotita demonstram uma elevada eficiência agrônômica como fontes de potássio de liberação gradual, contribuindo significativamente para a produção de matéria seca pelas plantas. Resultados semelhantes aos apresentados no trabalho em questão onde as fontes alternativas contribuíram significativamente dependendo da textura de solo em que são aplicadas.

Quando consideramos o índice de eficiência agrônômica do acumulado de massa seca, não houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos e o cloreto de potássio nos solos de textura Argilosa e Arenosa.

Dependendo da região em que se deseja utilizar a fonte alternativa de potássio, tornando-a economicamente viável, o produtor pode obter inúmeras vantagens, conforme destacado pelo presente trabalho. Utilizar essas fontes de maneira mais eficiente pode maximizar o aproveitamento dos recursos naturais finitos, fornecendo potássio, um elemento essencial para as plantas, e outros nutrientes benéficos, como silício. Além disso, essa abordagem minimiza o desperdício, evitando impactos ambientais negativos, como a lixiviação e a acumulação excessiva de potássio em corpos d'água subterrâneos. Isso contribui para uma maior autonomia nacional, favorecendo o desenvolvimento econômico e a geração de empregos.

6 CONCLUSÕES

- As fontes alternativas de potássio revelaram disparidades significativas nas variáveis de massa seca, extração de potássio e silício, teor de potássio e silício no tecido vegetal, bem como no índice de eficiência agrônômica. Essas disparidades variam conforme a época de colheita e a textura do solo.
- No primeiro cultivo em solo de textura Média, o tratamento T6- Glauconita Paraná foi altamente eficiente. Já em solo Muito Argiloso, as fontes mais eficientes foram T3- Fonólito, T9- Silicato de Potássio e T10- Sulfato de Potássio.
- Nos solos de textura Arenosa e Argilosa, considerando o segundo cultivo, foram observadas diferenças altamente significativas entre os tratamentos e o KCl (Padrão). Tratamentos como T3- Fonólito, T4- Fonólito Hidrotermalizado, T5- Glauconita de Goiás, T7- Kamafigito Carmo do Paranaíba, T9- Silicato de Potássio, T10- Sulfato de Potássio e T12- Termopotássio demonstraram altas índices de eficiência agrônômica em ambas as texturas de solo.
- No índice de eficiência agrônômica da massa seca acumulado ao final dos dois cultivos no solo de textura Muito Argilosa, os tratamentos T3- Fonólito, T5- Glauconita de Goiás, T9- Silicato de Potássio, T10- Sulfato de Potássio, T11- Termofosfato Potássico, apresentaram ser altamente eficientes em relação a T2- (KCl Padrão).
- Adicionalmente, algumas fontes alternativas de potássio também se mostraram como fontes de elementos benéficos, como o silício. Exemplos incluem os tratamentos T3 - Fonólito, T8 - Resíduo de Verdete, T9 - Silicato de Potássio, T11 - Termofosfato de Potássico e T12 – Termopotássio.

REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J. C.; GUIDOLIN, J. A.; LOPES, A. S. **Os adubos e a eficiência das adubações**. Boletim técnico n° 3, p. 43, dezembro de 1998. Disponível em: https://anda.org.br/wp-content/uploads/2018/10/boletim_03.pdf. Acesso em: 03 de abril de 2024.
- BENITES, V. M.; CARVALHO, M. C. S.; RESENDE, A. V.; POLIDORO, J. C; BERNARDI, A. C. C.; OLIVEIRA, F. A. **O potássio, o cálcio e o magnésio na agricultura brasileira**. Cap. 16, 72p, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Alberto-Bernardi-2/publication/277328049_POTASSIO_CALCIO_E_MAGNESIO_NA_AGRICULTURA_BRASILEIRA_Potassim_calcium_and_magnesium_in_Brazilian_agriculture/links/5568511d08aec226830140d4/POTASSIO-CALCIO-E-MAGNESIO-NA-AGRICULTURA-BRASILEIRA-Potassim-calcium-and-magnesium-in-Brazilian-agriculture.pdf . Acesso em: 19 de abril de 2024.
- BERTOLINE, A. C.; NETO, S. A. R. et al. **Segurança alimentar nas políticas estratégicas da china e dos estados unidos: aportes para o brasil**. Revista tempo do mundo, rtm , n. 31, p. 319, abr, 2023. Disponível em: [443-Texto do artigo-1773-1-10-20230906.pdf](https://www.researchgate.net/publication/364430906) . Acesso em: 12 de novembro de 2023.
- BOLDRIN, P. F. et al. **Fontes alternativas de potássio para o cultivo do milho**. Ciência e Agrotecnologia, 43: e023619, p. 10, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/XRyWL9vhMMNNqnHdH5b6Pnp/?format=pdf&lang=en> . Acesso em: 12 de novembro de 2023.
- BRASIL, E. C.; NASCIMENTO, E. V. S. **Aproveitamento agronômico de escória de siderurgia de alto-forno na correção da acidez do solo**. 40p. ISSN 1983-0513 Maio/2019. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fainfo.cnptia.embrapa.br%2Fdigital%2Fbitstream%2Fitem%2F197544%2F1%2FCPATU-DOC-444.pdf&psig=AOvVaw2055CtMT9Oda3SK2QGALUV&ust=1714449683753000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CAcQrpoMahcKEwjovtz0xOaFAxUAAAAAHQAAAAAQBA> Acessado em: 15 de outubro de 2023.
- BRAZ, A. J. B. P. et al. **Acumulação de nutrientes em folhas de milho e dos capins braquiária e mombaça**. V. 34, n. 2, p. 83-87, 2004. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/28435/1/pat34n2Braz.pdf> . Acesso em: 06 de novembro de 2023.
- BRITO, J. L. S. **Adequação das potencialidades do uso da terra na Bacia do ribeirão Bom Jardim no Triângulo Mineiro (MG): Ensaio de Geoprocessamento**. São Paulo: USP/FFLCH, 2001, 184 p. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001175233>. Acesso em: 20 de abril de 2024.

BUENO, M. P., DE ANDRADE, J. R. E., DEMARCHI, P. H., GONÇALVES, P. B., & MACEDO, K. G. (2023). **Impasses da produção de fertilizantes no Brasil**. *Revista De Gestão E Secretariado (Management and Administrative Professional Review)*, 14(7), 11077–11091. Disponível em: <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i7.1818>. Acesso em: 29 de outubro de 2023.

BUENO, P. M.; ANDRADE, J. R. E. et al. **Impasses da produção de fertilizantes no brasil**. *Revista de gestão e secretariado*, São Paulo, SP, Brasil, v. 14, n. 7, p. 11077-11091, 2023. Disponível em: <http://doi.org/10.7769/gesec.v14i7.1818>. Acesso em: 12 de novembro de 2023.

CALIGARIS, B. S. A., RANGEL, L. E. P, POLIDORO, J. C. & FARIAS, P. I.V.A **importância do Plano Nacional de Fertilizantes para o futuro do agronegócio e do Brasil**. 2022, 6p. *Revista de Política Agrícola*, ano XXXI, n. 1. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1142514/1/A-importancia-do-PNF.pdf>. Acesso em: 29 de outubro de 2023.

CANTUÁRIO, F. S. **Produção de pimentão submetido a estresse hídrico e silicato de potássio em cultivo protegido**. p. 107, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/12166/1/d.pdf>. Acesso em: 19 de abril de 2024.

CARVALHO, J. P.; HÉLIO PRADO. **SOLO- Paisagem**. Disponível em: <https://www.pedologiafacil.com.br/solopaisagem.php>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.

CARVALHO, L.C.; KAZAMA, E.H. (2011) **Efeito da salinidade de cloreto de potássio (KCL) na germinação de sementes e crescimento de plântulas de pepino (Cucumis sativus L.)**. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer*, v.7, p. 429-435.
CIBRA. **Fontes de potássio (K) para hortaliça**. *Artigos Técnicos* | 21 de agosto de 2023. Disponível em: <https://www.cibra.com/noticias-agricolas/artigos-tecnicos/fontes-de-potassio-k-para-hortalicas/>. Acesso em: 31 de outubro de 2023.

CIRCULAR TÉCNICO 29. **Manejo da Cultura do Milheto**. ISSN 1518-4269, *CircTéc* 29. p65, 2003. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/487545/1/Circ29.pdf>. Acesso em: 12 de novembro de 2023.

COELHO, A. M.; PEREIRA FILHO, I. A. **A importância do milheto na disponibilização de potássio**. *Campo & Negócios*, Uberlândia, v. 110, pág. 40-42, abr. 2012. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/925821?locale=en> >. Acesso em: 20 de abril de 2024.

CONTINI, E.; ARAGÃO, A. **O Agro Brasileiro alimenta 800 milhões de pessoas**. 9p. 2021. Disponível em: <https://agroemdia.com.br/wp-content/uploads/2021/03/Populacao-alimentada-pelo-Brasil.pdf>. Acessado em: 15 de outubro de 2023.

COSTA, M.B.B.; CAMPANHOCA. C. **A agricultura alternativa no Estado de São Paulo**. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1997. 63p. (Embrapa-CNPMA. Documentos, 7). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/14397/1/Campanhola-Agricultura-alternativa.pdf>. Acesso 07 de abril de 2024.

D'OLIVEIRA, P. S.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E. **Uso de pó de rocha em plantas forrageiras**. Comunicado técnico 96, ISSN1678-3131, 16p, Juiz de Fora, MG Outubro, 2023. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1157266/1/Usodepo-de-rocha-em-plantas-forrageiras.pdf> . Acesso em: 20 de abril de 2024.

F. A. de Oliveira et al. **Efeito residual da adubação com rochas brasileiras como fontes de potássio para a cultura da soja**. Espaço & Geografia, Vol.9, No 2 (2006), 247:262 ISSN: 1516-9375. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/96053/1/Efeito-residual-da-adubacao-com-rochas-brasileiras-como-fontes-de-potassio-para-a-cultura-da-soja.pdf>. Acesso em: 07 de abril de 2024.

FABIAN, A. J. **Plantas de cobertura: efeito nos atributos do solo e na produtividade de milho e soja em rotação**. 99p, 2009. Disponível em: <https://www.fcav.unesp.br/Home/download/pgtrabs/pv/d/2877.pdf> . Acesso em: 12 de novembro de 2023.

FERREIRA, M.M.M. **Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010**. Revista Agro@mbiente On-line, v. 6, n. 1, p. 74-83,2012. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/71091/1/569-2540-1-PB.pdf>. Acessado em: 15 de outubro de 2023.

FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. **Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto**. R. Bras. Ci. Solo, 32:1549-1561,2008. Disponível em: [https://www.scielo.br/j/rbcs/a/nLT37hR4qLbLqTV6Dz5jZDm/?format=pdf#:~:text=\(2005\)%2C%20resultados%20experimentais%20e,a%20v%C3%A1rias%20outras%20culturas%20agr%C3%ADcolas](https://www.scielo.br/j/rbcs/a/nLT37hR4qLbLqTV6Dz5jZDm/?format=pdf#:~:text=(2005)%2C%20resultados%20experimentais%20e,a%20v%C3%A1rias%20outras%20culturas%20agr%C3%ADcolas). Acesso em: 12 de novembro de 2023.

GAION, L. A.; MENEZES, D. C. D. H.; REIS, A. D. P. et al., **Crescimento, severidade de oídio e produtividade do feijão-vagem em resposta a diferentes fontes de potássio**. Rev. Ciênc. Agrovet., Lages, SC, Brasil (ISSN 2238-1171), 9p, 2022. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/download/22737/15328> . Acesso em: 20 de abril de 2024.

GARCIA, R. A.; MERLIN, A.; TOLEDO, M. Z; FERNANDES, D. M. et al. **Desenvolvimento da aveia branca e disponibilidade de fósforo em razão da aplicação de silicato de potássio**. Rev. Ceres, Viçosa, v. 58, n.6, p. 831-837, nov/dez, 2011. Disponível: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/97JRLr69QWmdqCKPb5XsNJL/?format=pdf&lang=pt> . Acesso em: 19 de abril de 2024.

GLOBALFERT. **Principais empresas produtoras de fertilizantes no mundo em 2022 – GlobalFert**. 19 de outubro de 2022. Disponível em: <https://globalfert.com.br/boletins/principais-empresas-produtoras-de-fertilizantes-no-mundo-em-2022-globalfert/>. Acesso em: 29 de outubro de 2023.

HOYO, D. C. D. **Crescimento e Produtividade do Feijão-Vagem em Resposta a Diferentes Fontes de Potássio**. 295p, v.03, 2023. Disponível em: <https://oficial.unimar.br/wp-content/uploads/2023/10/LIVRO-SEMIC-2023-OFICIAL.pdf.pdf#page=211>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.

IBRAM-MINERAÇÃO DO BRASIL. **Setor Mineral -1S22**. 42p. 1S22 2T22. Disponível em: <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2022/07/Apresentacao-Coletiva-de-Imprensa-resultados-2T22.pdf>. Acesso em: 29 de outubro de 2023.

LAPIDO- LOUREIRO, F. E.; NASCIMENTO, M.; NEUMANN, R.; RIZZO, A. C. **Tecnologias de aplicação de glauconita como fonte de potássio na agricultura: o caso brasileiro e a experiência indiana**. p. 6, 2009. Disponível em: <https://www.cetem.gov.br/antigo/images/congressos/2009/CAC01560009.pdf>. Acesso em: 19 de abril de 2024.

LEITE, P. C. **Efeito de tratamentos térmicos em misturas de verdete de abaeté, fosfato de araxá e calcário magnesiano, na disponibilidade de potássio e fósforo**. ESAL, p. 146, 1985. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/35808>. Acesso em: 19 de abril de 2024.

LOPES, G. P.; SCHMID, L. P. et al. **Efeito da adubação potássica na produção de massa seca de plantas de milheto**. xxxv congresso brasileiro de ciência do solo, 1001, p. 4, 02 a 07 de agosto de agosto de 2015. Disponível em: <https://www.eventosolos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/1001.pdf>. Acesso em: 18 de abril de 2024.

LUZ, A. B.(Ed.); LINS, F. A. F.(Ed). **Rochas & minerais Industriais: usos e especificações**. 2.Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 990p. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/522>. Acesso em: 20 de abril de 2024.

MARCHIOTI, R. **Fatores que afetam a absorção de potássio pelas plantas**. 02 JAN, 2023. Disponível em: [https://camda.com.br/Comunicacao/Noticias/noticia.php?Fatores-que-afetam-a-absor%C3%A7%C3%A3o-de-pot%C3%A1ssio-pelas-plantas¬icia=bn90aWNpYT04NQ==#:~:text=O%20pot%C3%A1ssio%20\(K\)%20%C3%A9%20um%20nutriente%20bastante,para%20atender%20as%20exig%C3%Aancias%20nutricionais%20da%20cultura](https://camda.com.br/Comunicacao/Noticias/noticia.php?Fatores-que-afetam-a-absor%C3%A7%C3%A3o-de-pot%C3%A1ssio-pelas-plantas¬icia=bn90aWNpYT04NQ==#:~:text=O%20pot%C3%A1ssio%20(K)%20%C3%A9%20um%20nutriente%20bastante,para%20atender%20as%20exig%C3%Aancias%20nutricionais%20da%20cultura). Acesso em: 02 de abril de 2024.

MARRIEL, I. E. et al. **Aumento do acúmulo de potássio em plantas de milheto adubadas com pó de rocha e inoculadas com isolados fungos sob condições controladas**. p.4, 2008. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/491283/1/Aumentoacumulo.pdf>. Acesso em: 12 de novembro de 2023.

MARTINS, E. S.; THEODORO, S. H. **Congresso Brasileiro de Rochagem**. (1. : 2010 : Brasília, DF) Anais... / I Congresso Brasileiro de Rochagem; editores Eder de Souza Martins, Suzi Huff Theodoro Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2010. 322 p. ; 30 cm. Data do Evento: 21 a 24 de setembro de 2009. Disponível em: https://www.cpac.embrapa.br/publico/usuarios/uploads/fotos_juliana/Anais%20I%20Congresso%20Brasileiro%20de%20Rochagem.PDF Acesso em: 19 de abril de 2024.

MEDEIROS JUNIOR, Fernando Julião de. **Trocas gasosas e crescimento do abacaxizeiro ‘pérola’ adubado com nitrogênio e potássio.** 2016. 36p. Dissertation (Master of Tropical Horticulture) - Federal University of Campina Grande, Pombal- PB. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/736?locale-attribute=fr> . Acessado em: 15 de outubro de 2023.

NASCIMENTO, M. ; LOIREIRO, F. E. L.; (2004) **Série de estudos e documentos ISSN 0103-6319. Fertilizantes e Sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas.**Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/579/1/sed-61.pdf> . Acesso em: 29 de outubro de 2023.

NETO, F. F. M. **Compartimentos Topomorfológicos e Morfodinâmica da Bacia do Córrego das Lajes – Uberaba – Triângulo Mineiro.** 45p. 2018. Disponível em: <http://bdtd.uftm.edu.br/bitstream/tede/690/5/Dissert%20Francisco%20F%20M%20Neto%20capitulo%201%20a%203.pdf> . Acesso em: 06 de novembro de 2023.

NICCHIO, B.; KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; SANTOS, G. A.; VIEIRA, M. A.M. **Efeito da aplicação de si e k no desenvolvimento, produção e qualidade de soqueira de cana-de- açúcar.** Rev Agro Amb, v. 14, n. 2, p. 325-338, 2021 - e-ISSN 2176-9168.Disponível em:<https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/8021/6576> .Acesso em: 19 de novembro de 2023.

OLIVEIRA, F. A.; LIMA, E. V.; SANTOS, C. M. **Exploring Alternative Sources of Potassium in Agriculture: Implications for Sustainable Crop Production.** Sustainable Agriculture Research, 6(3), 2017.

OLIVEIRA, R. L. L. **Aplicação de silício na fisiologia, na produção e na mitigação de estresse causado pela deficiência de manganês em plantas de sorgo granífero.** p. 56, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/e217eace-41a4-4c88-92e0-d21dc7062d97/content> .Acesso em: 19 de novembro de 2023.

PEREIRA, A. C. et al. **Glauconita como fonte alternativa de potássio para produção de fertilizante de liberação lenta.** Geonomos - v.27, n.1, 2019. Disponível em: ([pdf](#)) [glauconita como fonte alternativa de potássio para produção de fertilizante de liberação lenta \(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net/publication/351111111) . Acesso em: 08 de novembro de 2023.

PEREIRA, A. C. et al. **Glauconita como fonte alternativa de potássio para produção de fertilizante de liberação lenta.** Geonomos, 27(1), p. 32-37, 2019.Disponível em:https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fperiodicos.ufmg.br%2Findex.php%2Frevistageonomos%2Farticle%2Fview%2F21851%2F17686&psig=AOvVaw1gIMzJH_jo4C2A_QSEh89k&ust=1714482565280000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CAcQrpoMahcKEwiAn7-zv-eFAxUAAAAAHQAAAAAQBA.Acesso em: 12 de novembro de 2023.

PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; ZUFFO, A. M. et al., **Doses e época de aplicação de potássio no desempenho agrônômico do milho no cerrado piauiense.** Com. Sci., Bom Jesus, v.7, n.3, p.372-382, Ago./Out. 2016.Disponível em:<https://comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/download/1218/418> .Acesso em: 20 de abril de 2024.

POLIDORO, J. C.; TEIXEIRA, P. C. **Adubação potássica em solos arenosos.** p. 45-46, 2013. Disponível em: <https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/ipi-2013-k-symposium-la-presentation-summaries-and-expanded-abstracts-tw.pdf#page=44> .Acesso em: 12 de novembro de 2023.

REIS, D. N.; NETO, A. E. F.; RESENDE, A. V.; et al. **Agrominerais como fontes de fósforo e potássio para a cultura do milho.** xxxiii congresso brasileiro de ciência do solo, Resumo Expandido, p. 4, 2011. Disponível em: [Microsoft Word - Resumo CBCS 2011 - Dani \(embrapa.br\)](#) Acesso em: 07 de abril de 2024.

RESENDE, A. V.; MACHADO, C. T. T.; MARTINS, E. S.; NASCIMENTO, M. T.; SENA, M. C.; SILVA, L. C. R.; LINHARES, N. W. **Rochas moídas como fontes de potássio para o milho em solo de cerrado.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. 20 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 162). Disponível: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/567446/rochas-moidas-como-fontes-de-potassio-para-o-milho-em-solo-de-cerrado>. Acesso em: 20 de abril de 2024.

RODRIGUES, T. S. **Silicato de Potássio em Substituição ao Cloreto de Potássio no Cultivo do Algodoeiro.** 45p. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/4567> . Acesso em: 31 de outubro de 2023.

RODRIGUES, T. S. **Silicato de potássio em substituição ao cloreto de potássio no cultivo do algodoeiro.** p. 45, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/bitstream/123456789/4567/1/Disserta%20a%20Tiago%20da%20Silva%20Rodrigues.pdf>. Acesso em: 12 de novembro de 2023.

ROSOLEM, C. A. et al. **Potássio lixiviado da palha de aveia-preta e milho após a dessecação química.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.42, n.8, p.1169-1175, ago. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/y79XqvMxyTKRqXHsHWwjxnb/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 de novembro de 2023.

ROSOLEM, C. A.; SANTOS, F. P.; FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C. **Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.41, n.6, p.1033-1040, jun. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/bH4TSBF6KskrLBkmNKfpqxQ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em : 20 de abril de 2024.

SALES, C. G. R.; SANTOS, A. M. M.; DUART, I. N.; ROSSINO, A. B.; MARTINS, K. R.; PEREIRA, H. S.; **Efeito Residual do Subproduto da Produção do KCl como Fonte de Potássio.** 4p. 2013. Disponível em: <https://www.sbcs.org.br/cbcs2013/anais/arquivos/2124.pdf>. Acesso em: 31 de outubro de 2023.

SANTIMARIA, J. P. M. **Impacto da guerra Rússia/Ucrânia sobre o mercado de fertilizantes brasileiro.** 32p, 2023. Disponível em: https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/18721/TFG%20Jo%C3%A3o%20Pedro%20Matias%20Santimaria_final.pdf?sequence=1. Acesso em: 06 de novembro de 2023.

SÁVIO, F. L.; SILVA, G. C.; TEIXEIRA, I. R.; BORÉM, A. **Produção de biomassa e conteúdo de silício em gramíneas forrageiras sob diferentes fontes de silicato.** Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 32, n. 1, p. 103-110, jan./mar. 2011. Disponível em: < <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/3946> > Acesso em: 19 de novembro de 2023.

SEGUY & BOUZINAC. **Plantio Direto no Cerrado Úmido.** Informe Agropecuario, Belo Horizonte, v.22, n.208, p.25-36, jan/fev. 2001. Disponível em: https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fainfo.cnptia.embrapa.br%2Fdigital%2Fbitstream%2Fitem%2F50687%2F1%2FPlantas-cobertura.pdf&psig=AOvVaw32HeW4ShzhXWVvdv0A48ox&ust=1714453056987000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CAcQrpoMahcKEwjws_GR0uaFAxUAAAAHQAAAAAQBA. Acesso em: 08 de novembro de 2023.

SISTEMA DE PRODUÇÃO EMBRAPA. **Cultivo do milho.** n. 5, p. 116, 2022. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/993985/1/Sistema-de-Producao-Cultivo-do-Milho.pdf>. Acesso em: 12 de novembro de 2023.

SORATTO, R. R.; CRUSCIOL, C. A. C. *et al.* **Silicate rocks as an alternative potassium fertilizer for upland rice and common bean crops.** v.56, e01411, 2021. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1135684/1/5970.pdf> Acessado em: 15 de outubro de 2023.

SOUZA, J. V.; RODRIGUES, C. R.; LUZ, J. M. Q. **Silicato de potássio via foliar no milho: fotossíntese, Crescimento e produtividade.** Biosci. J., Uberlândia, v. 26, n. 4, p. 502-513, July/Aug. 2010. Disponível em: https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:lqRutyVnOVsJ:scholar.google.com/+silicato+de+potassio&hl=pt-BR&as_sdt=0,5. Acesso em: 19 de novembro de 2023.

SQM, VITAS. **Fontes de Potássio.** 2023. Disponível em: <https://sqm-vitas.com.br/nutricao/fontes-de-potassio/>. Acesso em: 31 de outubro de 2023.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia vegetal.** (6nd ed.) n. 6, 858p. 2017. Porto Alegre, RS: Artmed.

TEIXEIRA, A. M. S.; SAMPAIO, J. A.; GARRIDO, F. M. S.; MEDEIROS, E M. E. **Avaliação da rocha fonolito como fertilizante alternativo de potássio.** HOLOS, Ano 28, Vol 5, 13p, 2012. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1102/593>. Acesso em: 08 de novembro de 2023.

TEIXEIRA, A. M., GARIDO, F. M. S. **Estudo da disponibilidade de potássio na rocha fonolito.** VII Encontro Técnico de Materiais e Química, Rio de Janeiro-24 a 26 de outubro de 2012. Disponível em: https://www.academia.edu/20905125/ESTUDO_DA_DISPONIBILIDADE_DE_POT%C3%81SSIO_NA_ROCHA_FONOLITO. Acesso em: 19 de abril de 2024.

TEIXEIRA, C. M. et al. **Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milho e milho + crotalária no plantio direto do feijoeiro.** Maringá, v. 31, n. 4, p. 647-653, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/XNjPp6rtWYCS9Qg6CWnPDqQ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 de novembro de 2023.

TONINI, M. M.; MOREIRA, P. A.; JANUÁRIO, T. M. *et al.* **Efeitos de Diferentes Fontes de Potássio no crescimento da soja.** 295p, 2023. Disponível em: <https://oficial.unimar.br/wp-content/uploads/2023/10/LIVRO-SEMIC-2023-OFICIAL.pdf.pdf#page=211>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.

TRIGOLO, A. L. M.; QUAREZEMIN, M. A. K.; GERMANO, M. G.; CASTRO, C.; OLIVEIRA JUNIOR, A. **Contribuição do potássio não trocável para a produtividade de soja e milho safrinha.** X Jornada Acadêmica da Embrapa Soja, Resumos expandidos p. 35-43, 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/128810/1/JA.p.35-43.pdf>. Acesso em: 19 de novembro de 2023.

VACCARO, S.; BRUN, E. J.; SCHUMACHER, M. V.; et al. (2004). **Comparação Entre Três Diferentes Métodos de Análise de Tecido Vegetal.** Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/92722/1/pag-15-28.pdf>. Acesso em: 31 de outubro de 2023.

VALARELLI, J.V., NOVAIS, R.F., VAZ DE MELO, M.T. et.al. **“Ardósias verdetes de cedro do abaeté na produção de termofosfato potássico fundido e sua eficiência agrônômica”** Revista Matéria, v. 17, n. 3, pp. 1062 – 1074, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/262656860_Verdete_de_Cedro_do_Abaete_como_fonte_de_potassio_caracterizacao_tratamento_termico_e_reacao_com_CaO_Verdete_from_cedro_do_abaete_as_a_source_of_potassium_Characterization_thermal_treatment_and_reacti. Acesso em: 19 de abril de 2024.

VAZ, M. R. **Uso de fontes alternativas de potássio no cultivo de milho.** 39p. 2011. Disponível em : https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/40715/1/2011_2_32.pdf. Acesso 07 de abril de 2024.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. **Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo.** v. 32, n. 6, p. 9, 2008. Disponível em: https://www.rbcjournal.org/wp-content/uploads/articles_xml/0100-0683-rbcs-S0100-06832008000600009/0100-0683-rbcs-S0100-06832008000600009.x11266.pdf. Acesso em: 12 de novembro de 2023.