

## Crescimento, severidade de oídio e produtividade do feijão-vagem em resposta a diferentes fontes de potássio

*Growth, powdery mildew severity and yield of green beans in response to potassium sources*

Lucas Aparecido Gaion\* (ORCID 0000-0003-4246-1975), Davi Cristian Del Hoyo Menezes (ORCID 0000-0001-7230-6832), Aline Dell Passo Reis (ORCID 0000-0002-8415-8029), Mariana Mota Tonini (ORCID 0000-0003-4066-1500), Nilton Carlos Gonçalves Nascimento (ORCID 0000-0002-5158-4494), Cláudia Sampaio Fonseca Repetti (ORCID 0000-0002-9441-4647)

Universidade de Marília, Marília, SP, Brasil. \*Autor para correspondência: lucas.gaion@yahoo.com.br

Submissão: 11/09/2022 | Aceite: 21/10/2022

### RESUMO

O Brasil tem enfrentado sérios problemas com o abastecimento de fertilizantes potássicos nos últimos anos. Isso tem causado a elevação dos preços e até mesmo escassez do principal fertilizante potássico utilizado pelos produtores, o cloreto de potássio. Por isso, o objetivo do presente trabalho foi avaliar um silicato de potássio nacional (K6) como fonte alternativa ao uso do cloreto de potássio para a cultura do feijão-vagem. Para tanto, sementes de feijão-vagem cv. Macarrão Rasteiro foram semeadas a campo em espaçamento de 0,50 x 0,20 m. Empregou-se o delineamento em blocos ao acaso com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram constituídos da seguinte maneira: (i) testemunha – sem adubação potássica; (ii) cloreto de potássio; (iii) silicato de potássio – K6; (iv) 50% cloreto de potássio + 50% K6. Os fertilizantes foram aplicados no momento da semeadura e as doses determinadas com base na análise de solo e nas recomendações para a cultura. Foi realizada avaliação de altura de plantas, massa fresca e seca da parte aérea, massa fresca e seca de vagens, estimativa de produtividade e ocorrência de oídio, através de notas de severidade. Verificou-se que não houve influência da adubação potássica sobre o crescimento das plantas. De maneira geral, a produtividade de vagens apresentou baixa influência da adubação. Entretanto, a produtividade total de vagens foi maior em plantas adubadas com K6 em comparação a plantas adubadas com cloreto de potássio. A aplicação de K6 também contribuiu para a redução da severidade de oídio. Dessa forma, nós concluímos que o K6 é uma fonte de potássio viável em substituição ao cloreto de potássio para o feijão-vagem.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Phaseolus vulgaris* L.; cloreto de potássio; silicato de potássio, rochagem, nutrição de plantas.

### ABSTRACT

Brazil has faced serious problems with the supply of potassium fertilizers in recent years. This has caused prices to rise and even shortages of the main potassium fertilizer used by producers, potassium chloride. Therefore, the objective of the present work was to evaluate a national potassium silicate (K6) as an alternative source to the use of potassium chloride for the green beans crop. For this purpose, green beans seeds cv. Macarrão Rasteiro were sown in the field at a spacing of 0.50 x 0.20 m. A randomized block design with four treatments and five replications was used. The treatments were constituted as follows: (i) control – without potassium fertilization; (ii) potassium chloride; (iii) potassium silicate - K6; (iv) 50% potassium chloride + 50% K6. Fertilizers were applied at the time of sowing and doses were determined based on soil analysis and recommendations for the crop. Plant height, shoot fresh and dry mass, pod fresh and dry mass, yield estimation and occurrence of powdery mildew were evaluated through severity scores. It was found that in terms of plant growth, there was no influence of potassium fertilization on plant growth. In addition, pod productivity showed a reduction throughout the evaluation period and little influence of fertilization. However, total pod productivity was higher in plants that received K6 compared to plants fertilized with potassium chloride. The application of K6 also contributed to the reduction of powdery mildew severity. Thus, we conclude that K6 is a viable source of potassium in substitution of potassium chloride for the green beans.

**KEYWORDS:** *Phaseolus vulgaris* L.; potassium chloride; potassium silicate; stonemeal; plant nutrition.

## INTRODUÇÃO

O feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) é considerada uma hortaliça pertencente à família Fabaceae. Suas vagens são consumidas ainda imaturas por serem tenras e com baixo teor de fibras, devido a uma série de mutações no feijão comum (LANA & TAVARES 2010, FILGUEIRA 2013). O maior produtor mundial de feijão-vagem é a China (NASCIMENTO 2016). No Brasil, 97,4% da produção de feijão-vagem ocorre no estado de Minas Gerais (PINTO et al. 2019).

Para que seja possível alcançar elevadas produtividades é necessário realizar um correto manejo nutricional da cultura (CALANCA 2017). Dentre os nutrientes, o potássio (K) é um dos principais nutrientes extraído pela cultura do feijão-vagem, sendo o segundo nutriente mais absorvido pelas plantas em geral (VILELA et al. 2004, OLIVEIRA et al. 2007, OLTMANS & MALLARINO 2015, WOLI et al. 2018). O K é essencial na ativação de enzimas que atuam nos processos de fotossíntese e respiração, bem como regulador osmótico necessário a manutenção do status hídrico da planta e regulação da abertura e fechamento estomático (RAWAT et al. 2016, MOSTOFA et al. 2022). Além disso, plantas adequadamente nutridas com K tendem a ser menos suscetíveis a doenças (DAVIS et al. 2018, PANHWAR et al. 2022). Por exemplo, em plantas de videira a severidade de oídio foi inversamente proporcional ao teor de K no pecíolo das folhas (PUSHPAVATHI et al. 2020).

De maneira geral, nos solos tropicais, os teores de K normalmente encontrados são considerados baixos ( $< 1,5 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ ), principalmente em função da sua alta mobilidade nos solos e suscetibilidade à lixiviação (BENITES et al. 2010). Sua deficiência pode levar a redução na dominância apical e no crescimento das plantas, além de retardar a frutificação e originar frutos menores e com menos cor, resultando em drástica redução da produtividade (ERNANI et al. 2007). Dessa forma, a baixa disponibilidade de K nos solos brasileiros leva à necessidade de utilização de fertilizantes potássicos para complementação (BENITES et al. 2010).

Especificamente para o feijoeiro, este nutriente é responsável pelo crescimento, enchimento das vagens, além de auxiliar na resistência a doenças fúngicas, como o oídio (*Erysiphe polygone*), que pode tomar toda a superfície foliar e prejudicar a fotossíntese e, conseqüentemente, a produtividade da cultura (BADAWY et al. 2019, AHAMMED & YANG 2021).

No solo, este nutriente encontra-se disponível na solução do solo e nas formas trocável, não trocável e estrutural (SOUMARE et al. 2022). Sendo as formas presentes na solução do solo e trocável responsáveis por suprir em grande parte a demanda das culturas (OTTO et al. 2010). Devido à alta solubilidade em água e baixa força de adsorção aos colóides do solo (DUIKER & BEEGLE 2006), o parcelamento de doses de K acima de  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  é frequentemente recomendado (FOLONI & ROSOLEM 2008), sobretudo em solos arenosos. Essa prática tem como finalidade aumentar a eficiência no uso do nutriente, reduzir as perdas de K por lixiviação e minimizar o efeito salino do fertilizante sobre as sementes na linha de semeadura (MOTERLE et al. 2006, BERNARDI et al. 2009).

Dentre os adubos potássicos, o cloreto de potássio (KCl) é o mais utilizado, principalmente porque é a fonte de menor custo para o produtor (RAIJ 1991, RODRIGUES et al. 2014, CNA 2022). Apesar de muito utilizado, o KCl pode prejudicar o desenvolvimento inicial da cultura pela sua alta concentração de cloro, que aumenta a quantidade de sais no solo (PITMAN & LÄUCHLI 2002, GEILFUS 2019). A alta concentração de sais dificulta a absorção de água pelas sementes e pelas radículas, devido à redução do potencial osmótico externo às células (MARSCHNER 1997).

Não obstante, além dos prejuízos na germinação, o excesso de sais pode prejudicar a microbiota do solo que é essencial em sistema mais sustentáveis (SILVA et al. 2001, SOURI 2010). A redução de estande e a limitação ao desenvolvimento inicial das plântulas advindas da salinização do solo pelo do KCl podem ser prejudiciais ao feijoeiro (MAIKI & SINGH 2016). De fato, o feijoeiro apresenta baixa capacidade de compensação de espaços e alta dependência da população de plantas para a obtenção de elevados rendimentos (MONDO & NASCENTE 2018).

Por isso, novas fontes de potássio têm sido utilizadas, merecendo destaque os silicatos de potássio. Fontes silicatadas de potássio apresentam algumas vantagens frente ao KCl, como ausência de cloro, menor índice salino e liberação mais lenta de potássio (YADAV & SIDHU 2016). Outra importante característica dessas fontes é a elevada concentração de silício, o que pode ajudar a minimizar a ocorrência de estresses abióticos e bióticos, como algumas doenças (ZARGAR et al. 2019). Essas características podem fazer desta uma interessante fonte de K em substituição ao tradicional KCl.

De fato, no contexto global atual, é essencial a busca por fontes alternativas nacionais de potássio, sob forma de aplicação direta do pó de rocha (rochagem), ou através de produtos industriais (RESENDE et al. 2006 a,b). Assim sendo, tais rochas moídas podem ser empregadas como fontes de liberação gradual de

nutrientes, o que é uma característica desejável quando se considera o efeito de longo prazo e o menor risco de perdas, em comparação aos adubos de alta solubilidade (MARTINS et al. 2010, SOUMARE et al. 2022).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo testar duas fontes de potássio e analisar seus efeitos sobre o crescimento, incidência de oídio e produção de feijão-vagem.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em campo na Fazenda Experimental “Marcello Mesquita Serva” na Universidade de Marília, SP, localizada na latitude 22°14'54.72"S e longitude 49°58'35.65"O, a uma altitude de 639 metros, onde o clima é caracterizado como Cfa (Clima subtropical úmido) segundo a classificação de Köppen.

Foram utilizadas sementes de feijão-vagem cv. Macarrão Rasteiro, que apresenta crescimento determinado, início da produção com cerca de 50 dias após a semeadura, ciclo de 60-65 dias, vagens tenras com aproximadamente 15 cm de comprimento (OLIVEIRA 2015). Empregou-se o espaçamento de 0,50 m entre linhas e 0,20 m entre plantas, depositando duas sementes por cova que após a emergência foi deixada apenas uma planta por cova através do desbaste da planta menos vigorosa, seguindo recomendações para o cultivar. A semeadura foi realizada no dia 14 de outubro de 2021. A unidade experimental foi composta por uma área de 2 x 5 m, utilizando como área útil os 3 metros centrais de cada parcela, como recomendado por SANTOS et al. (2012).

Foi empregado o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC) com quatro tratamentos e cinco repetições (Anexo A). Os tratamentos adotados foram: cloreto de potássio (KCl), silicato de potássio (K6), 50% de KCl + 50% K6 e testemunha (sem adubação potássica) (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização dos fertilizantes utilizados no experimento. Marília, SP, 2021/2022.

Table 1. Characterization of the fertilizers used in the experiment. Marília, SP, 2021/2022.

Teores	Cloreto de potássio (KCl)*		Silicato de potássio (K6)*
	%		
K <sub>2</sub> O	60		6,07
Cl	40		-
SiO <sub>2</sub>	-		65,7
MgO	-		1,12
CaO	-		2,62

\*Produto aprovado no MAPA.

Previamente a implantação do experimento, foi realizada calagem de acordo com a análise de solo e recomendações do Boletim 100 (RAIJ et al. 1997). A dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O foi baseada na análise de solo (Tabela 2) e as recomendações para a cultura do feijão-vagem de acordo com o Boletim 100 (RAIJ et al. 1997), sendo aplicado 50 kg/ha no plantio e o restante em cobertura aos 30 dias após a semeadura, utilizando a fonte designada para cada tratamento. O fósforo (420 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) na forma de superfosfato simples foi aplicado no momento da semeadura e o nitrogênio (120 kg ha<sup>-1</sup>) foi aplicado em cobertura aos 30 e 45 dias após a semeadura na forma de nitrato de cálcio.

Tabela 2. Análise do solo empregado no experimento. Marília, SP, 2021/2022.

Table 2. Analysis of the soil used in the experiment. Marília, SP, 2021/2022.

pH	P	K <sup>+</sup>	S	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	M.O.
CaCl <sub>2</sub>	-----mg dm <sup>-3</sup> -----			-----mmolc dm <sup>-3</sup> -----					g/ dm <sup>-3</sup>
4,8	23	117,3	2	1,8	8	4	2	24	10

Foram realizadas três colheitas ao longo do período produtivo (*i.e.*, aos 50, 55 e 60 dias após a semeadura), quando foi realizada a contagem e pesagem das vagens produzidas. Posteriormente, as vagens foram secas em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 65 °C até atingirem massa constante e, então, pesadas em balança analítica para a obtenção da massa seca de vagens. O somatório das três colheitas foi feito para a obtenção da produção total ao final do ciclo da cultura.

Para realização do cálculo de produtividade foi utilizado a média de produção (oriunda da avaliação da massa seca e fresca de vagens) de cada tratamento, sendo a mesma multiplicada pela população de

plantas referente a cada espaçamento e o resultado convertido em kg ha<sup>-1</sup>.

No final do experimento, aos 60 dias após a semeadura, foi avaliada a severidade final de oídio causado pelo fungo *Erysiphe polygoni*, que ocorreu naturalmente nas plantas do experimento. Para tanto, a severidade da doença foi avaliada com uma escala de notas de 0 a 4, sendo 0 (sem sintomas), 1 (traços a 25% das folhas com sintomas), 2 (26 a 50% da superfície foliar com sintomas), 3 (51 a 75% da superfície foliar com sintomas) e 4 (acima de 75% da superfície foliar com sintomas) (Adaptado de GONÇALVES et al. 2009).

Ao final do experimento, foram realizadas as seguintes avaliações: altura de plantas, massa fresca e seca da parte aérea. Para a avaliação da altura das plantas, utilizou-se régua graduada. A massa fresca da parte aérea foi determinada com a utilização de balança analítica, após a coleta da planta. Após a pesagem da massa fresca, o material foi colocado em saco de papel e depositado em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 65 °C por 72 horas e, então, pesados em balança analítica.

Todos os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias comparadas pelo Teste de Tukey com diferença mínima significativa (DMS) a 5%, utilizando o programa AgroEstat. As médias de severidade do oídio foram transformados em  $\sqrt{x+1}$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto à altura das plantas, observa-se que plantas que não receberam adubação potássica apresentaram menor altura, contudo, sem diferir dos tratamentos com K6 como fonte total ou parcial de potássio (Figura 1a). Por outro lado, a aplicação de potássio na forma de KCl induziu maior altura das plantas, novamente, sem diferir dos tratamentos com K6 (Figura 1a).

Quanto a massa fresca e seca da parte aérea das plantas, não se verificou diferença entre os tratamentos (Figuras 1b e 1c). Esses resultados semelhantes de crescimento com as diferentes fontes de potássio estão possivelmente associados ao teor de potássio no solo (Tabela 2). De fato, o teor de 1,8 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> encontrado no solo empregado neste experimento é considerado adequado para a cultura do feijão-vagem (RAIJ et al. 1997, OLIVEIRA et al. 2007). Dessa forma, podemos explicar porque plantas que não receberam adubação potássica apresentaram desenvolvimento vegetativo semelhante às plantas adubadas (Figura 1). Além disso, plantas como o milho apresentam elevada correlação entre o K trocável no solo e o teor de K no tecido vegetal, enquanto outras plantas, como algumas leguminosas, conseguem utilizar o K não trocável do solo (CURTI et al. 2005).

Embora o feijão-vagem cv. Macarrão Rasteiro apresente hábito de crescimento determinado, foi possível realizar três colheitas ao longo do experimento. De maneira geral, nota-se que a produção declinou ao longo do período de avaliação (Figura 2). Além disso, quanto ao número de vagens produzidas, observa-se que não houve diferença entre os tratamentos em cada avaliação realizada (Figura 2a). Por outro lado, na primeira avaliação, a massa fresca de vagens foi maior em plantas testemunha, quando comparado às plantas que receberam KCl (Figura 2b). A massa fresca de vagens não diferiu nas outras avaliações. Nas primeira e segunda avaliações, a massa seca de vagens apresentou um padrão semelhante, onde plantas tratadas com K6 produziram maior quantidade de massa seca de vagens em comparação às plantas tratadas com KCl, enquanto plantas sem K e com K6 + KCl exibiram produções intermediárias (Figura 2c). Na terceira avaliação, plantas que receberam K6 apresentaram novamente a maior produção diferindo, contudo, apenas de plantas tratadas com K6 + KCl (Figura 2c).

Aqui, nós pudemos notar que a massa de vagens, especialmente na primeira avaliação, foi menor em plantas tratadas com KCl (Figura 2). De fato, não é incomum a observação de resultados negativos quando empregado o KCl como fonte de K. Por exemplo, PRAZERES et al. (2015) notaram que o uso de KCl em plantas de feijão-caupi cv. CE 790 não resultou em aumento de massa seca das plantas e, quando empregado maiores doses, houve redução do crescimento das plantas em função do aumento da salinidade. Similarmente, doses de KCl maiores que 25,5 kg/ha reduzem o crescimento caulinar de plantas de feijão de corda preto (SOUZA et al. 2013).

Ao final do experimento foi somada a produção (g/m<sup>2</sup>) de cada tratamento (Figura 3). Inicialmente, não se nota diferença para número de vagens e massa fresca de vagens totais em função dos diferentes tratamentos aplicados (Figura 3). Não entanto, a aplicação de K6 resultou em maior produção de massa seca de vagens, quando comparado ao tratamento com KCl (Figura 3). De fato, o uso de KCl levou ao menor acúmulo de massa seca de vagens de feijoeiro, embora não tenha se diferenciado dos tratamentos controle e 50% de KCl + 50% K6 (Figura 3c). Isso se dá possivelmente pelo efeito negativo exercido pelo cloro presente neste fertilizante que pode ser tóxico para as plantas bem como para a microbiologia do solo (SOUARE et al. 2022). Dessa forma, embora não tenha ocorrido prejuízo no número de vagens ou na

massa fresca das vagens, o acúmulo de carbono nas vagens foi menor em comparação ao tratamento com K6. Vale ressaltar que o potássio é um nutriente intrinsecamente relacionado à translocação de fotoassimilados e, assim, com o enchimento de frutos nas plantas (TRANKNER et al. 2018). Finalmente, quando estimada a produtividade (kg/ha) fica evidente que as plantas que receberam KCl apresentaram menor potencial produtivo em comparação aos demais tratamentos. Novamente, isso se deve provavelmente a existência de níveis considerados adequados de potássio no solo (Tabela 2) e o efeito de salinização da aplicação de KCl (MAIKI & SINGH 2016).

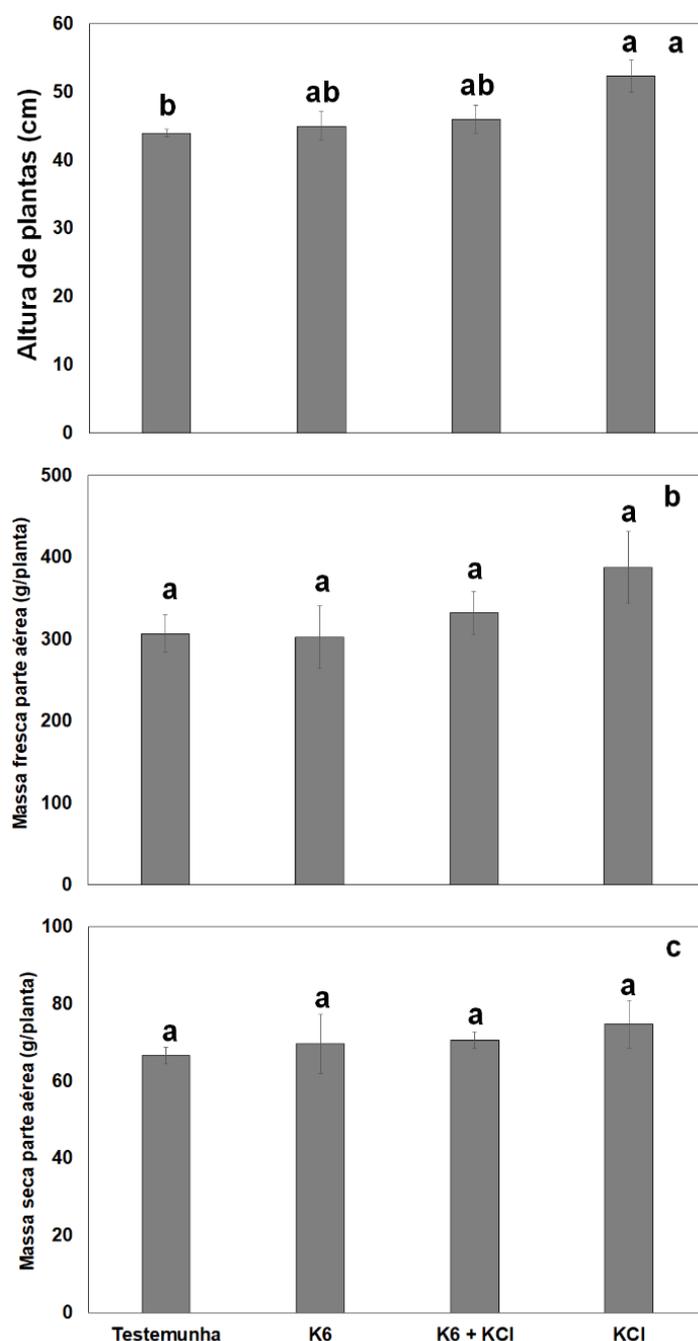


Figura 1. Crescimento de plantas de feijão-vagem cv. Macarrão Rasteiro cultivadas com diferentes fontes de potássio. a) altura de plantas; b) massa fresca da parte aérea; e c) massa seca da parte aérea. Os valores correspondem às médias de cada tratamento (n= 5) seguidas do erro padrão. As letras sobre as barras representam as diferenças entre os tratamentos, calculadas por meio do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Marília, SP, 2021/2022.

Figure 1. Growth of green bean plants cv. Macarrão Rasteiro cultivated with different sources of potassium. a) height of plants; b) shoot fresh mass; and c) shoot dry mass. The values correspond to the means of each treatment (n= 5) followed by the standard error. The letters on the bars represent the differences between treatments, calculated using the Tukey test at the 5% probability level. Marília, SP, 2021/2022.

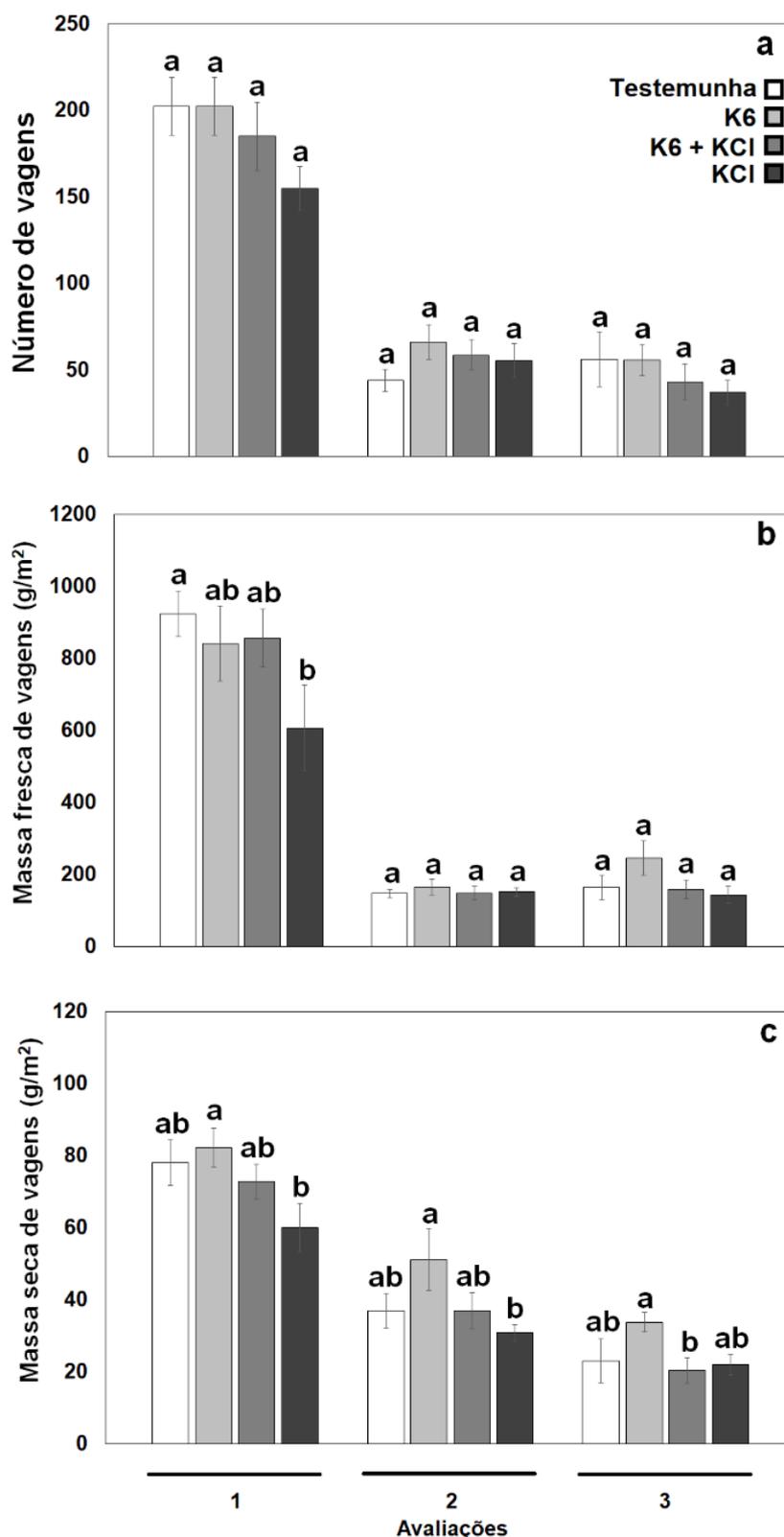


Figura 2. Produção de plantas de feijão-vagem cv. Macarrão Rasteiro cultivadas com diferentes fontes de potássio. a) número de vagens; b) massa fresca; e c) massa seca de vagens. Os valores correspondem às médias de cada tratamento (n= 5) seguidas do erro padrão. As letras sobre as barras representam as diferenças entre os tratamentos, calculadas por meio do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Marília, SP, 2021/2022.

Figure 2. Production of green bean plants cv. Macarrão Rasteiro cultivated with different sources of potassium. a) number of pods; b) fresh mass; and c) pod dry mass. The values correspond to the means of each treatment (n= 5) followed by the standard error. The letters on the bars represent the differences between treatments, calculated using the Tukey test at the 5% probability level. Marília, SP, 2021/2022.

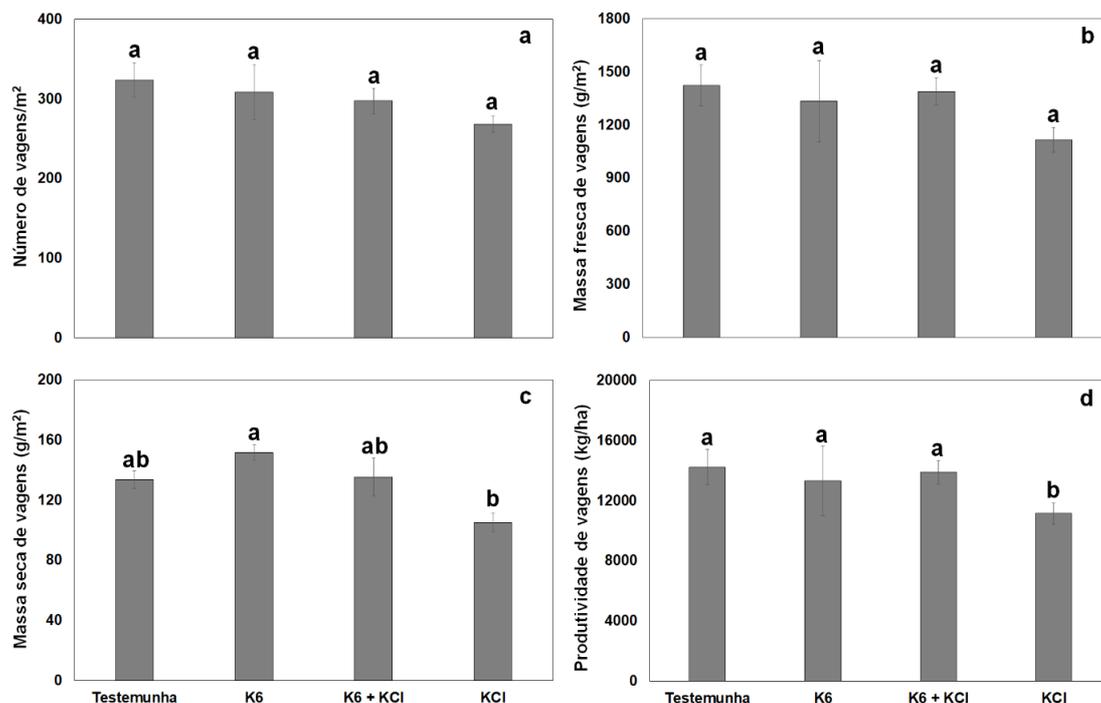


Figura 3. Produção total de plantas de feijão-vagem cv. Macarrão Rasteiro cultivadas com diferentes fontes de potássio. a) número total de vagens; b) massa fresca total; c) massa seca total de vagens; e estimativa da produtividade de vagens. Os valores correspondem às médias de cada tratamento (n= 5) seguidas do erro padrão. As letras sobre as barras representam as diferenças entre os tratamentos, calculadas por meio do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Marília, SP, 2021/2022.

Figure 3. Total production of green bean plants cv. Macarrão Rasteiro cultivated with different sources of potassium. a) total number of pods; b) total fresh mass; c) total dry mass of pods; and estimation of pod productivity. The values correspond to the means of each treatment (n= 5) followed by the standard error. The letters on the bars represent the differences between treatments, calculated using the Tukey test at the 5% probability level. Marília, SP, 2021/2022.

Além disso, vale ressaltar que a severidade de oídio, uma importante doença do feijoeiro, foi notadamente menor nos tratamentos com K6 e K6+KCl em comparação aos demais tratamentos (Figura 4).

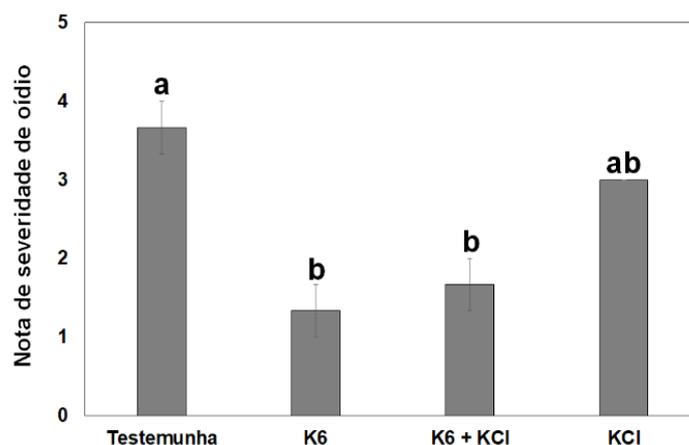


Figura 4. Notas de severidade de oídio em plantas de feijão-vagem cv. Macarrão Rasteiro submetidas a diferentes fontes de potássio. Os valores correspondem às médias de cada tratamento (n= 5) seguidas do erro padrão. As letras sobre as barras representam as diferenças entre os tratamentos, calculadas por meio do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Marília, SP, 2021/2022.

Figure 4. Severity notes of powdery mildew in green bean plants cv. Macarrão Rasteiro subjected to different sources of potassium. The values correspond to the means of each treatment (n= 5) followed by the standard error. The letters on the bars represent the differences between treatments, calculated using the Tukey test at the 5% probability level. Marília, SP, 2021/2022.

O K6 apresenta grande quantidade de silício em sua constituição, 65,7% (Tabela 1), que é um elemento benéfico, comumente associado à atenuação de estresses abióticos e bióticos (AHAMMED & YANG 2021). Com efeito, plantas nutridas com silício podem desenvolver barreiras físicas e bioquímica que contribui para aumento das defesas dos vegetais ao ataque de fungos fitopatogênicos (RODRIGUES et al. 2007, AHAMMED & YANG 2021, NAZ et al. 2021).

## CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, nós concluímos que o uso de potássio na forma de K6 se mostrou vantajosa, quando comparado ao KCl, tanto em aspectos produtivos (massa seca de vagens e produtividade) quanto para o manejo de oídio na cultura do feijão-vagem (menor severidade de oídio).

Nossos resultados demonstram que o K6 é uma fonte viável em substituição ao KCl como fonte de potássio para a cultura do feijão-vagem.

## REFERÊNCIAS

- AHAMMED GJ & YANG Y. 2021. Mechanisms of silicon-induced fungal disease resistance in plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 165: 200-206.
- BADAWY ASM et al. 2019. Effect of sowing dates and potassium fertilizer rates on seed yield of lima bean cv. (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Plant Production* 10: 45-52.
- BENITES VM et al. 2010. Potássio, cálcio e magnésio. In: PROCHNOW LI et al. (Eds.). Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes. Piracicaba: IPNI. p.137-191.
- BERNARDI ACC et al. 2009. Doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milho e algodão em sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 39: 158-167.
- CALANCA PP. 2017. Effects of abiotic stress in crop production. In: AHMED M & STOCKLE C (Ed.) Quantification of climate variability, adaptation and mitigation for agricultural sustainability. Washington: Springer. p.165-180.
- CNA. 2022. Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil Preço do fertilizante cloreto de potássio atinge maior patamar desde janeiro de 2008 e preocupa o produtor rural. Disponível em: <https://cnabrasil.org.br/publicacoes/preco-do-fertilizante-cloreto-de-potassio-atinge-maior-patamar-desde-janeiro-de-2008-e-preocupa-o-produtor-rural#:~:text=specificamente%20no%20per%C3%ADodo%20de%20fevereiro,ao%20mesmo%20per%C3%ADodo%20de%202021>. Acesso em: 1 ago. 2022.
- CURI N et al. 2005. Mineralogia e formas de potássio em solos brasileiros. In: YAMADA T & ROBERTS TL (eds.). Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: Potafos. p.71-91.
- DAVIS JL et al. 2018. Contrasting nutrient–disease relationships: Potassium gradients in barley leaves have opposite effects on two fungal pathogens with different sensitivities to jasmonic acid. *Plant, Cell & Environment* 41: 2357-2372.
- DUIKER SW & BEEGLE DB. 2006. Soil fertility distributions in long-term no-till, chisel/disk and moldboard plow/disk systems. *Soil Tillage Research* 88: 30-41.
- ERNANI PR et al. 2007. Potássio. In: NOVAIS RF et al. (Eds.). Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 551-594.
- GEILFUS CM. 2019. Chloride in soil: From nutrient to soil pollutant. *Environmental and Experimental Botany* 157: 299-309.
- GONÇALVES ECP et al. 2009. Avaliação da reação de genótipos de soja ao oídio em diferentes condições. *Summa Phytopathologica* 35: 151-153.
- FILGUEIRA FAR. 2013. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3.ed. Viçosa: UFV. 421 p.
- FOLONI JSS & ROSOLEM CA. 2008. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32: 1549-1561.
- LANA M & TAVARES A. 2010. 50 Hortaliças: como comprar, conservar e consumir. 2.ed. Brasília: Embrapa Hortaliças. p. 127-129.
- MAIKI RK & SINGH VP. 2016. Potassium sources, microorganisms, and plant nutrition—challenges and future research directions: A review. *Farming and Management* 1: 134-161.
- MARSCHNER H. 1997. Mineral nutrition of higher plants. San Diego: Academic Press. 889 p.
- MARTINS ES et al. 2010. Agrominerais: rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. Rochas e minerais industriais: usos e especificações. Rio de Janeiro: Cetem. p.205-221.
- MONDO VHV & NASCENTE AS. 2018. Produtividade do feijão-comum afetado por população de plantas. *Agrarian* 11: 89-94.
- MOSTOFA MG et al. 2022. Potassium in plant physiological adaptation to abiotic stresses. *Plant Physiology and Biochemistry* 186: 279-289.
- MOTERLE LM et al. 2006. Germinação de sementes e crescimento de plântulas de cultivares de milho-pipoca submetidas ao estresse hídrico e salino. *Revista Brasileira de Sementes* 28: 169-176.
- NASCIMENTO WM. 2016. Hortaliças Leguminosas. Brasília: Embrapa. 232 p.
- NAZ R et al. 2021. Exogenous silicon and hydrogen sulfide alleviates the simultaneously occurring drought stress and leaf rust infection in wheat. *Plant Physiology and Biochemistry* 166: 558-571.

- OLIVEIRA AP et al. 2007. Rendimento de feijão-vagem em função de doses de K<sub>2</sub>O. *Horticultura Brasileira* 25: 29-33.
- OLIVEIRA BS. 2015. Diversidade genética, produção e qualidade fisiológica de sementes de genótipos arbustivos de feijão-vagem. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Ipameri: UEG. 72p.
- OLTMANS RR & MALLARINO AP. 2015. Potassium uptake by corn and soybean, recycling to soil, and impact on soil test potassium. *Soil Science Society of America Journal* 79: 314-327.
- OTTO R et al. 2010. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 34: 1137-1145.
- PANHWAR BU et al. 2022. Considering leaf extract of miracle tree (*Moringa oleifera* L.) and potassium nutrition for contending cotton leaf curl virus (CLCuV) disease of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Journal of Applied Research in Plant Sciences* 3: 229-235.
- PINTO CMF et al. 2019. Feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.). In: PAULA JÚNIOR TJ & VENZON M. (Eds.). 101 Culturas: manual de tecnologias agrícolas. 2.ed. Belo Horizonte: EPAMIG. p. 371-374.
- PITMAN MG & LÄUCHLI A. 2002. Global impact of salinity and agricultural ecosystems. In: LÄUCHLI A & LÜTTGE U (Ed.) *Salinity: Environment - Plants - Molecules*. Dordrecht: Springer. p.3-20.
- PUSHPAVATHI Y et al. 2020. Potassium fertilization in relation to downy mildew disease incidence in grape leaves. *Vitis* 59: 71-76.
- PRAZERES SS et al. 2015. Crescimento e trocas gasosas de plantas de feijão-caupi sob irrigação salina e doses de potássio. *Revista Agro@ambiente* 9: 111-118.
- RAIJ B. 1991. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Potafos. 343 p.
- RAIJ B et al. 1997. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas: IAC. (Boletim Técnico 100).
- RAWAT J et al. 2016. Potassium and its role in sustainable agriculture. India: Springer.
- RESENDE AV et al. 2006a. Rochas moídas como fontes de potássio para o milho em solo de cerrado. Planaltina: Embrapa Cerrados. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 162).
- RESENDE AV et al. 2006b. Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas “in natura” na agricultura brasileira. *Espaço & Geografia* 9: 19-42.
- RODRIGUES CR et al. 2007. Aumento de qualidade e produção com aplicação de silício solúvel. *Revista Campo e Negócios* 2: 34-40.
- RODRIGUES MAC et al. 2014. Adubação com KCl revestido na cultura do milho no Cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental* 18: 127-133.
- SANTOS D et al. 2012. Tamanho ótimo de parcela para a cultura do feijão-vagem. *Revista Ciência Agronômica* 43: 119-128.
- SILVA MAG et al. 2001. Efeito do nitrogênio e potássio na nutrição do pimentão cultivado em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 25: 913-922.
- SOUMARE A et al. 2022. Potassium sources, microorganisms, and plant nutrition—challenges and future research directions: A review. *Pedosphere* 7: 15p.
- SOURI MK. 2010. Effectiveness of chloride compared to 3,4-dimethylpyrazole phosphate on nitrification inhibition in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 41: 1769-1778.
- SOUZA MDM et al. 2013. Efeito da adubação potássica no crescimento do feijão de corda preto. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* 7: 66-73.
- TRANKNER M et al. 2018. Functioning of potassium and magnesium in photosynthesis, photosynthate translocation and photoprotection. *Physiologia Plantarum* 163: 414-431.
- VILELA L et al. 2004. Adubação potássica. In.: SOUSA DMG & LOBATO E. (Eds.). *Cerrado: correção do solo e adubação*. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. p.169-183.
- WOLI K et al. 2018. Corn era hybrid macronutrient and dry matter accumulation in plant components. *Agronomy Journal* 110: 1648-1658.
- YADAV BK & SIDHU AS. 2016. Dynamics of potassium and their bioavailability for plant nutrition. In: MEENA V et al. (Eds.). *Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture*. New Delhi: Springer.
- ZARGAR SM et al. 2019. Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system. *Biotech* 9: 73.