Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 04/08/2027

At the author's request, the full text of this thesis will not be available online until
Aug. 04, 2027

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
UNESP | BOTUCATU

OLAVO PIMENTEL SILVA

DOSES E FONTES DE POTÁSSIO (CLORETO E SILICATO DE POTÁSSIO) APLICADOS VIA FERTIRRIGAÇÃO E VIA SOLO: EFEITOS FISIOLÓGICOS, NUTRICIONAIS E PRODUTIVOS NO FEIJÃO-COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.)

Botucatu

2026

OLAVO PIMENTEL SILVA

DOSES E FONTES DE POTÁSSIO (CLORETO E SILICATO DE POTÁSSIO) APLICADOS VIA FERTIRRIGAÇÃO E VIA SOLO: EFEITOS FISIOLÓGICOS, NUTRICIONAIS E PRODUTIVOS NO FEIJÃO-COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.)

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola pelo programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

Orientador: Hélio Grassi Filho

Botucatu

2026

S586d

Silva, Olavo Pimentel

Doses e fontes de potássio (cloreto e silicato de potássio) aplicados via fertirrigação e via solo : efeitos fisiológicos, nutricionais e produtivos no feijão-comum (Phaseolus vulgaris L.) / Olavo Pimentel Silva. -- Botucatu, 2026

89 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu

Orientador: Hélio Grassi Filho

1. Fracionamento da adubação. 2. Macronutrientes. 3. Manejo nutricional. 4. Fisiologia de plantas. 5. Eficiência de uso da água. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DOSES E FONTES DE POTÁSSIO (CLORETO E SILICATO DE POTÁSSIO) APLICADOS VIA FERTIRRIGAÇÃO E VIA SOLO: EFEITOS FISIOLÓGICOS, NUTRICIONAIS E PRODUTIVOS NO FEIJÃO-COMUM (Phaseolus vulgaris L.)

AUTOR: OLAVO PIMENTEL SILVA
ORIENTADOR: HÉLIO GRASSI FILHO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola, pela Comissão Examinadora:

gov.br Documento assinado digitalmente
HELIO GRASSI FILHO
Data: 09/02/2026 11:44:04-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. HÉLIO GRASSI FILHO (Participaçao Virtual)
Ciencia Florestal Solos e Ambiente / Faculdade de Ciencias Agronomicas de Botucatu UNESP

gov.br Documento assinado digitalmente
HELANE CRISTINA AGUIAR SANTOS
Data: 09/02/2026 13:15:57-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof.ª Dr.ª HELANE CRISTINA AGUIAR SANTOS (Participaçao Virtual)
Secretaria de Estado de Educação do Pará / Diretoria Regional de Ensino - Capanema/PA

gov.br Documento assinado digitalmente
FERNANDO FERRARI PUTTI
Data: 09/02/2026 14:13:04-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. FERNANDO FERRARI PUTTI (Participaçao Virtual)
Engenharia de Biossistemas / UNESP / Câmpus de Tupã - FCE

Botucatu, 04 de fevereiro de 2026.

À minha mãe, o meu grande amor, dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço infinitamente à Deus e Nossa Senhora de Nazaré pela força e sabedoria ao longo dessa trajetória.

Agradeço à minha mãe, Mirailde Pimentel por seu amor incondicional e suas orações que foram e sempre serão essenciais para me manter firme nessa caminhada tão difícil distante dela.

Agradeço à minha namorada, Sandy Brito pelo companheirismo e que mesmo nos momentos em que mais desacreditei de mim, me encorajou a seguir.

À minha avó, Tereza Pimentel, uma mulher guerreira e cheia de fé que me ensinou a acreditar em Deus e sempre pedir a intercessão de Santa Maria.

Aos meus irmãos, Rodrigo Pimentel e Vitória Pimentel pela confiança e carinho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Hélio Grassi Filho que abriu as portas para minha chegada à FCA e pelos ensinamentos ao longo dessa caminhada.

À Prof. Dra. Helane Cristina Aguiar Santos, pela amizade e contribuições ao longo da minha iniciação cientifica que foram essenciais para eu chegar até o mestrado.

Ao Prof. Dr. João Bonnet pela parceria e ajuda nas leituras das amostras para curva de retenção de água no solo.

Aos estagiários Marcelo, Lucas e Renan pela parceria e ajuda na instalação e coleta no decorrer do experimento.

Aos amigos da Pós-graduação Lucas Henrique, Tatiane Cristovan, Leornado Correa, José Renan, Renato Pamplona, Carla Nadiele, em especial ao Oziel Neves, Ana Paula, Lucas Jhonata e Caio que foram essenciais para o êxito deste trabalho. A todos pela amizade construída ao longo dessa caminhada.

Aos funcionários de Departamento de Ciências do Solo, especialmente ao Seu Jair, Zé Carlos, Felipe, Adilson, Selminha, Carlinha, Marta, Dori e Reginaldo pelo acolhimento, colaboração e amizade.

À Faculdade de Ciências Agronômicas pela estrutura que possibilitou a realização desta pesquisa.

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

RESUMO

O Brasil apresenta forte dependência pela importação de insumos, dentre eles o cloreto de potássio (KCl) pela sua alta solubilidade e concentração de K_2O. Porém, o elevado índice salino da fonte torna crucial a avaliação de alternativas que reduzam impactos aos aspectos fisiológicos das plantas e mantenham o desempenho produtivo das culturas. Além disso, a alta mobilidade do potássio no solo e nas plantas exige o manejo adequado para mitigar perdas por lixiviação. O potássio é um macronutriente essencial às plantas por desempenhar funções no metabolismo vegetal e refletem diretamente no enchimento dos grãos. Dessa forma, o silicato de potássio (SiK) pode ser uma importante fonte por apresentar em sua composição além do potássio, o silício, considerado um elemento benéfico às plantas, aliado também ao uso da fertirrigação como uma técnica para elevar a eficiência no manejo nutricional das culturas, a partir do fracionamento da adubação em consonância com os estádios fenológicos das plantas. Portanto, o estudo objetivou investigar os efeitos das doses de K na forma de silicato de potássio via fertirrigação e via solo sobre os aspectos fisiológicos, nutricionais e no rendimento do feijoeiro em comparação com o cloreto de potássio. A pesquisa foi conduzida em condições de ambiente protegido, em casa de vegetação, na Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP-Botucatu. O delineamento foi em blocos casualizados, esquema fatorial (2X5+2), sendo os fatores fontes (KCl e SiK) e doses (0, 25, 50, 100 e 200 mg kg^{-1} de K), mais a aplicação de 100 mg kg^{-1} de K na forma de KCl e SiK, via solo. No primeiro capítulo foram avaliadas variáveis fisiológicas como, fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), transpiração (E), concentração interna de CO_2 (Ci), eficiência de carboxilação (EiC) e eficiência de uso da água (EUA), enquanto no segundo capítulo foi avaliado o acúmulo de K, N, Ca, Mg, P e S, massa da parte aérea (MSPA) e número de vagens (NV). No primeiro capítulo, os resultados apresentaram efeitos interativos para toda as variáveis observadas. O SiK aplicado via fertirrigação promoveu maior A nas plantas, mesmo com menor gs, Ci e E no feijoeiro, refletindo em maior EiC e EUA, comparado aos tratamentos com KCl. Quanto aos tratamentos submetidos à adubação potássica com SiK via solo, houve redução na transpiração resultando em aumento na eficiência de uso da água, comparado aos tratamentos com KCl. No segundo capítulo, a interação entre os fatores para todas as variáveis avaliadas foi significativa. Os resultados demonstraram maior acúmulo de K em plantas submetidas à adubação com KCl com doses elevadas, enquanto para N, Ca, Mg, P e S, observou maior acúmulo desses elementos em plantas sob doses elevadas na forma de SiK, o que possivelmente impactou em maior produção de massa seca da parte aérea e número de vagens. Para os tratamentos sob adubação via solo, observou-se maior acúmulo de N, Ca e Mg em plantas com nutrição potássica na forma de SiK. A comparação dos adicionais evidenciou que a fertirrigação pode melhorar o desempenho fisiológico, os aspectos nutricionais e elevar a massa seca da parte aérea e número de vagens, especialmente utilizando o SiK.

Palavras-chave: fracionamento da adubação; macronutrientes; manejo nutricional; fisiologia de plantas; eficiência de uso da água.

ABSTRACT

Brazil is heavily dependent on imported inputs, particularly potassium chloride (KCl), due to its high solubility and K_2O concentration. However, the high salt index of this source makes it crucial to evaluate alternatives that reduce impacts on plant physiological aspects and maintain crop yield performance. Furthermore, the high mobility of potassium in the soil and plants requires proper management to mitigate leaching losses. Potassium is an essential macronutrient for plants, playing vital roles in plant metabolism that directly reflect on grain filling. Thus, potassium silicate (SiK) can be an important source as its composition includes not only potassium but also silicon, which is considered a beneficial element for plants. This is coupled with the use of fertigation as a technique to increase nutritional management efficiency by splitting fertilization in alignment with the plants' phenological stages. Therefore, this study aimed to investigate the effects of K doses as potassium silicate via fertigation and via soil on the physiological and nutritional aspects and yield of the common bean, in comparison to potassium chloride. The research was conducted under protected environment conditions in a greenhouse at the School of Agriculture, UNESP-Botucatu. The experimental design was randomized blocks in a 2×5+2 factorial scheme, with the factors being sources (KCl and SiK) and doses (0, 25, 50, 100, and 200 mg kg^{-1} of K), plus the soil application of 100 mg kg^{-1} of K as KCl and SiK. In the first chapter, physiological variables such as net photosynthesis (A), stomatal conductance (gs), transpiration (E), internal CO_2 concentration (Ci), carboxylation efficiency (EiC), and water use efficiency (WUE) were evaluated. In the second chapter, the accumulation of K, N, Ca, Mg, P, and S, shoot dry matter, and number of pods were assessed. In the first chapter, the results showed interactive effects for all observed variables. SiK applied via fertigation promoted higher A in plants, even with lower gs, Ci, and E in the common bean, reflecting higher EiC and WUE compared to KCl treatments. Regarding treatments subjected to soil-applied K fertilization with SiK, there was a reduction in transpiration, resulting in increased water use efficiency compared to KCl treatments. In the second chapter, the interaction between factors was significant for all evaluated variables. The results demonstrated higher K accumulation in plants subjected to high doses of KCl fertilization, while for N, Ca, Mg, P, and S, a higher accumulation of these elements was observed in plants under high doses of SiK, which likely resulted in higher shoot dry matter and number of pods. For soil-applied fertilization treatments, higher accumulation of N, Ca, and Mg was observed in plants with potassium nutrition in the form of SiK. The comparison of additional treatments evidenced that fertigation can improve physiological performance and nutritional aspects, as well as increase shoot dry matter and the number of pods, especially when using SiK.

Keywords: fertilization splitting; macronutrients; nutritional management; plant physiology; water use efficiency.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL..... **14**

CAPÍTULO 1 - ASPECTOS FISIOLÓGICOS DO FEIJÃO-COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.) EM RESPOSTA À FERTIRRIGAÇÃO POTÁSSICA COM SILICATO DE POTÁSSIO E CLORETO DE POTÁSSIO..... **17**

1.1 INTRODUÇÃO..... 20

1.2 MATERIAL E MÉTODOS..... 22

1.2.1 Caracterização da área experimental..... 22

1.2.2 Delineamento experimental..... 23

1.2.3 Condução do experimento..... 24

1.2.4 Instalação do sistema de irrigação..... 27

1.2.5 Manejo da fertirrigação..... 31

1.2.6 Tratos culturais e manejos fitossanitários 32

1.2.7 Variáveis analisadas..... 33

1.2.7.1 Trocas gasosas nas folhas..... 33

1.2.8 Análise estatística..... 34

1.3 RESULTADOS..... 35

1.4 DISCUSSÃO..... 40

1.5 CONCLUSÕES..... 44

1.6 REFERÊNCIAS 45

CAPÍTULO 2 – NUTRIÇÃO POTÁSSICA COM SILICATO DE POTÁSSIO VIA FERTIRRIGAÇÃO MELHORA O ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES E O RENDIMENTO DO FEIJÃO-COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.)..... **52**

2.1 INTRODUÇÃO..... 55

2.2 MATERIAL E MÉTODOS..... 56

2.2.1 Caracterização da área experimental..... 56

2.2.2 Delineamento experimental..... 58

2.2.3 Condução do experimento..... 58

2.2.4 Descrição do sistema de irrigação..... 61

2.2.5 Manejo da fertirrigação..... 65

2.2.6 Tratos culturais e manejos fitossanitários 66

2.2.7 Variáveis analisadas..... 67

2.2.7.1 Massa seca da parte aérea (MSPA)..... 67

2.2.7.2 Acúmulo de macronutrientes..... 68

2.2.7.3 Número de vagens por plantas (NVP) 68

2.2.8 Análise estatística..... 68

2.3 RESULTADOS..... 69

2.4 DISCUSSÃO..... 76

2.5 CONCLUSÕES..... 80

2.6 REFERÊNCIAS..... 82

CONSIDERAÇÕES FINAIS..... **87**

REFERÊNCIAS **89**

INTRODUÇÃO GERAL

No contexto do agronegócio mundial o Brasil destaca-se como uma potência agrícola, favorecido pelas condições edafoclimáticas, solos cultiváveis, pesquisas e a adoção de tecnologias aos seus diversos sistemas de produção**.** Esses aspectos colocaram o país como um dos principais produtores de alimentos, dentre eles o feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.).

O feijão-comum está entre os alimentos de maior relevância no mundo, especialmente, na América Latina e na África Oriental, sendo significativamente rico em proteínas, fibras, vitaminas e minerais essenciais (Bettiol *et al*., 2020; Petry *et al.,* 2015; Uebersax *et al*., 2023). O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de feijão (Assunção *et al*., 2020), tendo assumido a segunda posição desde 2023 e em 2024 produziu cerca de 2,9 milhões de toneladas, mantendo sua posição no ranking mundial liderado pela Índia, com 6,8 milhões de toneladas (FAO, 2024). Diante disso, a alta produtividade das lavouras está sempre alinhada à demanda por insumos.

Conforme a Associação Nacional de Difusão de Adubos (2021), a agricultura brasileira tem forte dependência externa no que se refere ao uso de fertilizantes. Estima-se que cerca de 85% dos fertilizantes consumidos no Brasil, sejam importados de países como Canadá, Rússia e Belarus, demonstrando limitações na oferta para um país com tamanha demanda. Desse total de importação, 96% é potássio, com destaque para o cloreto de potássio (KCl) como a fonte mais consumida no país.

O potássio é um dos nutrientes mais demandados pelas plantas e tem função fundamental na ativação enzimática, além de manter o turgor das células guardas regulando a abertura e fechamento dos estômatos, primordial para mitigar danos em função de estresses abióticos (De Mello Prado, 2021; Ibrahim *et al*., 2020; Waraich *et al*., 2020; Yang *et al*., 2022). Logo, a forte dependência externa por KCl aliado à importância do potássio para os processos fisiológicos e bioquímicos na planta, configuram um importante desafio para a agricultura nacional.

Apesar do cloreto de potássio ser o mais utilizado, o alto índice salino da fonte devido a presença do cloro em sua composição pode ocasionar efeitos nocivos na fisiologia das plantas, reduzir a presença de microorganismos benéficos presentes no solo e influenciar também na qualidade de alguns produtos agrícolas como o café (Coelho *et al*., 2017; Moreira, 2020; Rodrigues *et al*., 2022; Yan *et al.,* 2015).

A adubação com cloreto de potássio apresenta também alta solubilidade e mobilidade no solo, com isso o manejo inadequado pode condicionar perdas por lixiviação e a redução da eficiência de uso de potássio, ocasionado prejuízos expressivos a nível econômico e ambiental (Li *et al*., 2020; Werle *et al.*, 2008). Portanto, é essencial explorar outras fontes para disponibilizar potássio de modo que seja possível atingir as exigências das plantas sem prejudicar a qualidade do solo e dos produtos agrícolas.

Sob essa perspectiva, pesquisas recentes têm avaliado a eficiência de fontes desse macronutriente em diversas culturas, como a soja (Morais, 2024),beterraba (Franco *et al.* 2021), gergelim (Anjos, 2023), café (Moreira, 2020), arroz, milho (Crusciol, 2022; Soratto, 2021) e feijão-comum (Crusciol *et al.* 2022; Soratto *et al.* 2021), resultando em incrementos significativos nos aspectos produtivos e qualitativos dessas culturas, independente das fontes utilizadas.

Entretanto, os estudos em sua maioria, são voltados para adubação convencional que, de acordo com Coelho e Borges (2009), são aplicados sobre o solo e para que sejam solubilizados e disponíveis às plantas, dependem da chuva. Em caso de estiagem, a reação dos fertilizantes no solo é reduzida e compromete a disponibilidade de nutrientes, conforme foi observado por Rodrigues (2023), em ensaio com algodoeiro.

Nesse cenário, a fertirrigação surge como uma importante técnica, pois possibilita o fornecimento de fertilizantes dissolvidos diretamente na água de irrigação, permitindo a rápida absorção pelas plantas e assim, é possível fracionar e fornecer os nutrientes conforme a exigência das culturas em cada estádio fenológico. Dessa forma, minimiza a dependência de chuvas e aumenta a eficiência do uso de fertilizantes.

Considerando os problemas relacionados ao déficit hídrico, dentre os fertilizantes potássicos, o silicato de potássio destaca-se por possuir além do potássio, o silício. Esse elemento, apesar de não ser considerado um mineral essencial, tem apresentado resultados interessantes em pesquisas com plantas sob déficit hídrico, como feijoeiro (Gonzalez-Porras *et al*., 2024), pimentão (Lob *et al*., 2023) e tomate (de Moraes *et al*., 2020), sendo um aspecto interessante para uma produção agrícola com menor uso da água.

A presente pesquisa se justifica tanto pela relevância socioeconômica do feijoeiro, como pelos benefícios que o silicato de potássio pode apresentar para a

fisiologia da planta e aos aspectos químicos do solo, podendo incrementar também na produtividade da cultura e contribuindo para uma agricultura mais sustentável pelo uso eficiente da água.

Portanto, o estudo objetivou investigar os efeitos da aplicação de doses de potássio na forma de silicato de potássio via fertirrigação e via solo sobre os aspectos fisiológicos, nutricionais e produtivos do feijoeiro em comparação com o cloreto de potássio.

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 04/08/2027

At the author's request, the full text of this thesis will not be available online until
Aug. 04, 2027

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste trabalho demonstraram que o feijoeiro pode responder não somente à nutrição potássica, mas também à fonte de potássio utilizada e o modo de aplicação do nutriente.

A adubação com cloreto de potássio, principalmente sob doses elevadas via fertirrigação, pode impactar negativamente no desempenho fisiológico do feijoeiro, reduzir a capacidade da planta em acumular nutrientes essenciais e refletir diretamente no rendimento da cultura.

Em contraste, ainda que o silicato de potássio tenha demonstrado menor solubilidade, isso não limitou o acúmulo de nutrientes na parte aérea do feijoeiro, tanto via solo quanto via fertirrigação e melhorou as trocas gasosas da cultura, mesmo sob altas doses e, possivelmente, refletiu em maior acúmulo de nutrientes no tecido vegetal e elevou os componentes de rendimento da planta.

Diante do exposto, os resultados evidenciam que o impacto da adubação potássica sobre a fisiologia do feijoeiro está diretamente relacionado à natureza química da fonte utilizada, sendo inadequado interpretar a nutrição potássica apenas sob a perspectiva quantitativa da dose aplicada.

Conclui-se que a utilização de fontes alternativas ao KCl, como o silicato de potássio, representa uma estratégia promissora para melhora dos aspectos fisiológicos e nutricionais do feijoeiro, sobretudo em cultivo fertirrigado.

Este trabalho contribui para a compreensão de que a escolha da fonte de potássio deve considerar não apenas critérios agronômicos e econômicos, mas também seus efeitos fisiológicos sobre as plantas, ampliando as perspectivas para um manejo nutricional mais eficiente e sustentável do feijoeiro.

REFERÊNCIAS

ANDA – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DIFUSÃO DE ADUBOS. **Principais indicadores do setor de fertilizantes**. 2021. Disponível em: https://anda.org.br/wp-content/uploads/2022/03/Principais_Indicadores_2021.pdf. Acesso em: 20 out. 2025.

ANJOS, PALOMA MOREIRA DOS. **Cultivo de gergelim irrigado sob diferentes fontes e doses de potássio**. 2023. 74 f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2023.

ASSUNÇÃO, A. T. dos S. *et al*. Controle de antracnose na cultura do feijão com produtos alternativos em casa de vegetação. **Brazilian Journal of Development**, [*s. l.*], v. 6, n. 3, p. 9971–9982, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-031. Acesso em: 20 out. 2025.

BETTIOL, J. V. T. *et al*. Sustainable production of common beans: inoculation, co-inoculation and mineral fertilization in early-cycle cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, [*s. l.*], v. 44, n. 1, p. 16–28, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1822403. Acesso em: 20 out. 2025.

COELHO, D. S. *et al*. Acúmulo e distribuição de nutrientes em genótipos de sorgo forrageiro sob salinidade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [*s. l.*], v. 16, n. 2, p. 178-192, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v16n2p178-192. Acesso em: 20 out. 2025.

CRUSCIOL, C. A. C. *et al*. Broadcast application of ground silicate rocks as potassium sources for grain crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 57, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1678-3921.PAB2022.V57.02443. Acesso em: 20 out. 2025.

DE MORAES, D. H. M. *et al*. Combined effects of induced water deficit and foliar application of silicon on the gas exchange of tomatoes for processing. **Agronomy**, [*s. l.*], v. 10, n. 11, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10111715. Acesso em: 20 out. 2025.

DE OLIVEIRA FILHO, A. S. B. *et al*. Water deficit modifies C:N:P stoichiometry affecting sugarcane and energy cane yield and its relationships with silicon supply. **Scientific Reports**, [*s. l.*], v. 11, n. 1, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41598-021-00441-0. Acesso em: 20 out. 2025.

FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nation**. Roma: FAO, [2025]. Disponível em: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL. Acesso em: 20 out. 2025.

FRANCO, M. F. S. *et al*. Qualidade de beterraba de mesa (Beta vulgaris) em função de fontes e doses de potássio. **Research, Society and Development**, [*s. l.*], v. 10, n. 13, e333101321294, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.33448/rsd-v10i13.21294. Acesso em: 20 out. 2025.

GONZALEZ-PORRAS, C. V. *et al*. Silicon via fertigation with and without potassium application, improve physiological aspects of common beans cultivated under three

water regimes in field. **Scientific Reports**, [*s. l.*], v. 14, n. 1, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41598-024-52503-8. Acesso em: 20 out. 2025.

IBRAHIM, M. F. M. *et al*. Regulation of agronomic traits, nutrient uptake, osmolytes and antioxidants of maize as influenced by exogenous potassium silicate under deficit irrigation and semiarid conditions. **Agronomy**, [*s. l.*], v. 10, n. 8, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10081212. Acesso em: 20 out. 2025.

LI, Z. *et al*. Long-term effects of controlled-release potassium chloride on soil available potassium, nutrient absorption and yield of maize plants. **Soil and Tillage Research**, [*s. l.*], v. 196, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104438 . Acesso em: 20 out. 2025.

LOB, S. *et al*. Enhanced Growth of Chili (Capsicum annuum L.) by Silicon Nutrient Application in Fertigation System. **Malaysian Applied Biology**, [*s. l.*], v. 52, n. 2, p. 13–20, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.55230/mabjournal.v52i2.2648 . Acesso em: 20 out. 2025.

MORAIS, YAGO CÉSAR RODRIGUES MORAIS. **Aplicação de fontes e doses de potássio na cultura de soja**. 2024. 36 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós- Graduação em Produção Vegetal, Universidade Estadual de Goiás, Ipameri, 2024

MOREIRA, DIULIE TALITA. **Efeito do manejo de fontes de potássio na produtividade do cafeeiro e na qualidade da bebida**. 2020. 66 f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em AgriculturaTropical e Subtropical, Instituto Agronômico, Campinas, 2020

PETRY, N. *et al*. The potential of the common bean (Phaseolus vulgaris) as a vehicle for iron biofortification. **Nutrients**, [*s. l.*], v. 7, n. 2, p. 1144–1173, 2015. Disponível em: 10.3390/nu7021144. Acesso em: 20 out. 2025.

PRADO, R. de M. **Mineral nutrition of tropical plants**. Switzerland: Springer Nature, 2021. 392 p. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030 71262. Acesso em: 20 out. 2025.

RODRIGUES, V. D. S. *et al*. Gas exchange and growth of sunflower subjected to saline stress and mineral and organic fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 26, n. 11, p. 840–847, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n11p840-847. Acesso em: 20 out. 2025.

SORATTO, R. P. *et al*. Silicate rocks as an alternative potassium fertilizer for upland rice and common bean crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 56, p. 1–10, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.01411 . Acesso em: 20 out. 2025.

SORATTO, R. P. *et al*. Efficiency and residual effect of alternative potassium sources in grain crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 56, 2021.

Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1678-3921.PAB2021.V56.02686. Acesso em: 20 out. 2025.

UEBERSAX, M. A. *et al*. Dry beans (Phaseolus vulgaris L.) as a vital component of sustainable agriculture and food security - A review. **Legume Science**, [*s. l.*], v. 5, n. 1, e155, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1002/LEG3.155. Acesso em: 20 out. 2025.

WARAICH, E. A. *et al*. Foliar applied potassium stimulate drought tolerance in canola under water deficit conditions. **Journal of Plant Nutrition**, [*s. l.*], v. 43, n. 13, p. 1923–1934, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1758132. Acesso em: 20 out. 2025.

WERLE, R.; GARCIA, R.A.; ROSOLEM, C.A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**-, v.32, p.2297-2305, 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000600009

YAN, N. *et al*. Influence of salinity and water content on soil microorganisms. **International Soil and Water Conservation Research**, [*s. l.*], v. 3, n. 4, p. 316-323, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.11.003. Acesso em: 20 out. 2025.

YANG, C. *et al*. Potassium deficiency limits water deficit tolerance of rice by reducing leaf water potential and stomatal area. **Agricultural Water Management**, [*s. l.*], v. 271, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107744. Acesso em: 20 out. 2025.