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

FCA
Faculdade de Ciências Agronômicas
UNESP | BOTUCATU

RENATO AUGUSTO PAMPLONA PEREIRA

DESEMPENHO AGRONÔMICO E FISIOLÓGICO DE FEIJÃO À ADUBAÇÃO POTÁSSICA SOB ESTRESSE HÍDRICO

Botucatu

2025

RENATO AUGUSTO PAMPLONA PEREIRA

DESEMPENHO AGRONÔMICO E FISIOLÓGICO DE FEIJÃO À ADUBAÇÃO POTÁSSICA SOB ESTRESSE HÍDRICO

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

Orientador: Hélio Grassi Filho

Botucatu

2025

P436d

Pereira, Renato Augusto Pamplona
Desempenho agronômico e fisiológico de feijão à adubação potássica sob estresse hídrico / Renato Augusto Pamplona Pereira. -- Botucatu, 2025
69 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu
Orientador: Hélio Grassi Filho

1. feijão-comum. 2. estresse hídrico. 3. fertilidade do solo. 4. nutrição mineral de plantas. 5. potássio. 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:

DESEMPENHO AGRONOMICO E FISIOLOGICO DE FEIJAO A ADUBAÇAO POTASSICA SOB ESTRESSE HIDRICO

AUTOR: RENATO AUGUSTO PAMPLONA PEREIRA
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: 03/12/2025 08:12:28-0300
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
RAFAELLY SUZANYE DA SILVA SANTOS
Data: 03/12/2025 15:17:28-0300
verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof.ª Dr.ª RAFAELLY SUZANYE DA SILVA SANTOS (Participaçao Virtual)
Engenharia Rural / Universidade Federal Rural da Amazônia

gov.br documento assinado digitalmente
ADRIANO BICIONI PACHECO
Data: 20/12/2025 08:12:28-0300
verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. ADRIANO BICIONI PACHECO (Participaçao Virtual)
. / Universidade Federal Rural da Amazônia

Botucatu, 31 de janeiro de 2025.

Ao meu pai, Marcelo Augusto,

meu exemplo de dedicação e perseverança.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à Deus pela oportunidade de continuar contribuindo para o avanço das ciências agrárias no Brasil.

Aos meus queridos pais, Joelma e Marcelo, pelo apoio incondicional. E meu irmão Pedro Lucas.

Ao Prof. Dr. Hélio Grassi Filho pela orientação, ensinamentos, paciência comigo nesse período de aprendizado.

Agradeço ao meu melhor amigo e irmão do coração Gabriel Canassa pela parceria sinergética nesses anos.

Tenho um agradecimento especial à coordenação do programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola, representados pelo professor Rodrigo Sánchez e sua secretária Rafaela, pela paciência e apoio na condução de todo o experimento.

Ao meu querido grupo de pesquisa, GEFFEC, pela fraternidade e disposição a me ajudar em todos os momentos, pois sozinho não chegaria a lugar algum, são eles, Lucas Carascosa, Marcelo Augusto Tineu, Renan Oliveira, Mateus Leandro e Allany Fabrinny.

A todos os professores e funcionários da FCA, principalmente aos que pertencem ao Departamento de Solos e Recursos Ambientais.

Aos meus amigos Jorge Theodoro, Wolfgang Bierbauer, Felipe Moura por deixar minha vida mais feliz com suas amizades.

Sou grato também pelas minhas VetAmigas residentes do Laboratório Clínico Veterinário – LCV da UNESP- Botucatu, Cintia Sinfrônio, Giovanna Valverde, Elisa Bachegga, Larissa Sato.

Gostaria de deixar meus agradecimentos aos companheiros de república “Zona Azul”, Dona Ivonete Cardoso, Pão, Poka, Araci, Activia, Hulk, Tio Fio, Pastor, Whindersson, Michas e Giras, por todo companheirismo e solidariedade em todos os momentos.

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

“Mera mudança não é crescimento. Crescimento é a síntese de mudança e continuidade, e onde não há continuidade não há crescimento.

LEWIS. C. S. Surprised by Joy: The Shape of My Early Life. Integral .HMH , ISBN : 0547545487, 9780547545486 , Google Books, 1966.

RESUMO

O presente estudo investigou o desempenho fisiológico do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris*) sob diferentes condições de adubação potássica e estresse hídrico. A pesquisa foi conduzida em casa de vegetação, utilizando um latossolo vermelho-amarelo de textura média. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x6, com 4 repetições. Os tratamentos consistiram em duas fontes de potássio (fertilizante organomineral - e cloreto de potássio) e seis doses de cada fonte equivalentes a 0, 50, 100, 150, 200 e 250 kg ha^{-1}). A irrigação foi realizada por gotejamento, com manejo baseado na tensão da água no solo. Foram avaliados parâmetros agronômicos (área foliar, massa verde, massa seca e número de vagens) e fisiológicos (assimilação de CO_2, taxa transpiratória, condutância estomática e quenching fotoquímico). Os resultados mostraram que a adubação com FOM promoveu maior área foliar, massa verde e massa seca em comparação ao KCl, especialmente nas doses mais elevadas (200 e 250 kg ha^{-1}). O número de vagens também foi significativamente maior nas plantas tratadas com FOM. Em relação aos parâmetros fisiológicos, a assimilação de CO_2 e a taxa transpiratória aumentaram linearmente com o incremento da dose de FOM, indicando maior atividade fotossintética e eficiência no uso da água. A condutância estomática também foi maior nas plantas tratadas com FOM, sugerindo um melhor controle da perda de água por transpiração. O quenching fotoquímico, por sua vez, mostrou diferença significativa apenas na dose mais alta de FOM, indicando uma resposta diferenciada ao estresse em comparação ao KCl. Em conclusão, a adubação com fertilizante organomineral potássico mostrou-se promissora para o cultivo de feijão-comum sob condições de estresse hídrico moderado, promovendo melhorias no desempenho agronômico e fisiológico das plantas e na qualidade do solo. No entanto, mais estudos são necessários para avaliar a viabilidade econômica e ambiental dessa prática em diferentes sistemas de produção e para aprofundar o conhecimento sobre os mecanismos fisiológicos envolvidos.

Palavras-chave: feijão-comum; estresse hídrico; fertilidade do solo; nutrição mineral de plantas; potássio.

ABSTRACT

The present study investigated the physiological performance of common bean (Phaseolus vulgaris) under different potassium fertilization and water stress conditions. The research was conducted in a greenhouse, using a medium-textured red-yellow Latosol. The experimental design was completely randomized, in a 2x6 factorial scheme, with 4 repetitions. The treatments consisted of two potassium sources (organomineral fertilizer - FOM and potassium chloride - KCl) and six doses of each source equivalent to 0, 50, 100, 150, 200 and 250 kg ha^{-1}). Irrigation was carried out by drip, with management based on soil water tension. Agronomic (leaf area, green mass, dry mass and number of pods) and physiological (CO_2 assimilation, transpiration rate, stomatal conductance and photochemical quenching) parameters were evaluated. The results showed that fertilization with FOM promoted greater leaf area, green mass and dry mass compared to KCl, especially at the highest doses (200 and 250 kg ha^{-1}). The number of pods was also significantly higher in plants treated with FOM. Regarding the physiological parameters, CO_2 assimilation and transpiration rate increased linearly with the increase in the FOM dose, indicating greater photosynthetic activity and water use efficiency. Stomatal conductance was also higher in plants treated with FOM, suggesting better control of water loss through transpiration. Photochemical quenching, in turn, showed a significant difference only at the highest dose of FOM, indicating a different response to stress compared to KCl. In conclusion, fertilization with potassium organomineral fertilizer proved to be promising for the cultivation of common bean under moderate water stress conditions, promoting improvements in the agronomic and physiological performance of plants and in soil quality. However, further studies are needed to assess the economic and environmental viability of this practice in different production systems and to deepen knowledge about the physiological mechanisms involved.

Keywords: common bean; water stress, plant nutrition; soil fertility; potassium.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 17
2 REVISÃO DA LITERATURA 20
2.1 A cultura do feijão **20**
2.2 O uso da água na agricultura **22**
2.3 Potássio **24**
2.4 Fertilizante organomineral **25**
2.5 Estresse hídrico e adubação potássica na fisiologia de feijão **27**
3 MATERIAL E MÉTODOS 30
3.1 Local de estudo **30**
3.2 Casa de vegetação **30**
3.3 Características do solo e planta **30**
3.4 Calagem e adubação **30**
3.5 Características químicas do fertilizante **31**
3.6 Delineamento experimental **32**
3.7 Manejo de irrigação **32**
3.7.1 Tempo de irrigação **35**
3.8 Uniformidade do sistema de irrigação **35**
3.9 Aplicação de defensivos agrícolas **36**
3.10 Água da irrigação **36**
3.11 Análises agronômicas **37**
3.12 Análises fisiológicas **37**
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 38
4.1 Parâmetros agronômicos **38**
4.1.1 Área foliar **38**
4.1.2 Massa verde e Massa seca **41**
4.1.3 Número de vagens **44**

4.2 Parâmetros fisiológicos 48

5 CONCLUSÕES 57

REFERÊNCIAS 59

1 INTRODUÇÃO

O feijão, um alimento básico em muitas culturas, é uma leguminosa de grande valor nutricional. Seu cultivo exige atenção a diversos fatores, como a qualidade do solo, a disponibilidade hídrica e a nutrição adequada da planta. Entre os nutrientes essenciais para o desenvolvimento saudável do feijão, o potássio (K) destaca-se por sua importância na resistência a doenças, na qualidade dos grãos e na eficiência no uso da água (Silva *et al.* 2019; Malavolta, 2006).

Por isso, o potássio é especialmente importante para todas as culturas, principalmente por estar ligado a atividade fisiológicas das plantas. A adubação potássica é indispensável em solos com baixa disponibilidade natural de potássio ou em situações em que as culturas têm alta demanda por esse nutriente, como durante fases de crescimento rápido, formação de frutos e desenvolvimento de raízes (Faquin, 2005).

Portanto, o suprimento deste elemento às plantas contribui para o crescimento das plantas em situações de falta de água ao regular o equilíbrio osmótico, estimular a abertura dos poros nas folhas (estômatos), ativação enzimática e formação de flores (Faquin, 2005; Malavolta, 2006).

A gestão eficiente da adubação potássica é essencial para garantir que as plantas recebam a quantidade adequada desse nutriente, promovendo, assim, uma agricultura mais produtiva e sustentável. Porém, é necessário também verificar a perspectiva do solo quanto ao manejo de adubação potássica, pois o potássio em altas concentrações no solo, pode levar a salinidade (Dias, 2022; Malavolta, 2006). A aplicação no solo é uma forma de alterar as propriedades físico-químicas do solo, devido ao fato das aplicações acontecerem de forma frequentes, em um período curto para culturas de ciclo curto, como o feijão (Alcarde, 2007).

Nos últimos cinco anos, a produção de feijão no Brasil enfrentou desafios e oscilações, influenciada por fatores climáticos, custos de produção e demanda do mercado. Apesar disso, o feijão segue sendo uma cultura relevante para a agricultura brasileira, com milhões de toneladas produzidas anualmente. (EMBRAPA arroz e feijão, 2024).

Por isso, a relação do potássio com o feijão já vem sendo pesquisada ao longo dos anos, principalmente, quanto à qualidade de produção das sementes e desempenho fisiológico, sobretudo na ação fotossintética quando as plantas estão sobre estresse salino e na resistência das plantas ao estresse hídrico. (Carvalho *et al.*, 2022; Meira *et al.*, 2020; Magalhães *et al.*, 2021).

O potássio auxilia na regulação da abertura e fechamento dos estômatos, estruturas presentes nas folhas responsáveis pelas trocas gasosas e pela perda de água por transpiração. Em condições de déficit hídrico, o potássio contribui para manter os estômatos parcialmente abertos, permitindo a entrada de CO_2 para a fotossíntese e, consequentemente, a produção de energia para a planta. Além disso, o potássio fortalece as paredes celulares, aumentando a resistência das plantas ao acamamento e à quebra, o que é particularmente importante em situações de estresse hídrico, quando as plantas tendem a ser mais frágeis. Dessa forma, a adubação potássica adequada pode mitigar os efeitos negativos do estresse hídrico no feijão, promovendo maior tolerância à seca e aumentando a produtividade da cultura (Carvalho *et al.*, 2022; Taiz; Zeiger**,** 2017).

Adubos organominerais são produtos que combinam a matéria orgânica, rica em nutrientes de lenta liberação e com capacidade de melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, com os nutrientes minerais, que fornecem elementos essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas de forma mais rápida e disponível. Essa sinergia entre matéria orgânica e minerais resulta em um fertilizante mais completo e eficiente, proporcionando diversos benefícios para as culturas (Cavalcante *et al.* 2020)

Assim, os fertilizantes organominerais potássicos surgem como alternativa como fontes minerais de potássio, visando otimizar a nutrição das plantas e melhorar a saúde do solo. Esses fertilizantes proporcionam uma série de benefícios tanto agronômicos quanto ambientais, visto que uma saída para a diminuição do efeito deletério do índice salino é a utilização de material orgânico no solo. Os nutrientes em fertilizantes organominerais são liberados de forma mais lenta e constante em comparação com fertilizantes minerais puros. Isso reduz o risco de lixiviação e volatilização, promovendo um fornecimento contínuo de nutrientes às plantas. (Cavalcante *et al.* 2020; Malavolta, 2006)

Neste sentido, a presente pesquisa investigou o fornecimento de potássio na forma de fertilizante organomineral como de adubação em paralelo com a fonte convencional os diversos processos agronômicos e fisiológicos durante o ciclo produtivo do feijão sob déficit hídrico.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A cultura do feijão

O feijão pertence à família botânica das leguminosas, o que o coloca na mesma categoria da soja, ervilha e grão-de-bico. Ele possui um sistema radicular fasciculado. O ciclo dessa leguminosa é considerado curto, variando de 90 a 110 dias. Durante esse período, a planta absorve grandes quantidades de nutrientes essenciais para garantir uma produção satisfatória e lucrativa (Eicholz *et al.*, 2020; Barbosa *et al.*, 2014).

A planta possui folhas que se alternam no caule, cada uma composta por três folíolos, exibindo uma tonalidade verde-escura. Notavelmente, o primeiro par de folhas difere, sendo simples e posicionadas uma de frente para a outra, com hastes que na maioria das vezes são lisas, mas ocasionalmente podem apresentar textura rugosa e uma coloração roxa. As flores são hermafroditas e autopolinizadas, agrupadas em inflorescências no topo do pedúnculo. Os frutos são do tipo vagem, com formato cilíndrico, podendo ser retos ou curvados, e variam em comprimento de 18 a 30 cm. As sementes apresentam variações na coloração, forma e tamanho, características que têm um importante valor comercial. (Freire Filho *et al.*, 2011).

Para um desenvolvimento ideal dessa cultura, é crucial proporcionar condições físicas e biológicas do solo que sejam propícias. A maior concentração de raízes ocorre nos primeiros 20 centímetros de profundidade, com aproximadamente 90% delas localizadas nos primeiros 40 centímetros. O feijão pode ser cultivado em várzeas e terras altas, contanto que o solo seja solto, friável e não sujeito a encharcamento (Posse *et al.*, 2010).

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris L.*) é uma variedade de feijão que se adapta a diversas condições climáticas em todo o país ao longo do ano (Lopez *et al.*, 2013). Ele é rico em proteínas e outros nutrientes, participando da dieta de diferentes classes sociais, e é considerado um dos componentes mais marcantes na culinária brasileira (SEAB, 2016).

No ano de 2017, aproximadamente 97% do fornecimento de feijão no Brasil, incluindo a produção anual e os estoques, foi direcionado ao mercado interno

brasileiro. A cadeia produtiva do feijão envolve agricultores, cooperativas, indústrias de processamento, comércio e serviços. Milhares de empregos diretos e indiretos são gerados em todas as etapas, desde o plantio até a chegada do produto ao consumidor final. Além disso, o feijão é um alimento acessível e fundamental para a segurança alimentar da população, especialmente para as famílias de baixa renda. Seu consumo regular contribui para uma dieta balanceada e nutritiva. (EMBRAPA arroz e feijão, 2024).

A alta demanda do feijão-comum faz com que ele seja cultivado ao longo de todo o ano, utilizando diversos sistemas de cultivo e níveis tecnológicos diferentes. Por isso, A EMBRAPA Arroz e Feijão (2024), aponta três épocas distintas de semeadura: a época das águas ou primeira safra, responsável por 45,9% da produção; a época da seca, também conhecida como safrinha, ou simplesmente segunda safra, correspondendo a 33,5% da produção; e a época de inverno ou terceira safra, que contribui apenas com 20,5% da produção.

Devido à sua importância alimentar, de mercado e agronômica, a cultura do feijão desempenha um papel significativo na agricultura nacional. No aspecto agronômico, ela é crucial para o planejamento do calendário agrícola, pois apresenta um ciclo fenológico considerado adequado para o plantio em uma janela de tempo mais curta. Isso permite a produção do feijão sem comprometer a plantação de outros grãos no mesmo ano-safra. (CONAB, 2024).

A produtividade do feijão no ano de 2023 variou de acordo com a região e a safra. No entanto, dados preliminares da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) indicam que a produção total das três safras de feijão em 2023 foi de aproximadamente 3 milhões de toneladas. Em Minas Gerais, por exemplo, a produtividade média estimada para a safra de 2022/2023 foi de 1.541 kg ha^{-1}, um aumento de 15,4% em relação à safra anterior. No Paraná, a produtividade esperada para a primeira safra de 2023/2024 é de 1.935 kg ha^{-1}, um aumento significativo em relação aos 1.717 kg ha^{-1} da safra anterior (CONAB, 2024).

Em suma, o feijão é muito mais do que um alimento básico na mesa dos brasileiros. É um pilar da economia nacional, gerador de empregos, renda e segurança alimentar. A produção dos últimos cinco anos, apesar dos desafios,

demonstra a resiliência e a importância dessa cultura para o país. Com investimentos e planejamento, o futuro do feijão no Brasil se mostra promissor, garantindo seu papel fundamental na alimentação e na economia (CONAB, 2024).

2.2 O uso da água na agricultura

A agricultura é frequentemente considerada a grande consumidora de água, especialmente na irrigação, tornando essencial o uso consciente e sem desperdício dessa fonte nas lavouras (Salassier *et al.* 2006; Pereira, 2014).

Sendo assim, existem diferentes métodos para determinar quando e quanto irrigar, e esses métodos podem ser agrupados em três categorias: manejo baseado na planta, manejo baseado no solo e manejo baseado na atmosfera (evapotranspiração) (Frizzone; Melo, 2020; Gomes *et al.*, 2019). Cada um desses métodos utiliza diferentes indicadores para monitorar as condições de irrigação e determinar as necessidades de água das plantas. Há estudos que empregam duas técnicas de irrigação distintas, sendo uma por sulcos e outra por gotejamento superficial. A irrigação por gotejamento superficial apresenta uma menor demanda de água e produz resultados produtivos mais favoráveis (Sirrine *et al.*, 2015)

O movimento da água no solo é um processo complexo influenciado por várias interações físicas e hidrológicas, existem três processos principais que explicam o movimento da água no solo: infiltração, percolação e escoamento superficial (Timm *et al.*, 2018). Esses três fenômenos são fundamentais para o ciclo da água, por desempenhar um papel vital na disponibilidade de água para as plantas além da recarga de aquíferos e manutenção de ecossistemas. A variação nos níveis de energia entre diferentes ambientes (como solo úmido e solo seco) influencia a forma e velocidade de movimentação da água no solo e consequentemente nas plantas. No solo úmido, a maior parte da água é armazenada nos espaços maiores entre as partículas ou forma uma camada espessa ao redor delas (Libardi, 2010; Klein; Klein, 2015).

Por isso, é importante saber equilibrar a umidade do solo, sendo uma tarefa delicada no manejo de culturas. Quando a demanda de água de uma planta excede a quantidade disponível, ela não consegue desempenhar suas funções vitais e o

crescimento é interrompido. Isso resulta em estresse para a planta, o que pode levar a rendimentos mais baixos e até mesmo à morte. Sinais de estresse hídrico incluem redução do vigor da planta, suspensão do crescimento, folhas secas ou quebradiças e, em casos extremos, murchamento (Frizzone, 2022; Jackson *et al.*, 2019).

Por outro lado, um excesso de água também pode ser problemático. Quando o solo fica excessivamente úmido devido à irrigação excessiva, chuvas prolongadas ou má drenagem, os nutrientes podem ser lixiviados do solo, resultando em prejuízos econômicos e impactos ambientais, como a contaminação das águas subterrâneas por nutrientes. Além disso, períodos prolongados de saturação do solo e condições anóxicas na zona de raízes da planta promovem o apodrecimento das raízes e o desenvolvimento de doenças fúngicas (Frizzone; 2022; Jackson *et al.*, 2019).

Um dos métodos de irrigação em notável crescimento e considerado altamente eficaz é o sistema de gotejamento (Kisekka *et al.*, 2019). Esse sistema oferece várias vantagens, como economia de água e energia, capacidade de automação e possibilidade de fertilização das áreas cultivadas. O sistema de irrigação localizada oferece algumas vantagens adicionais. Ele permite a aplicação direcionada de fertilizantes solúveis ou líquidos, conhecida como fertirrigação, o que contribui para uma nutrição mais precisa das plantas. Além disso, esse sistema ajuda a reduzir a propagação de doenças fúngicas nas plantações. Ele desempenha um papel crucial na agricultura brasileira, tornando a irrigação acessível para uma variedade de culturas, incluindo frutas e hortaliças. (Frizzone; Melo, 2020; Rossini *et al.*, 2021).

Rodrigues *et al.* (2009) estudando produtividade do feijão comparando dois métodos de irrigação localizadas diferentes, gotejamento e microaspersão, observou que o manejo de irrigação para o cultivo, com a aplicação de 35 mm de evapotranspiração da cultura (ETc), mostrou-se altamente eficaz em termos técnicos para maximizar a produtividade no sistema de irrigação por gotejamento.

Ainda verificando a produtividade do feijão no nordeste do Brasil, um estudo de Silva *et al.* (2019) demonstrou que a demanda hídrica total do feijão caupi cultivado durante o verão e outono na região do Sertão Alagoano é aproximadamente 230 mm. A produtividade média do feijão caupi irrigado por gotejamento na mesma região varia entre 1,40 e 1,93 toneladas por hectare, com uma lâmina de água média

economicamente viável de cerca de 95% da evapotranspiração da cultura (ETc). Isso significa que, em média, o feijão caupi necessita de 114 a 149 mm de água para produzir.

Diversos estudos evidenciam que para investigar a interação entre o feijão e o estresse hídrico em relação a outros fatores, é comum recorrer ao uso do sistema de irrigação localizada por gotejamento (Rodrigues, 2009; Dantas, 2023; Silva *et al.*, 2019; Torres *et al.*, 2020).

O método de controle da tensão da água no solo oferece uma maneira de determinar quando irrigar com base no potencial matricial ou na depleção de água no solo. Apesar de ter um limite de operação de 80 kPa, isso não afeta a eficácia do método para determinar a quantidade adequada de água para o feijoeiro. Isso ocorre porque as leituras de tensão variam de -30 a -40 kPa (Cunha *et al.*, 2013).

2.3 Potássio

Os solos tropicais naturalmente possuem baixa fertilidade, e a principal fonte de potássio (K) disponível para as plantas é a fração trocável em minerais secundários da argila, como a caulinita (Oliveira, 2015).

Os principais minerais de potássio encontrados em formações minerais são a silvita, o cloreto de potássio (KCl) e a carnalita, que é um composto de cloreto de potássio e magnésio hidratado ($KMgCl_3$, $_6H_2O$). Por exemplo, a silvinita é uma combinação de halita (NaCl) e silvita (KCl). Rochas ou minerais ricos em potássio podem ser fontes potenciais de sais de potássio e termofosfatos potássicos, podendo ser aplicados diretamente no solo como fertilizantes potássicos de liberação lenta. Rochas como granitos e sienitos, que contêm componentes como feldspatos potássicos e quartzo, são exemplos de materiais naturais com teores elevados de potássio (Nascimento; Loureiro, 2004; Cunha *et al.*, 2021)

Nos solos pouco intemperizados, o K geralmente se encontra em sua forma estrutural, que é não-trocável e não disponível para as plantas. O potássio trocável, portanto, representa a principal fonte de K disponível para as plantas na agricultura, e sua disponibilidade é influenciada pela textura do solo. Solos arenosos têm maior dificuldade em reter o nutriente, o que muitas vezes resulta na lixiviação do potássio

para camadas mais profundas do solo, onde as raízes das plantas têm acesso limitado (Pereira *et al.*, 2021; Raij *et al.*, 2022).

Sendo assim, é importante ressaltar que a disponibilidade das formas de potássio no solo é dividida em quatro grupos: solúvel em água (K-solução), trocável, não trocável e potássio estrutural ou mineral. O potássio trocável, que é uma reserva imediata para os organismos do solo, é retido pelas cargas negativas dos minerais de argila e da matéria orgânica. Portanto, o aporte de matéria orgânica no solo pode melhorar a eficiência no uso desse nutriente (Basak *et al.* 2017).

Embora o cloreto de potássio (KCl) seja amplamente utilizado como fonte de potássio na agricultura (Cantarella *et al.*, 2022), seu uso frequente pode levar ao aumento da salinidade do solo, prejudicando plantas e microrganismos (Soumare *et al.*, 2023). Pesquisas indicam que o cloreto, mesmo em pequenas quantidades, pode atuar como um oxidante e apresentar propriedades biocidas (Souri *et al.*, 2010; Megda *et al.*, 2014). Portanto, a reposição de potássio através de fertilizantes é essencial em lavouras de grande porte e alta produtividade, mas deve ser feita com cautela para evitar problemas de salinidade e impactos negativos no solo.

2.4 Fertilizante organomineral

Os fertilizantes organominerais (FOM), que são uma mistura de fertilizantes minerais e orgânicos, são uma alternativa viável para uso agrícola (Malavolta, 2006). Eles tendem a ser mais acessíveis em termos de custo em comparação com os fertilizantes químicos e são produzidos a partir de resíduos de outros sistemas de produção, como a cama de frango. Isso torna seu uso e pesquisa atrativos, especialmente por se alinharem com a crescente conscientização sobre a necessidade de uma produção, manejo e desenvolvimento rural sustentável (Cavalcante el al., 2020; Costa *et al.*, 2009).

Segundo Bittencourt *et al.* (2006), a incorporação de matéria orgânica no solo pode otimizar o uso de fertilizantes minerais, aumentando a capacidade do solo de reter nutrientes e reduzindo as perdas por lixiviação. Isso ajuda na liberação gradual dos nutrientes para as plantas, o que pode resultar em um aumento da produtividade agrícola. No entanto, é importante ressaltar que a aplicação indiscriminada de resíduos orgânicos em culturas agrícolas sem a devida avaliação das necessidades

do solo e das plantas, bem como da composição química desses produtos, pode não ser benéfica e até mesmo prejudicial (Basak *et al.*, 2017).

Assim, as pesquisas envolvendo os fertilizantes organominerais granulados feitos com turfa e cloreto de potássio demonstraram resultados comparáveis ao KCL comercial em todos os cultivos analisados, incluindo algumas variáveis agronômicas dos cultivos, como, por exemplo, a massa verde e a massa seca da parte aérea (Castro *et al.* 2020).

O uso de um fertilizante organomineral à base da mistura de caulim e esterco bovino resultou em melhorias na qualidade do solo em relação à sua salinidade, trazendo benefícios em suas propriedades físicas, além disso, Albuquerque *et al.* (2018) ressalta que essa prática representa uma eficaz alternativa para mitigar os danos causados pela salinidade nos solos e no meio ambiente, além de permitir a reutilização de áreas abandonadas para a produção agrícola.

Castro *et al.* (2020) ressalta a importância da aplicação de fertilizantes organominerais potássicos em solos de textura arenosa, onde foi observado uma diferença em relação à utilização de KCl. A utilização estratégica de FOM's desempenha um papel fundamental no gerenciamento da fertilidade do solo, especialmente em solos de textura arenosa, que têm baixa capacidade de troca catiônica (CTC), o que pode resultar na perda de fertilizantes convencionais devido à lixiviação. Ao liberar os nutrientes gradualmente no solo, os fertilizantes organominerais podem ajudar a reduzir a lixiviação dos elementos, ao mesmo tempo em que fornecem matéria orgânica (MO). Solos arenosos dependem significativamente de suprimento orgânico para melhorar sua CTC e a retenção de nutrientes, especialmente o potássio (Rosolem *et al.*, 2017; Barra *et al.*, 2023).

Por isso, a utilização de adubos organominerais já está sendo utilizada em culturas perenes e culturas de ciclo anual, com diversas fontes de material orgânico. Cândido *et al.* (2013) avaliaram o crescimento inicial do cafeeiro utilizando adubação convencional em comparação com a utilização de um adubo organomineral fosfatado e verificaram diferenças significativas quanto ao crescimento vegetativo.

2.5 Estresse hídrico e adubação potássica na fisiologia de feijão

As plantas exibem diversos tipos de respostas ao déficit hídrico que auxiliam a manter seu estado hídrico e, consequentemente, os processos fisiológicos e bioquímicos essenciais. Essas alterações podem ocorrer tanto a curto prazo, com o aumento na razão sacarose/amido pelo carbono recém-fixado, quanto a longo prazo, através do acúmulo de solutos orgânicos de baixo peso molecular, também conhecidos como solutos compatíveis, em um processo chamado de ajustamento osmótico. Ambas as mudanças fazem parte de uma resposta regulatória da planta para manter a turgescência das folhas em condições de baixa disponibilidade de água (Bajj *et al.*, 2001).

Estudos antigos observaram que o feijoeiro demonstra certa sensibilidade quanto a necessidade hídrica em todos os estágios fenológicos. O déficit hídrico ou o excesso de água no solo é crítico para a cultura, principalmente no sub-período compreendido entre o início do florescimento e enchimento de grãos, ele só demonstra rendimento satisfatório quando à precipitação regional atingir até 400 mm durante o ciclo de 90 dias (Massignam *et al.*, 1998; Bergamaschi *et al.*,1989; Faria *et al.*, 1997).

O estresse hídrico de feijão foi estudado e verificado em algumas variedades índices fisiológicos em todos os estágios fenológicos.

O déficit hídrico apresentou redução da condutância estomática, transpiração foliar e na taxa fotossintética líquida de feijão caupi com o manejo de irrigação sendo feito via atmosfera, com 100, 50, 25 e 0 % da ETc (Carvalho *et al.*, 2022).

A falta de água durante os estágios iniciais de crescimento das sementes leva a uma diminuição na atividade fotossintética, resultando na redução da produção de substâncias assimiladas. Isso inclui a diminuição da transpiração e, consequentemente, a redução do fornecimento de dióxido de carbono (CO_2) para o processo de fotossíntese (Pedroso *et al.*, 2009; Ashraf; Harris, 2013).

Outros processos também sofrem impacto, incluindo a produção de ácido abscísico, a abscisão foliar e o ajuste osmótico. Em condições de déficit hídrico, há uma redução na atividade fotossintética, acompanhada pela diminuição do volume celular e, consequentemente, pela diminuição da turgidez (Morais *et al.*, 2003).

Há várias recomendações técnicas para a cultura do feijoeiro no tocante a irrigação como, realizar a irrigação quando a tensão da água no solo atingir valores acima de -30 kPa (Silveira; Stone, 1994; Ferreira *et al.* 2019; Brito *et al.* 2015), bem como quando o teor de água no solo for de aproximadamente -39 Kpa (Figueiredo *et al.*, 2021; Jadoski *et al.* 2015)

Aumentar as quantidades de potássio (KCl) durante os estágios de floração e frutificação, juntamente com a escassez de água, resulta em uma redução no número e no comprimento das vagens da planta de feijão, porém, a imposição de déficit hídrico durante a fase de floração promove o crescimento e a acumulação de biomassa nas plantas, com uma recuperação observada após a suspensão do estresse (Medeiros *et al.*, 2020).

O feijão desenvolve diversos mecanismos para se adaptar a condições de estresse hídrico. Entre esses mecanismos, destaca-se o aumento do crescimento das raízes, o que melhora sua capacidade de absorver água devido ao aumento da condutividade hidráulica. Além disso, a planta regula a abertura dos estômatos para reduzir as perdas de água para o ambiente (Bonfim-Silva *et al.*, 2011).

Uma pesquisa feita por Silva *et al.* (2010) constatou que as plantas de feijão caupi que recebem metade da água perdida por evapotranspiração não mostram danos em seu processo fotossintético. Por outro lado, aquelas que recebem apenas 25% da água perdida por evapotranspiração apresentam diminuições nos níveis de assimilação fotossintética, condutância estomática e transpiração.

Genótipos de feijão foram submetidos ao estresse hídrico afim de descobrir os comportamentos fisiológicos, foi constatado que o feijão-caupi mostrou-se mais sensível ao estresse hídrico na formação de folhas; lâminas de irrigação de 120% da evapotranspiração resultaram em maior crescimento de biomassa, independentemente do genótipo; as medições das trocas gasosas ajudaram a detectar o estresse hídrico no feijão-caupi durante a fase inicial (Moreira *et al.* 2015).

Existem estudos tentam verificar a compensação do estresse hídrico com algum outro tipo de manejo, sendo ele aplicação de adubos que regulam a passagem de água para a planta como o caso do hidrogel (Ferreira *et al.*, 2014; Felippe *et al.*, 2020). Pensando de forma a averiguar os impactos causados pelo estresse hídrico nas plantas, Pohlmann *et al.* (2022) testaram doses de adubação silicatada no feijão

afim de descobrir se há diferença significativa entre o manejo de irrigação sendo feito com e sem estresse hídrico, porém não houve diferença significativa em nenhum dos dois fatores. Porém, Figueiredo (2021) observou-se um efeito variável com a aplicação de doses de bioestimulantes em cultivo de feijão sob estresse hídrico e comparação com a reposição hídrica convencional.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de estudo

A pesquisa foi desenvolvida na casa de vegetação do departamento de Solos e Recursos Ambientais, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, Botucatu/SP, Brasil. Localizada a 22º53'09" de latitude sul, 48º26'42" de longitude oeste.

3.2 Casa de vegetação

A estufa é construída com uma estrutura de arco metálico, disposta na direção Leste-Oeste, com uma altura de 4 metros desde o solo até o topo do arco, que tem uma elevação de 1,2 metros. Possui dimensões de 24 metros de comprimento por 7 metros de largura, totalizando uma área de 168 metros quadrados. Sua cobertura é feita com filme de polietileno de baixa densidade (PEBD) opaco, e as laterais são protegidas com telas anti-afídeo**.**

3.3 Características do solo e planta

O solo empregado para o desenvolvimento da cultura possui a classificação Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média, submetido previamente a um processo de peneiramento antes da plantação. As sementes de feijão-comum , da variadade Carioca.

3.4 Calagem e adubação

Foi realizada a caracterização química do solo no laboratório de química do Solo (Tabela 1), para correção da acidez do solo e seu manejo de adubação.

Tabela 1 - Análise química do solo utilizado no experimento

pH	M.O.	Al3+	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
CaCl2	g /dm^3														
4.2	19	12	51	2.0	10	17	19	70	27	17	0.32	5.9	29	12.3	0.8

Fonte: Autor, (2025)

Em seguida o método de correção do solo foi feito pela saturação de base, visto que na análise do solo foi verificado a CTC de 70% e o V% de 27. As recomendações do Boletim 100 do Estado de São Paulo (2022), indicam que a calagem deve ser realizada visando elevar o teor de saturação por bases (V%) ao valor de 70% e o Mg a um valor mínimo de 8 mmolc dm^{-3} para o cultivo de feijão.

Sendo assim, substituindo os valores, encontrou-se o valor de 4,3 t ha^{-1}, utilizando o calcário com o PRNT de 70%. Foram aplicados aproximadamente 11,2 gramas de calcário em cada vaso de 18 litros para alcançar uma profundidade de 5 cm, considerando que a área do vaso é de 0,16 metros quadrados. Portanto, a calagem foi realizada 30 dias antes do plantio.

A aplicação da adubação nitrogenada e fosfatada em cobertura ocorreu de acordo com as recomendações do Boletim 100 (Cantarella *et al.* 2020) desejando-se ter o máximo de produtividade sob a camada de 20 cm de profundidade.

3.5 Características químicas do fertilizante

O estudo envolveu a utilização de dois tipos de fertilizantes potássicos: um de origem organomineral (K_2O) e outro mineral (KCl).

Os adubos potássicos utilizados durante o experimento foram analisados a fim de se obter suas características químicas. As amostram foram levadas para o laboratório de Fertilizantes do Departamento de Solos e Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP- Botucatu. A Tabela 2 a seguir demonstra as propriedades do fertilizante organomineral (FOM):

Tabela 2 - Atributos químicos do fertilizante organomineral potássico utilizado no experimento

%			mg kg^{-1}								
N	P_2O_5	K_2O	Ca	Mg	S	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn
0,52	1,17	16,06%	1,97	0,17	5,18	10442	156	16	24561	169	61

Fonte: Autor, (2025)

A análise química do fertilizante mineral (FM) constatou 57% de cloreto de potássio (KCl), enquanto o adubo organomineral demonstrou 16,06 % de K_2O.

3.6 Delineamento experimental

O experimento ocorreu por meio de um delineamento interiamente casualizados sendo 2x6 com 4 repetições. Os tratamentos com os fertilizantes consistiram em 6 doses para fonte de adubação (mineral e organomineral), sendo o tratamento sem de adição de adubo potássico e as doses de 50, 100, 150, 200 e 250 $kg.ha^{-1}$, convertidas para volume de solo no vaso. A primeira dose sendo tratamento adicional utilizado como testemunha. Os tratamentos com as doses do fertilizantes foram destribuídos aleatóriamente entre as linhas de cultivo. A forma de aplicação dos tratamentos ocorreu à 5 cm de profundidade do vasos.

3.7 Manejo de irrigação

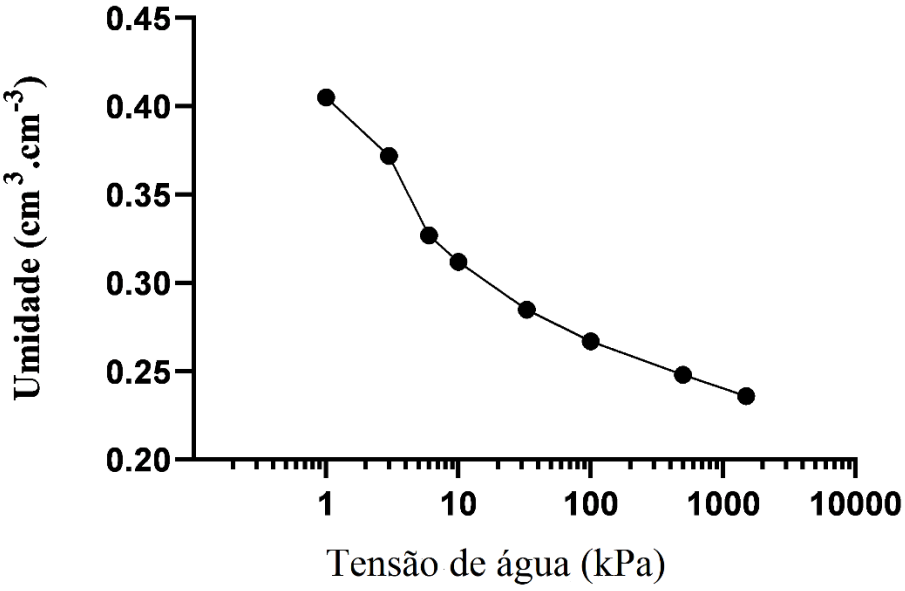
A disposição dos vasos com o sistema de irrigação está demonstrada na Imagem 1, sendo instalado o sistema de irrigação localizada por meio do gotejamento.

A linhas de cultivo foram contabilizadas da esquerda pra direita de acordo com , começando da linha 1 até a linha 6. Os componentes dos sistema foram um reservatório de 350 L , um bomba centrífuga de 0,1 CV , a mangueiras de irrigação foram de polietileno, filtro de tela, manômetro, uma válvula reguladora de pressão instalada antes do manômetro. No começo de cada linha havia um registro de gaveta eu auxiliava no acionamento do sistema

Com isso , como o manejo de irrigação utilizado no projeto aconteceu por meio da irrigação localizada foram colocadas um bico gotejador de vazão de 4 $L\ h^{-1}$ em cada vaso.

Subsequentemente, foram coletadas seis amostras de solo com a finalidade de realizar a análise da curva característica de retenção de água no solo (Gráfico 1). Essas amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análise de Solos da ESALq – Piracicaba- SP. A curva de retenção de água no solo permite que haja uma visualização adequado de funcionamento do sistema de irrigação por meio do monitoramento da umidade do solo utilizando tensímetros (Figura 1) acoplados no tensiometros de pulsão. Através da correção da curva de retenção de água no solo pelo método de Van Genuchten, foi possível obter uma representação mais precisa do comportamento hídrico do material em estudo. Essa etapa é crucial para diversas aplicações, como modelagem hidrológica, projetos de irrigação e drenagem, e estudos de contaminação do solo.

Gráfico 1 - Curva de retenção de água no solo



Fonte: Autor, (2025)

O ponto de tensão de água no solo que corresponde a capacidade de campo é de 10 kPa e o de ponto de murcha permanente é de 1500 kPa.

Figura 1 – Tensimetro digital inserido no tensiometro de pulsão



Fonte: Autor, (2025)

Portanto, foi definido que acontecesse a irrigação até atingir a capacidade de campo do solo. Na curva de retenção de água, o ponto da capacidade de campo máxima corresponde à 38 %.

Antes do período de florescimento, o momento da irrigação foi determinado para garantir que a tensão da água no solo não excedesse 15 kPa, equivalente a 150 milibar que é o ponto de 31 % de teor de água na capacidade de água disponível. O período que se inicia o florescimento do feijão foi definido para o 47° dia após o plantio. Após isso, o turno de rega na época de florescimento foi decidido quando o ponto de tensão de água no solo atingir 40 kPa, isso equivale a 400 milibar e a 25 %.

Portanto, a lâmina de irrigação no solo nos dois momentos em que a tensão de água no solo for de 15 kPa e de 40 kPa , foi calculado através da Equação 1, a seguir:

$$LL = (CC - Ua) * Z \quad (1)$$

onde: CC: Capacidade de campo =; Ua: Umidade atual do solo = %; Z: Profundidade efetiva das raízes em cm.

A lâmina líquida (LL) de irrigação encontrada nos dois períodos foram de 1,09 mm e 4,03 mm, levando em consideração a profundidade das raízes de 10 cm nos

primeiros estágios e de 20 cm a partir do pré-florescimento, que é denominado pelo estágio fenológio R5. Essa seria a quantidade de água necesseraria para atingir a capacidade de campo.

Para o cálculo da lâmina bruta (LB) de irrigação, utilizou-se a lamina líquida dividida pela eficienca do sistema de irrigação (Equação 2) , nesse caso a efiência do sistema de irrigação (Ea) por gotejamento é 90%.

$$LB = LL \div Ea \quad (2)$$

O valor de lâmina bruta foi de 1,2 mm e 4,4 mm para cada estágio fenólogico.

3.7.1 Tempo de irrigação

O tempo de irrigação (Tr) é a quantidade de tempo em minutos em que o sistema irrigará cada vaso (Equação 3), para isso foi relizado o cálculo considernado a área ocupada pela planta (A) em m^2 e a vazão (q) em $L.h^{-1}$.

$$Tr = (Lb * A) / q \quad (3)$$

O tempo de irrigação para cada estágio foi de aproximadamente 3,6 minutos minutos, e 12 minutos, respectivamente para crescimento e florescimento.

3.8 Uniformidade do sistema de irrigação

A uniformidade do sistema de irrigação refere-se à distribuição equitativa da água ao longo dos emissores e do sistema, garantindo que todas as plantas recebam a mesma quantidade de água. Com base nesse princípio, a avaliação da uniformidade foi realizada através da vazão dos gotejadores. Isso foi feito utilizando coletores de 750 ml, os quais foram colocados em todos os gotejadores ao longo das linhas laterais de irrigação. O período de coleta estipulado foi de cinco minutos. As avaliações foram realizadas em duas épocas da pesquisa: antes de iniciar e no término.

Após o término do período de coleta, uma proveta graduada em mililitros foi empregada para medir a vazão acumulada nos coletores. Esses valores foram então registrados em uma planilha eletrônica para calcular a uniformidade do sistema. A

avaliação da uniformidade do sistema de irrigação foi realizada com base em coeficientes específicos, sendo eles os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC), Distribuição (CUD) e estatístico (CUE).

A avaliação da umidade do solo foi conduzida utilizando tensiometros, na qual foram instalados 9 na área de cultivo. Esses dispositivos foram dispostos de maneira aleatória, para assegurar maior precisão no momento das medições.

3.9 Aplicação de defensivos agrícolas

Durante a condução do experimento foi observado o ataque de mosca-branca (*Bemisia tabaci)* para isso foi realizado a aplicação preventiva de aplicação do Inseticida Bold – IHARA com os principios ativo : (ACETAMIPRIDO) e (FENPROPATRINA) na dose recomendada pela bula do produto de 400 $ml.ha^{-1}$, foram realizadas duas aplicações com o intervalo de segurança de 7 dias.

3.10 Água da irrigação

A água utilizada para irrigação vem de um poço escavado. Para analisar suas características, foi coletada uma amostra de 500 ml, usando um recipiente de plástico etiquetado e enviado ao Laboratório de Pesquisa II do Departamento de Solos e recursos Ambientais, da UNESP, em Botucatu para a avaliação química.

Tabela 3 – Análise Química da água de irrigação – Unesp -Botucatu

Nutrientes (mg. L^{-1})	
N	263
P	1
K	3
Ca	2
Mg	2
S	2,8
Na	3,38
B	0
Cu	0
Fe	0,05
Mn	0
Zn	0

Fonte: Autor, (2025)

As análises físicas de condutividade elétrica e pH foram analisadas e os resultados foram de: 0,085 mS cm^{-2} e 7,4 respectivamente.

3.11 Análises agronômicas

Para medição da aréa foliar das plantas foi utilizado um escalímetro, de forma que pudesse ser medido o comprimento e a largura de todas as folhas por vaso. Sendo uma planta por vaso. Foram realizadas medições ao final do ciclo, sendo após a aplicação do déficit hídrico.

A parte área de todas as plantas foram retiradas e pesadas em uma balança de precisão no laboratorio de pesquisa 1. Após a pesagem da massa verde, todas as amostras foram condicionadas numa estufa à 65 °C por 48 horas, para realização da pesagem da massa seca.

Ao fim do ciclo foram colhidas e conferidas vagens de todas as plantas afim de descobrir a produtividade por tratamento.

3.12 Análises fisiológicas

As avaliações de trocas gasosas incluíram a taxa de assimilação líquida de CO_2, a condutância estomática, a taxa de transpiração, e queching fotoquímico. As medições foram obtidas na região central da primeira folha (+1) utilizando um analisador de gás infravermelho (IRGA) (LI-COR Biosciences Inc., LI-6400XT, Lincoln, Nebraska, EUA). A densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD) foi fornecida por uma fonte de luz artificial de diodo emissor de luz (LED) (6400-40 LCF, LI-COR; 90% espectro vermelho e 10% azul), que foi ajustada para fornecer 1.500 µmol fótons m^{-2} s^{-1} na câmara foliar, com base em uma curva de luz realizada anteriormente. As medições foram realizadas entre 9:00 e 11:30 da manhã, utilizando a concentração de CO_2 atmosférico, temperatura e umidade ambiente.

Todos os dados foram tabulados e submetidos à análise através do software estatístico GraphPad Prism 10.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Parâmetros agronômicos

O resumo da análise de variância para todas as variáveis agrõmicas estudadas, sendo verificado os quadrados médios e o coeficiente de variação (CV) de acordo com a Tabela 4:

Tabela 4 – Resumo da análise de variância para área foliar, massa seca, massa verde e número de vagem de feijão submetido à adubação potássica sobre o estresse hídrico.

		Soma dos quadrados			
Fonte de Variação	GL	Área foliar	Massa verde	Massa seca	N° de vagem
Dose	11	ns	43,36*	151,40*	227,4*
Fonte	1	7,5*	20,92*	209,36*	27,01*
Dose* Fonte	11	ns	ns	87,90*	ns
Tratamento	23	7,72	31,69	44,19	448,2
Total	47	8,4	24,08	39,04	44,2
CV (%)	-	34,23	34,18	39,0	24,29

GL: Grau de liberdade; CV (%): Coeficiente de variação; *: significativo pelo teste significativo pelo teste F à 1% de probabilidade; ns: não significativo.

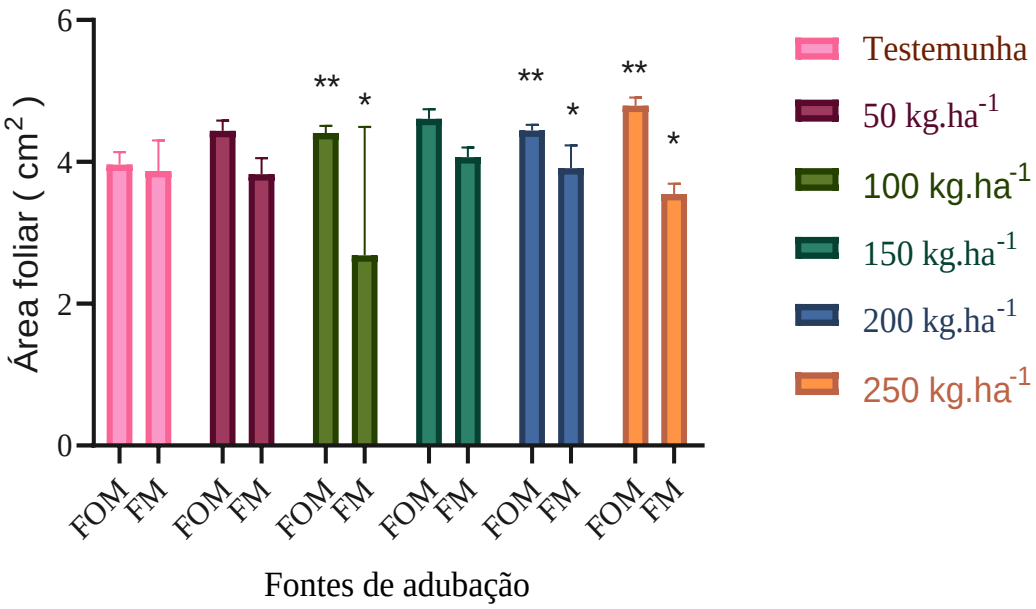
Fonte: Autor, (2025)

4.1.1 Área foliar

O gráfico para as médias encontradas de área foliar para verificar se houve diferenças significativas entre as doses e as fontes de adubação quanto ao crescimento da área foliar está descrito no Gráfico 2.

A análise dos dados revelou uma diferença significativa na área foliar das plantas de feijão em função da fonte de adubação. Três doses da fonte FOM proporcionaram um aumento expressivo na área foliar, indicando uma maior eficiência na promoção do crescimento vegetativo. Essa superioridade da fonte FOM pode estar relacionada à sua formulação específica, que contém uma combinação de nutrientes mais adequada às exigências nutricionais do feijoeiro. Sendo que, o feijão adubado com as doses de organomineral apresentou maior aumento na sua área foliar.

Gráfico 2 – Resultado do teste tukey realizado para área foliar (cm^2) em feijão comum submetido a diferentes doses de adubação organomineral potássica sob estresse hídrico



Médias com ** demonstram diferença significativa pelo teste Turkey à 0,05% de significância em comparação com as médias marcadas com *

(**Fonte:** Autor, 2025)

Um resultado publicado por Sousa *et al.* (2014) observou que não houve diferença na área foliar, nem no número de folhas do feijão utilizando um organomineral como fonte de adubação. Esse resultado difere do resultado obtido dessa pesquisa quando utilizado em doses crescentes de potássio aplicados no solo. Porém, o trabalho de Sousa *et al.* (2014) demonstra diferença significativa na área foliar quando as plantas foram irrigadas com água salina, sendo irrigadas com diferentes doses de cloreto de potássio.

Um fator a ser considerado é que o potássio presente nas doses do fertilizante organomineral podem ter tido uma liberação lenta e gradual, fazendo que o nutriente fosse mais bem aproveitado pela planta, devido a presença de outro nutrientes na matéria orgânica constituinte do adubo, fazendo com que haja menor perda dos nutrientes por lixiviação (Bittencourt, 2006; Flores *et al.*, 2022.).

Esse mesmo resultado discorda com Prazeres *et al.* (2015), que mesmo diferenciando doses de potássio no solo, as plantas de feijão não apresentam diferença no crescimento da área foliar usando apenas KCl como fonte de adubação potássica no solo, porém quando houve irrigação com água salina, houve diferença significativa.

Os resultados demonstram que as doses que obtiveram diferença, apresentaram entre de 5 a 10 cm à mais de área foliar nas doses de FOM comparado à outras fontes de KCl.

A presença de material orgânico nos compostos pode ter afetado o aumento da área foliar nas plantas de feijão. O aumento na área foliar é citado também por Pereira *et al.* (2013), quando utiliz material orgânico como fonte de adubação, tais como, esterco bovino e caprino.

A diminuição da área foliar com o aumento da salinidade da água de irrigação é considerada um mecanismo de defesa fisiológico das plantas, onde elas reduzem a perda de água ao diminuir a superfície de transpiração (Jácome *et al.*, 2003). Isso ajuda a explicar, em parte, a importância do método de aplicação de diferentes doses de potássio para as plantas no solo.

Durante o experimento algumas plantas demonstraram sintomas de salinidade nas folhas, esse efeito sumiu após 20 dias de experimento.

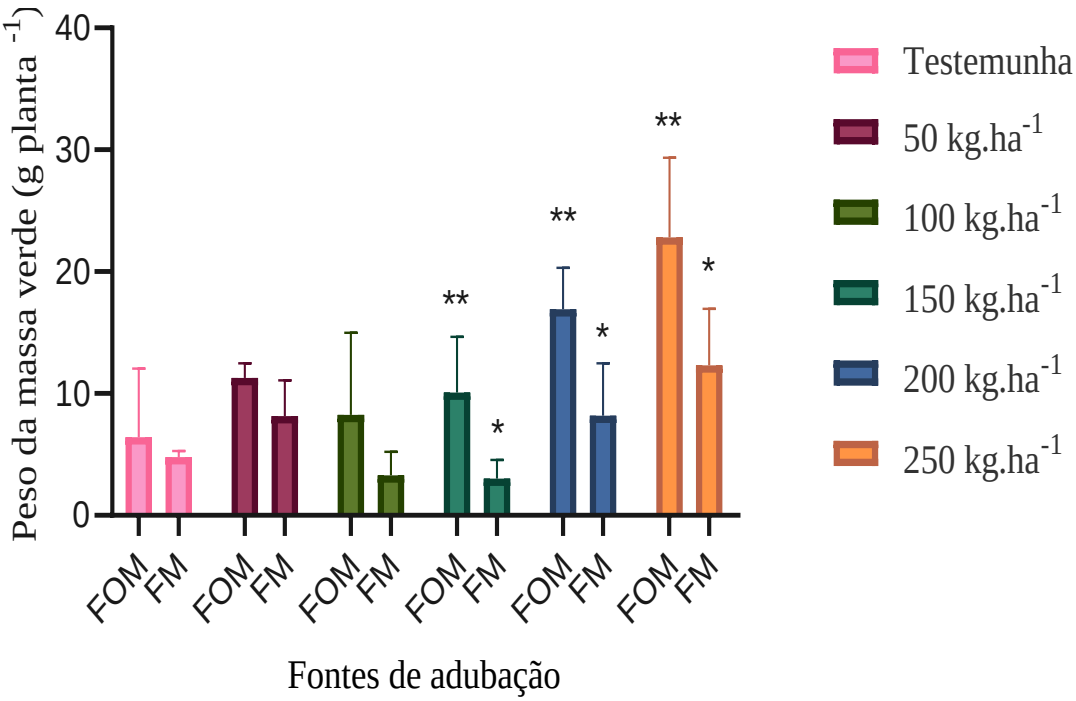
Outro aspecto a ser considerado é o uso do sistema de irrigação por gotejamento, que aplica água diretamente na zona radicular das plantas. Esse método pode ter contribuído para a lixiviação da maior parte das concentrações de KCl no solo, permitindo que todas as plantas se desenvolvessem ao absorver apenas o potássio necessário para o crescimento e desenvolvimento da área foliar nas doses de menor concentração de adubo. Sendo que, Mendes *et al.* (2016) verificando a perda de concentrações de potássio no solo, constatou que a lâmina de irrigação está diretamente ligada à lixiviação desse nutriente.

Pereira Filho *et al.* (2017), avaliando as concentrações de potássio no solo, verificou que a irrigação feita à 100% da evapotranspiração permitiu constatar que as concentrações de potássio no solo fossem menores que as da irrigação feita à 50%.

4.1.2 Massa verde e Massa seca

As diferentes fontes e doses de adubo influenciaram de maneira distinta o crescimento das plantas, tanto em termos de massa seca quanto de massa verde (Gráfico 4, Gráfico 6). Isso indica que a nutrição mineral desempenha um papel crucial no desenvolvimento vegetal e que a escolha da fonte e da dose de adubo pode otimizar a produção de biomassa.

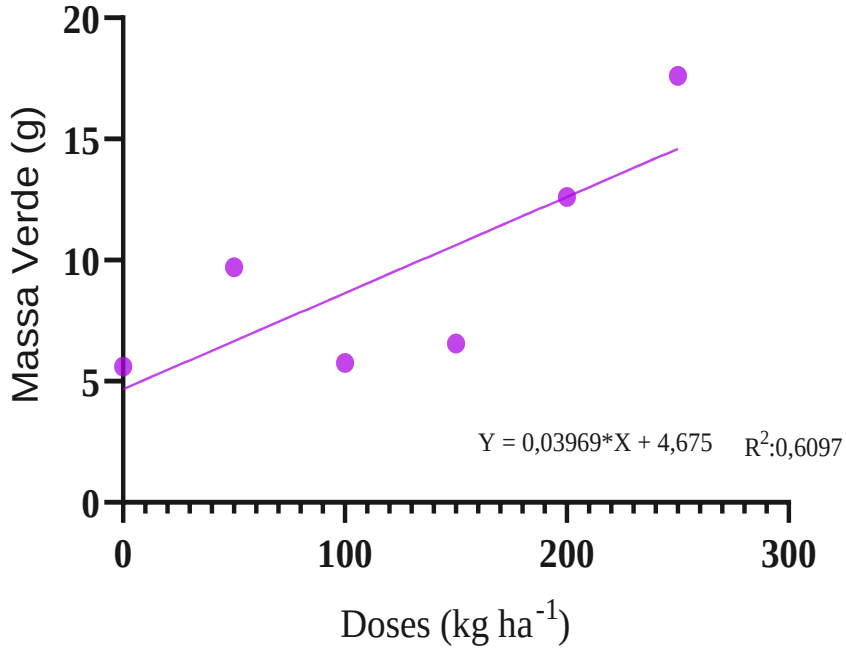
Gráfico 4 – Médias encontradas de massa verde (g/planta) em feijão comum submetido a diferentes doses de adubação organomineral potássica sob estresse hídrico.



Médias com ** demonstram diferença significativa pelo teste tukey à 0,05% de significância em comparação com as médias marcadas com

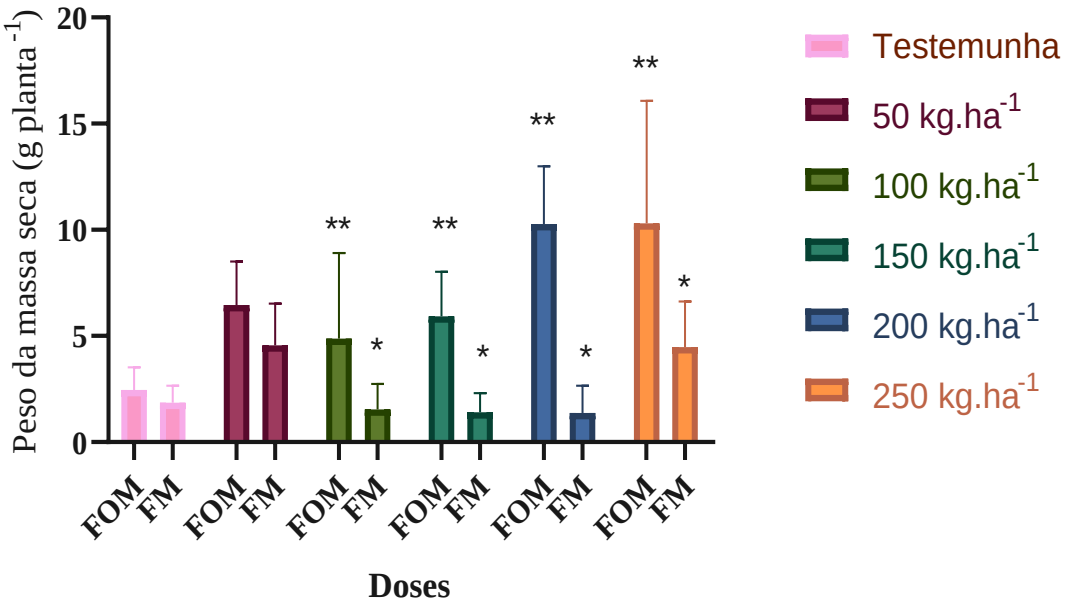
(**Fonte:** Autor, 2025)

Gráfico 5 – Massa verde (g/planta) de feijão comum em função das doses de fertilizante potássico aplicado.



(**Fonte:** Autor, 2025)

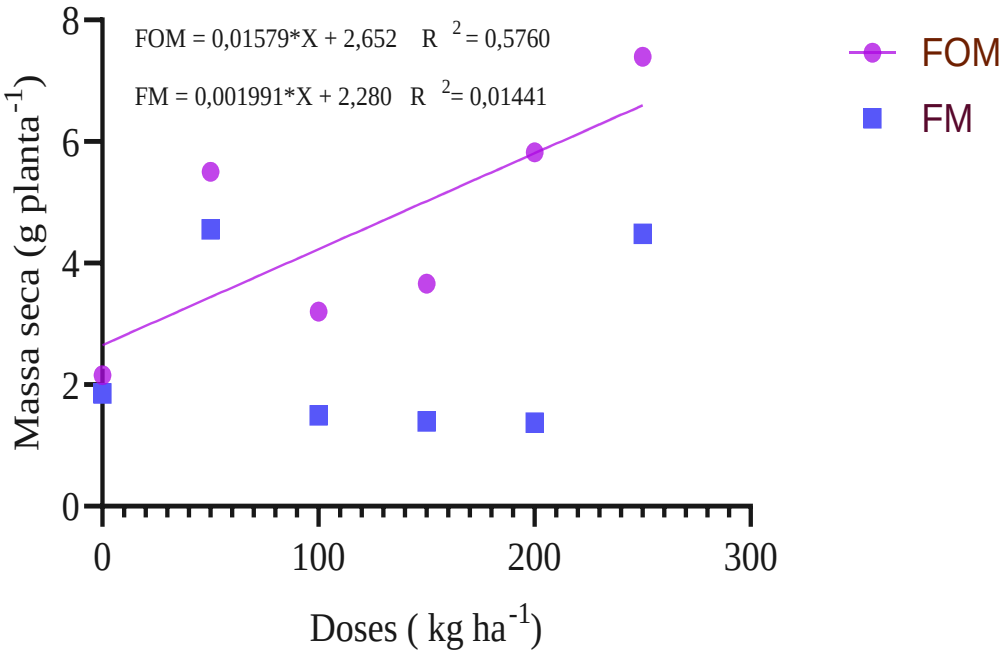
Gráfico 6 – Médias encontradas de massa seca (g/planta) de feijão comum submetido a diferentes doses de adubação organomineral potássica sob estresse hídrico



Médias com ** demonstram diferença significativa pelo teste tukey à 0,05% de significância em comparação com as médias marcadas *

Fonte: Autor, (2025)

Gráfico 7 – Desdobramento da interação Dose x Fonte para massa seca de feijão comum submetido a diferentes doses de adubação organomineral potássica sob déficit hídrico



Fonte: Autor, (2025)

Nas duas menores doses de concentração não houve diferença significativa no peso tanto da massa seca quando da massa verde em ambas as fontes.

As doses 100, 150, 200 e 250 kg ha^{-1} apresentaram diferença entre as fontes de adubação para massa verde enquanto para massa seca apenas as doses 150, 200 e 250 kg ha^{-1}. Esses resultados, concordam com os resultados obtidos Castro *et al.* (2020) onde a aplicação de diferentes doses de FOM foi mais eficaz na produção de massa seca em comparação ao uso de fertilizante mineral KCl. Com base no gráfico 7, a dose de 200 kg ha^{-1} parece ser mais eficiente para a produção de massa seca. Nessa dose, a FOM atinge um valor próximo a 6 g, enquanto a dose correspondente do FM está em torno de 4 g. Aumentar a dose para 250 kg ha^{-1} não resulta em um aumento significativo para FOM, e a FM permanece praticamente inalterada.

A argilas e a presença de matéria orgânica no solo possuem cargas negativas e por causa disso dá-se a adsorção do K, isso explicaria o porquê das doses de FOM apresentarem diferenças significativa nessa variável, já que Amaral *et al.* (2015)

estudou doses crescentes de aplicação de potássio (KCl) em feijão-caupi e a massa verde e a massa seca, não apresentaram diferença significativa.

A mesma tendência foi encontrada por Prazeres *et al.* (2014), ao utilizar diferentes formas de a adubação potássica, plantas de feijão-de-corda acumulam mais matéria seca na parte aérea das plantas.

Prazeres *et al.* (2015), estudou essas variáveis e percebeu um decréscimo da massa verde e da massa seca ao longo do experimento devido ao fato de sempre manter a irrigação com água salina em cultivo de feijão.

De modo geral, a diminuição do crescimento em plantas submetidas ao estresse salino é uma resposta típica, especialmente em glicófitas. (Medeiros *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2008).

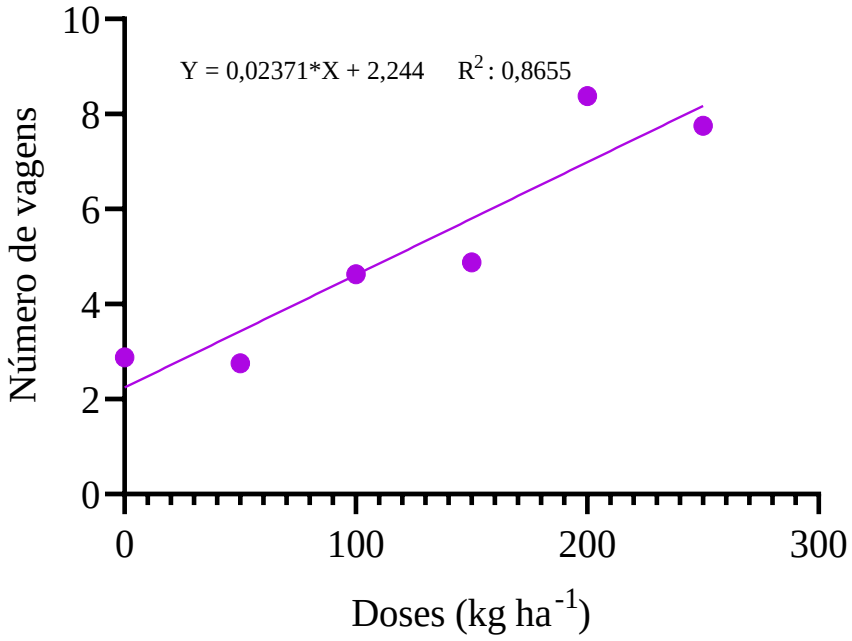
Plantas de soja foram submetidas a diferentes doses de adubação potássica e foi observado a diferença entra massa verde, massa seca da parte aéres das plantas, tendo um aumento crescente em paralelo com a dose de potássio (Catuchi, *et al.* 2012).

Porém, cultivares de milho e bráquiárias, apresentam diferença na produtividade de massa verde e massa seca quando adubadas com FOM em comparação a adubação convencional mineral (Ourives *et al.* 2010; Santos *et al.*; 2021).

4.1.3 Número de vagens

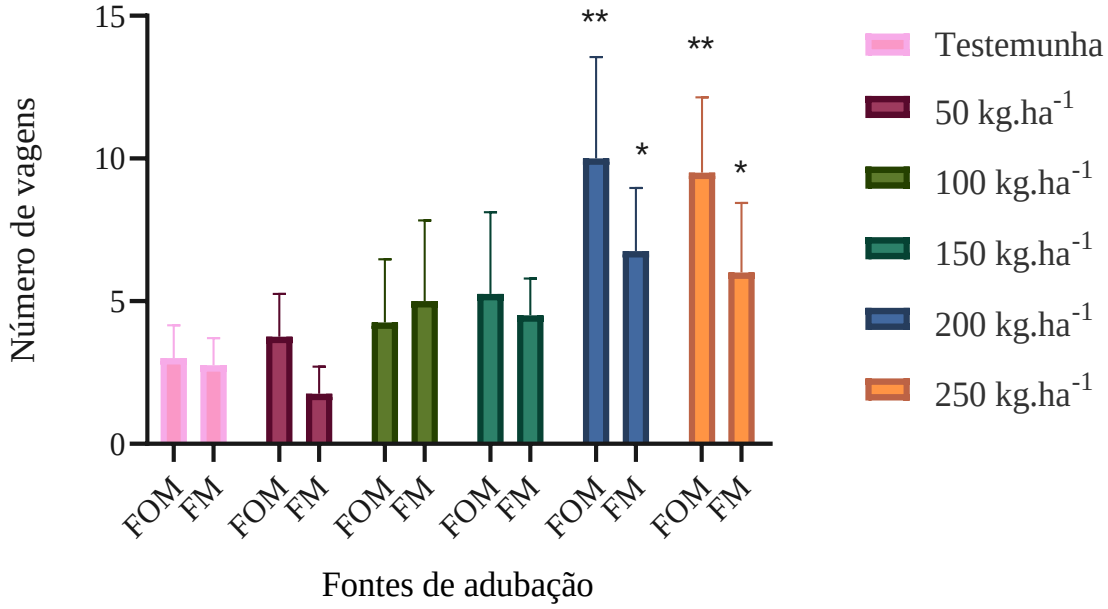
Os dados de número de vagens foram demonstrados no Gráfico 8 a seguir:

Gráfico 8 – Número de vagens de feijão-comum em função das doses de adubação potássica aplicada (kg ha^{-1}) submetido a diferentes doses de adubação organomineral potássica sob estresse hídrico.



Fonte: Autor, (2025)

Gráfico 9 – Médias encontradas de número de vagens de feijão comum submetido a diferentes doses de adubação organomineral potássica sob estresse hídrico



Médias com ** demonstram diferença significativa pelo teste tukey à 0,05% de significância em comparação com as médias mascadas *

(**Fonte:** Autor, 2025)

O potássio é um elemento importante para a translocação dos nutrientes além de afirmam que auxilia na formação de frutos todas as plantas segundo **Taiz & Zeiger** (2017), por isso, a partir do resultado obtido é possível notar que as plantas que receberam maior dose de FOM apresentou maior média quanto ao número de vagens, uma vez que esse potássio liberado no solo contribui para formação de flores. Ele ajuda a regular o crescimento das células e a divisão celular, o que é vital para a formação de novos tecidos florais (Malavolta, 2006).

Os resultados figuram que as doses de 200 e 250 kg ha^{-1} de FOM apresentaram uma média de 10 -12 vagens. A média de número de vagens em feijões sob déficit hídrico pode variar dependendo das condições específicas do estudo, do tipo de feijão e do nível de estresse hídrico aplicado (Jales *et al.*, 2020). No entanto, estudos demonstram que o déficit hídrico tem um impacto significativo na produção de vagens. Por exemplo, a pesquisa realizada por Meira *et al.* (2020) e Brito *et al.* (2015), mostrou que o déficit hídrico afeta negativamente o redimento em diferentes cultivares de feijão, com reduções significativas no número de vagens formadas em condições de estresse hídrico severo, porém, em condições de estresse hídrico moderado, o número de vagens por planta variou entre 5 e 10.

Um estudo de Ghassemi-Golezani *et al.* (2010) observou que o estresse hídrico durante os estágios reprodutivos do feijão pode levar a uma diminuição no número de vagens, encontrando irrigação adequada resultou em uma média de 12 vagens por planta, enquanto sob estresse hídrico, o número caiu para cerca de 7 vagens por planta, resultando em uma redução do rendimento.

Amaral *et al.* (2015) afirmam que a decomposição das frações orgânicas mais estáveis do solo, que são constituídas pelas substâncias húmicas e pelos resíduos parcialmente decompostos, não contribui de forma significativa para o fornecimento de potássio às plantas, porém acredita-se, que esse fornecimento de potássio é enxergado apenas pela perspectiva decrescimento das plantas e não para formação de vagem, já que Malavolta (2006) afirma que o a presença de potássio trócavel no solo está na argila e matéria orgânica decomposta.

Ao estimar a produtividade de feijão, Soumare *et al.* (2023) demonstram que as plantas tratadas com KCl apresentaram um menor potencial produtivo em comparação aos outros tratamentos com fontes de potássio, tal como um fertilizante

organomineral, e ainda ressalta que provavelmente se deve aos níveis ao efeito de salinização causado pela aplicação de KCl.

Quando verificado à soja, Serafim *et al.* (2012) afirma que o potássio apresentou resposta positiva aumentando seu rendimento de grãos, massa de 100 sementes, teor de K no grão e no número de vagens e ainda conclui que com todos esses benefícios produtivos o potássio minimizou os efeitos causados pelo déficit hídrico.

O resultado encontrado é semelhante as informações obtidas no trabalho de Ferreira *et al.* (2021), onde no manejo de adubação para o cultivo de feijão foi utilizado um fertilizante organomineral à base de pescados. É importante ressaltar que, os resultados encontrados dessa variável se dão após a aplicação do estresse hídrico, algo que Brito *et al.* (2015) verificou, onde a produtividade do feijão em diferentes momentos de irrigação pelo potencial de água no solo e verificou que o potencial de – 30 kPa se mostra mais adequado para produção de feijão comparado a outros potenciais tal como, o de -40 kPa. Soares *et al.* (2021), afirmam que doses crescentes de FM potássico quando associadas ao déficit hídrico nas fases de floração e frutificação comprometem o número de vagens.

Nesse mesmo sentido, Cravo, Smyth e Souza (2010), verificaram que a adubação potássica alterou a produtividade de feijão-de-corda em condições de estresse. Corroborando com as respostas encontradas nesta pesquisa.

Por isso, é necessário apontar que que as plantas sob irrigação sem estresse produziram cerca de 18 vagens por planta, comparado com 11 vagens em plantas sob estresse hídrico (Hirich *et al.* 2014), o resultado encontrado dessa pesquisa permite dizer que as doses estudadas do FOM não foram capazes de igualar o padrão produtivo de número de vagens para a cultura do feijão comum, tornando-se 38,89% menos produtivo do que em condições hídricas normais encontrados por Hirich *et al.* (2014).

4.2 Parâmetros fisiológicos

A Tabela 5 a seguir demonstra o resumo da análise de variância dos parâmetros fisiológicos: Assimilação de CO_2, Taxa transpiratória, Condutância estomática e Quenching fotoquímico:

Tabela 5 – Resumo da análise de variância para assimilação de CO_2, Taxa transpiratória, Condutância Estômática e Quenching fotoquímico de feijão submetido à adubação potássica sobre o estresse hídrico

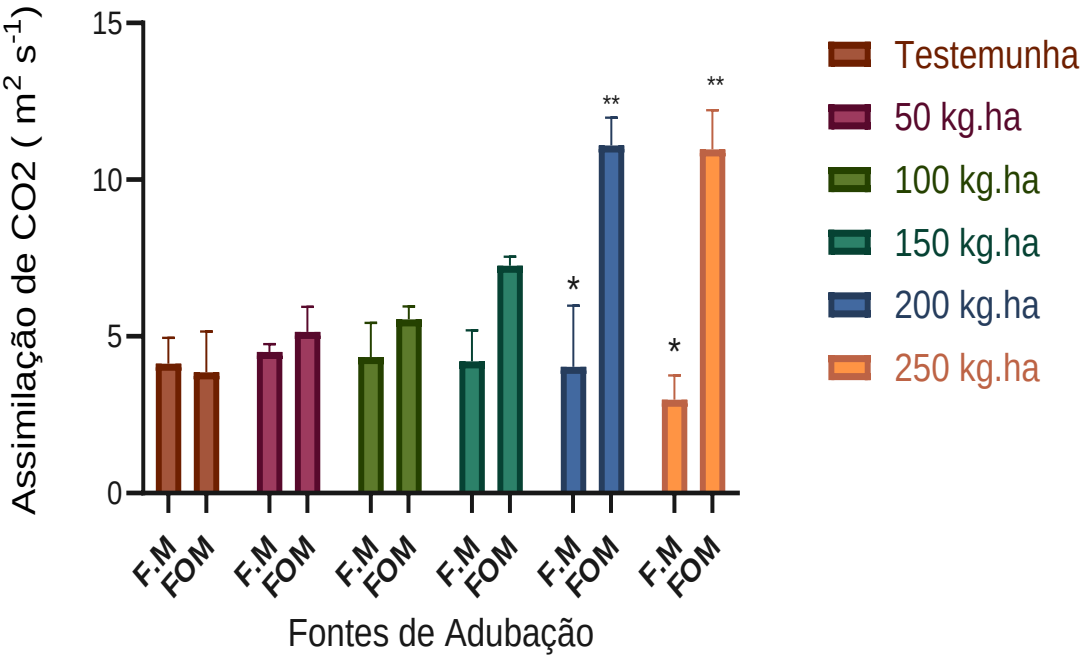
		Soma dos quadrados			
Fonte de Variação	GL	Assimilação de CO_2	Taxa transpiratória	Condutância estomática	Quenching fotoquímico
Dose	11	132,6*	8,8*	0,44*	ns
Fonte	1	181,6*	27,8*	ns	0,31*
Dose* Fonte	11	133,8*	31,51*	ns	ns
Tratamento	23	492,9	72,29	0,99	1,10
Total	47	8,4	24,08	39,04	44,2
CV (%)	-	27,27	15,25	26,0	7,51

GL: Grau de liberdade; CV (%): Coeficiente de variação; *: significativo pelo teste F à 1% de probabilidade.

Fonte: Autor, (2025)

Após o resultado encontrado pela análise de variância, foi realizada uma análise desdobrada utilizando o teste tukey como teste de comparação de médias entre as doses correspondentes (Gráfico 10,12 e 15), e feito uma regressão polinominal quadrática (Gráfico 11, 13 e 14) para as variáveis que apresentaram diferença significativa na interação Fonte x Dose.

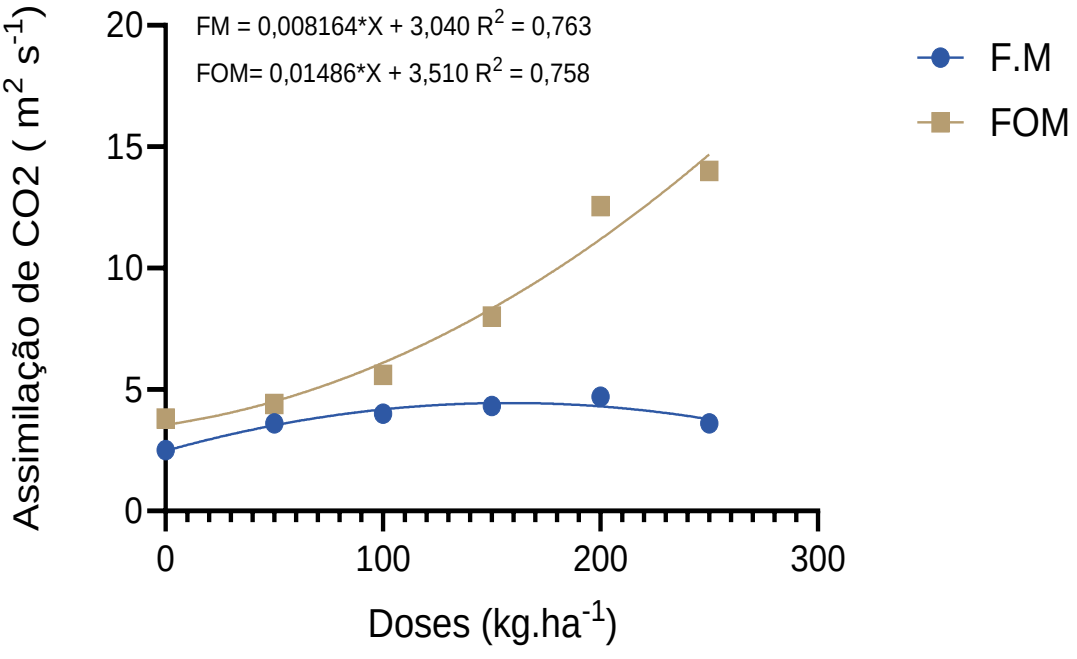
Gráfico 10 – Médias encontradas de Assimilação de CO_2 de feijão comum submetido a diferentes doses de adubação organomineral potássica sob estresse hídrico



Médias com ** demonstram diferença significativa pelo teste tukey à 0,05% de significância em comparação com as médias marcadas *

Fonte: Autor, (2025)

Gráfico 11 – Assimilação de CO_2 de feijão comum submetido em função de doses de adubação organomineral e mineral potássica sob estresse hídrico.



Fonte: O autor, (2025)

Observa-se um aumento na assimilação de CO_2 com o aumento da dose de FOM, de 12,4 µmol CO_2 m^2 s^{-1}para 200 kg ha^{-1} de FOM para 14,05 µmol CO2. CO_2 m^2 s^{-1} para 250 kg ha^{-1} de FOM. Isso indica que o aumento da dose de FOM promove a atividade fotossintética e a fixação de carbono.

Esse incremento na assimilação de CO_2 pode ser atribuído ao impacto positivo que os fertilizantes organominerais têm na disponibilidade de nutrientes essenciais para a planta, o que favorece um crescimento mais robusto e uma maior atividade fotossintética. (Wan *et al.* 2021).

A linha de tendência para FOM mostra uma relação positiva entre a dose de FOM e a assimilação de CO_2. No entanto, mesmo na dose mais alta testada (cerca de 250 kg ha^{-1}), a assimilação de CO_2 está abaixo de 15 CO_2 m^2 s^{-1}.

Estudos comprovam que o potássio ajuda a mitigar os impactos causados fisiológicos causados pelo estresse hídrico, de forma a aumentar a assimilação de CO_2 e consequentemente a taxa fotossintética, uma vez que quanto mais gás carbônico a planta absorve, mais a planta realiza fotossíntese (Ahanger *et al.* 2016; Högy *et al.* 2019; Ibrahim *et al.* 2017).

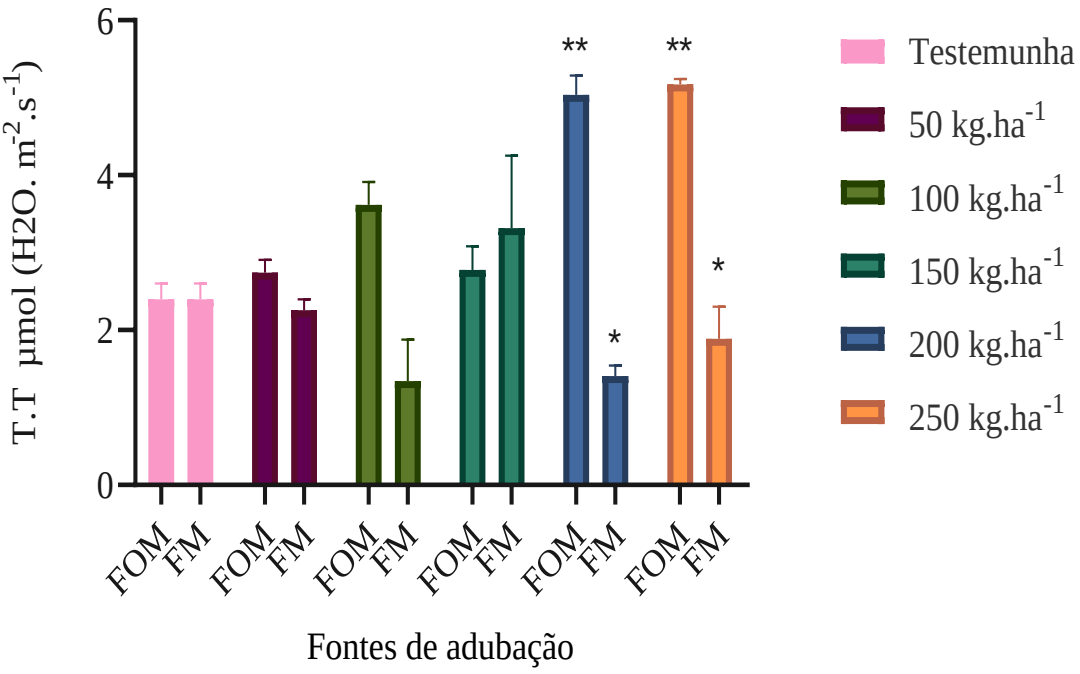
Um estudo realizado por Liu *et al.* (2022) confirma os achados desta pesquisa, pois, os autores demonstraram que a aplicação de um FOM, tanto em baixas quanto em altas doses, aumentou significativamente a assimilação de CO_2 e consequentemente a taxa fotossintética da soja. O resultado desses autores sugere que o FOM promoveu um aumento na assimilação de CO_2 pelas plantas, tornando-as mais eficientes até no uso da água disponível.

Os níveis encontrados de assimilação de CO_2 nas doses de 200 e 250 kg ha^{-1} se encontram na faixa de 12-15 µmol CO_2 $m^2.s^{-1}$, esse resultado corrobora com os resultados publicados por Flowers *et al.* (2007), onde denota os níveis de assimilação de CO_2 entre 8-24 µmol CO_2 $m^2.s^{-1}$ sob condições hídricas ótimas para algumas leguminosas. Já para condições de estresse hídrico o resultado é semelhante ao resultado encontrado por Soureshjani *et al.* (2016) quando verificaram respostas fisiológicas de dois genótipos de feijão.

A decorrência de níveis encontrados de assimilação de CO_2 em cultivos de feijão sob estresse hídrico é discutido por diversos autores. Dutra *et al.* (2015) revela que a baixa variação nos valores de assimilação pode indicar que as lâminas de irrigação de até 80% da ETo foram suficientes para manter um nível hídrico celular similar ao das lâminas sem estresse hídrico, quando comparados variedades de feijão. Isso provavelmente se deve ao fato de que esses níveis de irrigação ajudaram a manter o potencial hídrico das folhas e, consequentemente, a turgescência das células-guarda dos estômatos. Os efeitos causados pelo estresse hídrico podem variar conforme a intensidade do estresse (Lima *et al.* 2010).

Dessa forma, pode-se dizer que a aplicação de FOM nas doses de 200 e 250 kg ha^{-1} conseguiu manter os níveis de fixação de CO_2 similares aos observados em plantas sem estresse hídrico. Os resultados obtidos de assimilação de CO_2 são diretamente proporcionais aos resultados encontrados nos níveis de taxa transpiratória do feijão-comum, demonstrado no Gráfico 12, a seguir:

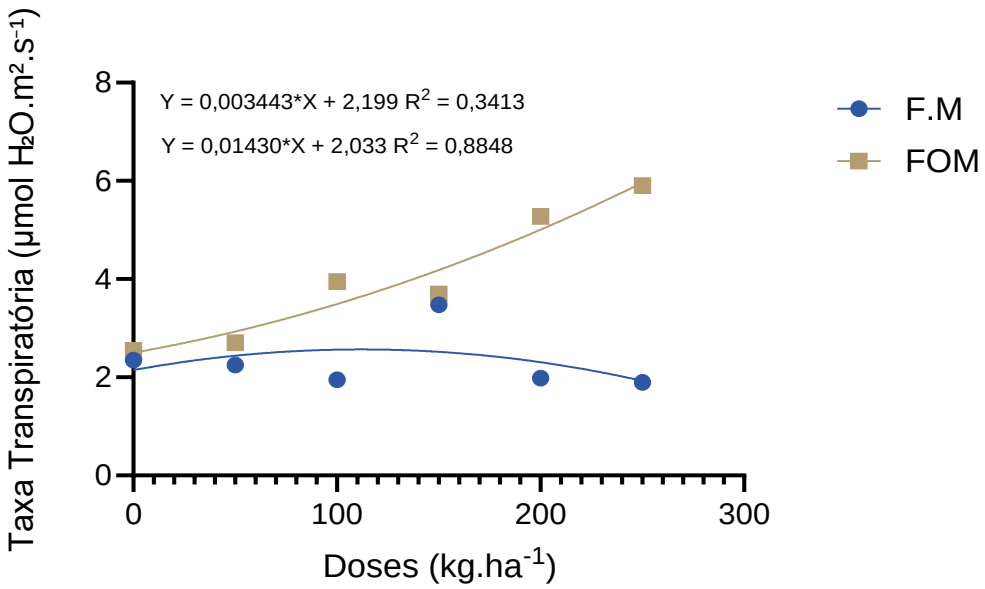
Gráfico 12 – Médias encontradas de taxa transpiratória de feijão comum submetido a diferentes doses de adubação organomineral potássica sob estresse hídrico.



Médias com ** demonstram diferença significativa pelo teste Turkey à 0,05% de significância em comparação com as médias marcadas em *

(**Fonte**: Autor, 2025).

Gráfico 13 – Regressão realizada para taxa transpiratória de feijão comum submetido a diferentes doses de adubação organomineral e mineral potássica sob estresse hídrico.



(**Fonte:** Autor, 2025).

Os resultados obtidos indicam que as doses de FOM de 200 e 250 kg/ha apresentam resultados semelhantes quando comparadas com os outros tratamentos, situando-se em uma faixa de 4-6 µmol $H_2O.m^2.s^{-1}$. Sob condições hídricas ideais, as plantas de feijão mostram uma faixa de 6-8 µmol $H_2O.m^2.s^{-1}$, enquanto que em condições de estresse hídrico moderado, a taxa é de 3-4 µmol $H_2O.m^2.s^{-1}$(Karavidas el al. 2022; Ahmadi *et al.* 2021; Soureshjani *et al.* 2019). Contudo, os resultados da pesquisa mostram que a variável analisada está em uma faixa intermediária.

Observa-se um ligeiro aumento na taxa transpiratória com o aumento da dose de FOM, de 5,56 para 200 kg ha^{-1} de FOM para 5,97 para 250 kg ha^{-1} de FOM. A taxa de transpiração das plantas que receberam 250 kg.ha^{-1} de FOM é 150% maior em comparação com aquelas que receberam 250 kg.ha^{-1} de FM. Isso indica que as plantas estão perdendo mais água através dos estômatos.

. Essa observação está diretamente relacionada aos resultados da assimilação de CO_2, ou seja, quando os estômatos estão mais abertos, a planta transpira mais e também absorve mais CO_2 (Taiz; Zeiger, 2017; Silva *et al.* 2006).

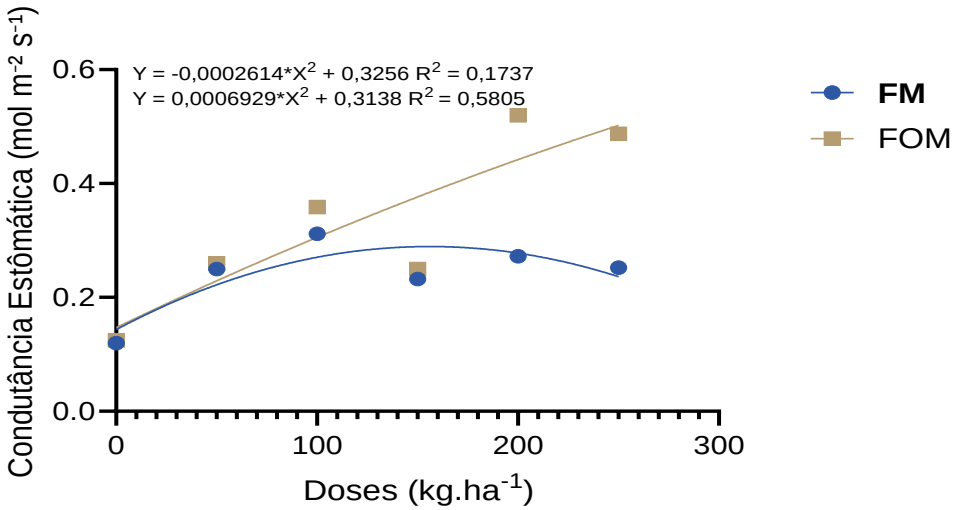
Os resultados de Mathobo *et al.* (2017) mostram que não há diferença significativa na taxa de transpiração do feijão comum quando são usadas diferentes

lâminas de irrigação, porém , nesse caso usando uma mesma lâmina de irrigação foi possível observar uma diferença , atrelado ao uso de fertilizantes diferentes , concordando com Taiz e Zeiger (2007) que afirmam que o manejo nutricional é o método mais viável e econômico para induzir a tolerância à seca no feijoeiro. Isso ocorre porque nutrientes, sejam livres ou integrados a complexos estruturais essenciais, podem regular o potencial osmótico da planta. Pinto *et al.* (2008) afirmam que o aumento na taxa de transpiração está diretamente relacionado ao aumento da condutância estomática.

Além disso, Machado *et al.* (2005) destacam que uma menor abertura dos estômatos resulta em uma redução da transpiração, o que leva a um aumento da temperatura das folhas. Santos *et al.* (2014) observaram uma redução significativa na taxa transpiratória do milho, sorgo e braquiária sob condições de déficit hídrico. A redução foi mais acentuada no milho, indicando sua maior sensibilidade à seca. A braquiária, por sua vez, apresentou a menor redução na taxa transpiratória, sugerindo maior capacidade de adaptação ao estresse hídrico.

É informado que potássio desempenha um papel crucial na regulação da abertura estomática quando se têm o estresse hídrico em feijão (Prazeres *et al.*, (2015). Por isso, foi verificado que houve diferença significativa entre as doses, descritos no Gráfico 14 a seguir:

Gráfico 14 – Condutância estomática em função da dose de adubação potássica aplicada em feijão comum submetido a diferentes doses de adubação organomineral potássica sob estresse hídrico



(**Fonte:** Autor, 2025).

Os resultados demonstram que a condutância estomática seguiu a mesma tendência encontrados anteriormente de taxa transpiratória e assimilação de CO_2. As plantas com doses de 200 e 250 kg ha^{-1} do fertilizante encontraram valores médios entre 0,6 e 0,5 mol m^{-2} s^{-1}, respectivamente. O FOM pode ser mais eficaz para aumentar a condutância estomática e, consequentemente, a fotossíntese e o crescimento das plantas.

O estresse hídrico causa uma redução significativa na condutância estomática, como mecanismo de defesa da planta para evitar a perda excessiva de água por transpiração (Taiz et al, 2017). Estudos destacam que a condutância estomática em feijão sob condições hídricas normais e adequadas apresentam valores de 0,2, 0,5 e 0,6 mol m^{-2} s^{-1} (Fang *et al.* 2023; Asênsio *et al.* 2020). Prazeres *et al.* (2015) aponta que combinação de altas doses de potássio com irrigação intensifica o efeito negativo na condutância estomática apontando um valor médio de 0,085 mol $m^{-2}s^{-1}$ e 0,131 mol $m^{-2}s^{-1}$ utilizando duas cultivares distintas de feijão, valores esse que são similares aos encontrados nas menores doses de tratamento dessa pesquisa.

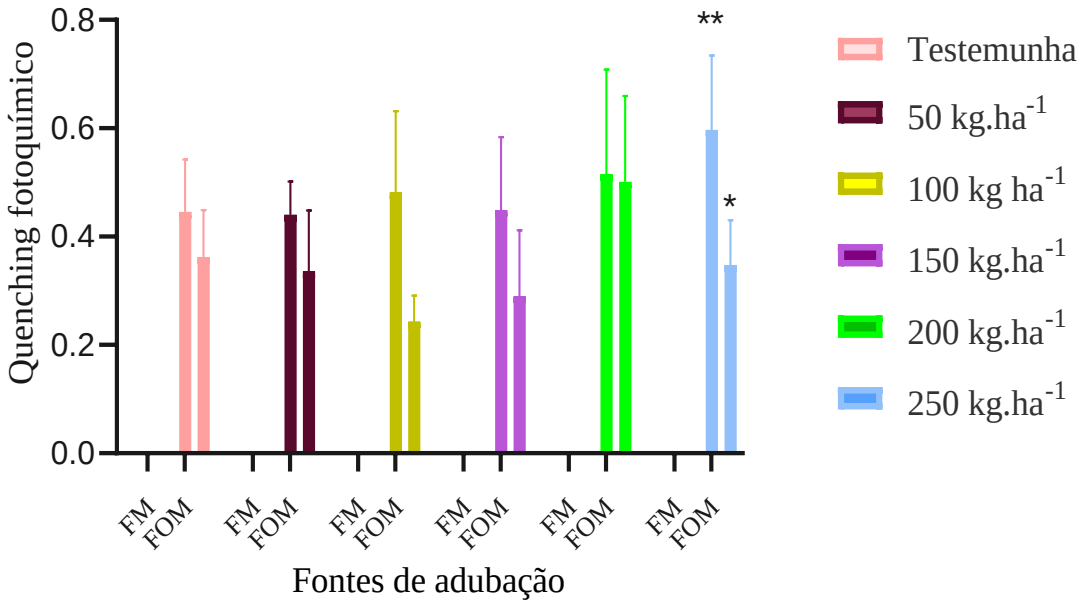
O resultado encontrado nessa pesquisa é corroborado por Fang *et al.* (2023) que afirmam que a fertilização com potássio aumenta a condutância estomática em feijão sob estresse hídrico. Souza *et al.* (2011) aponta que plantas de feijão-caupi submetidas a condições de salinidade apresentaram uma diminuição na capacidade de absorver carbono, os autores afirmam que essa redução foi atribuída à menor abertura dos estômatos, um fenômeno também verificado no presente estudo.

Os resultados indicam que as doses mais elevadas de potássio aplicadas nos tratamentos foram eficazes em manter os estômatos das plantas abertos por períodos mais longos. Isso permitiu um maior ingresso de dióxido de carbono (CO2), essencial para a fotossíntese, e consequentemente elevou a taxa de transpiração. Essa resposta foi particularmente pronunciada nos tratamentos com FOM, os quais se mostraram mais eficientes em ajustar as trocas gasosas das plantas às condições de estresse hídrico, aproximando-as dos valores considerados como padrão.

A pesquisa direta por artigos que combinem especificamente o quenching fotoquímico em feijão e outras leguminosas, estresse hídrico e doses variadas de potássio ainda é limitada.

O quenching fotoquímico (qP) atua como uma válvula de segurança, dissipando essa energia extra na forma de calor durante o processo da fotossíntese (Taiz *et al.* 2017). No Gráfico 15, é possível observar as respotas das plantas em relação à essa variável.

Gráfico 15 – Médias encontradas de Quenching fotoquímico de feijão comum submetido a diferentes doses de adubação organomineral potássica sob estresse hídrico.



Médias com ** demonstram diferença significativa pelo teste Turkey à 0,05% de significância em comparação com as médias marcadas em * .

(**Fonte:** Autor, 2025).

Os resultados mostram que apenas houve diferença signficativa na dose de 250 kg ha^{-1} FOM, isso indica que as plantas responderam de maneira diferente ao estresse em comparação com a dose de 250 kg ha^{-1} de FM, dissipando o excesso de energia luminosa de forma distinta. Silva et al (2021) apresentou o mesma discussão na sua pesquisa utilizando 3 variedades distintas de feijão-caupi, ressaltando os índices encontrados como forma de proteção das plantas.

No estudo de Macedo (2016), o quenching não fotoquímico (NPQ) aumentou com a intensificação do estresse hídrico em dois cultivares de feijão comum (Ouro Negro e Diplomata). O cultivar Ouro Negro apresentou valores de NPQ mais altos que o Diplomata, indicando maior dissipação de energia na forma de calor e, portanto, maior estresse. No entanto, após a reidratação, os valores de NPQ diminuíram em ambos os cultivares, sugerindo recuperação das plantas. O cultivar Diplomata

apresentou menor variação nos valores de Fv/Fm entre o dia e a noite, indicando maior capacidade de reverter os danos da fotoinibição.

Silva *et al.* (2006) investigaram a eficiência fotoquímica de gramíneas forrageiras tropicais submetidas à deficiência hídrica. O estudo avaliou as variáveis de fluorescência da clorofila, incluindo o quenching não fotoquímico (qN), em quatro espécies de gramíneas. Os resultados mostraram que o capim-do-nilo e o capim-setária foram mais suscetíveis ao déficit hídrico, apresentando redução nos valores de qN, o que indica danos ao aparelho fotossintético. Por outro lado, o capim-hemárthria e o capim-angola mantiveram valores de qN elevados, sugerindo uma regulação fotoprotetora eficiente.

Santos *et al.* (2014) avaliaram o desempenho ecofisiológico de milho, sorgo e braquiária sob condições de déficit hídrico. O estudo demonstrou que o milho foi a espécie mais sensível à seca, apresentando a maior redução no potencial hídrico foliar, condutância estomática e fotossíntese. A braquiária, por sua vez, foi a espécie que melhor manteve o conteúdo hídrico foliar, apesar da redução da umidade do solo. O quenching fotoquímico (qP) do milho reduziu 54% no período da tarde, indicando sensibilidade ao déficit hídrico. As plantas de sorgo e braquiária mostraram maior plasticidade na parte fotoquímica, não apresentando diferenças significativas entre o controle e o tratamento de estresse hídrico em nenhuma variável de fluorescência da clorofila no período da tarde.

5 CONCLUSÕES

A aplicação de FOM pode representar uma alternativa viável para aumentar a produtividade agrícola.

Ao comparar as doses de 200 e 250 kg ha^{-1} com as demais doses, observou-se um incremento significativo na massa verde e seca das plantas, indicando maior vigor e desenvolvimento vegetativo. A área foliar também apresentou valores superiores nesses tratamentos, o que sugere uma maior capacidade de interceptação de luz e realização da fotossíntese. Além disso, o número de vagens por planta foi maior nas doses mais elevadas, demonstrando um aumento na produção e no potencial de grãos. Esses resultados indicam que as doses de 200 e 250 kg ha^{-1} do fertilizante organomineral otimizaram o crescimento e desenvolvimento das plantas, refletindo em maior produtividade.

Para os dados de fisiologia a assimilação de CO_2, taxa transpiratória, e condutância estomática aumentaram linearmente com o incremento da dose de FOM para as doses de 200 e 250 kg ha^{-1}, respectivamente em comparação ao uso de FM. Essa resposta sugere que a aplicação de FOM no estresse hídrico pode ser uma estratégia eficaz para promover o desempenho fisiológico vegetal mais adequado,

As diferentes fontes de adubo apresentam efeitos distintos sobre o quenching fotoquímico. Isso sugere que a escolha da fonte de adubo pode influenciar a capacidade das plantas em lidar com o estresse oxidativo.

A dose que mais atendeu os padrões agronômicos e fisiológicos foi a dose de 200 kg.ha $^{-1}$ de FOM .No entanto, a adoção dessa prática em larga escala requer a realização de estudos complementares que avaliem a viabilidade econômica e ambiental da aplicação de FOM em diferentes sistemas de produção. Além disso, é fundamental investigar os mecanismos fisiológicos subjacentes às respostas observadas neste estudo, a fim de otimizar o uso da FOM e maximizar seus benefícios para a agricultura.

REFERÊNCIAS

ABDELRAHMAN, Mohamed AE; METWALY, Mohamed M.; SHALABY, Adel. Quantitative assessment of soil saline degradation using remote sensing indices in Siwa Oasis. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, Amsterdam. v. 13, p. 53-60, 2019

ABREU JUNIOR, C. H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A. F.; ALVAREZ V., F. C.Condutividade elétrica, reação do solo e acidezpotencial em solos adubados com composto delixo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v.24, n. 3, p.635-647, 2000.

ACKSON, Daniel, SIEGLE, Laura and SCOGGINS, Holly L. **Irrigation considerations for commercial hop producers**. Virgínia Tech. 2019.

AHANGER, Mohammad, ABASS Morad-Talab, N., ABD-ALLAH, E. F., Ahmad, P., & HAJIBOLAND, R. Plant growth under drought stress: Significance of mineral nutrients. **Water stress and crop plants: a sustainable approach**, Jammu and Kashmir, Índia, v. 2, p. 649-668, 2016.

ALBUQUERQUE, Alciênia Silva; DOS SANTOS, Rivaldo Vital; FONSÊCA, Nathan Castro. Atributos químicos de um solo salino sob efeito de composto organomineral. **Revista Ambientale**, Alagoas, Brasil, v. 10, n. 1, p. 10-17, 2018.

AMARAL, Aurelino Matos, MOURA, Adriano dos Santos. **Potássio e micronutrientes sob crescimento e produtividade de feijão caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp) no município de Paragominas-PA**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA, Paragominas - PA 2015.

ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; ALEXANDRE, D. M. B.; PALÁCIO, H. A. Q.; LIMA, C. A. Investigação de mudanças do status salino do solo pelo emprego de análise multivariada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 2011.

ASENSIO, Verónica, DOMEC, J. C., NOUVELLON, Y., LACLAU, J. P., BOUILLET, J. P., JORDAN-MEILLE, L., ... & ABREU-JUNIOR, C. H. Potassium fertilization increases hydraulic redistribution and water use efficiency for stemwood production in Eucalyptus grandis plantations. **Environmental and Experimental Botany**, Piracicaba – SP, v. 176, p. 104085, 2020.

ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C.; Photosynthesis under stressful environments: An overview. **Photosynthetica**, República Tcheca, v. 2, p. 163-190, 2013.

AZEVEDO, L. C DE.; OLIVEIRA, A. C DE., MARTINS, I. C. S.., SILVA, V. L. Salinidade do solo em ambiente protegido. Em Campo Digit@l: **Rev. Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias,** Campo Mourão, v. 13, n. 1, p.52-69, jul./dez 2018.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.L.. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 2022.

BAJJI, Mohammed; LUTTS, Stanley; KINET, Jean-Marie. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (Triticum durum Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. **Plant Science**, Países Baixos, Amsterdã, v. 160, n. 4, p. 669-681, 2001.

BARBOSA, Flávia Rabelo *et al.* **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira**: Goiás- Go, 2012-2014.

BARRA N-F, J., Palmeira Gabetto, F., MUNIZ de Araujo, A. C., de CASTRo Dias, R. Combining biosolid and mineral sources of phosphorus and potassium in organomineral fertilizers influences the dynamics and efficiency of nutrient release. **Environmental Geochemistry and Health**, Gainesville, Flórida, v. 45, n. 7, p. 4965-4978, 2023.

BASAK, B. B.; SARKAR, B.; BISWAS, D. R.; SARKAR, S.; SANDERSON, P.; NAIDU, R.. Chapter Three - Bio-intervention of naturally occurring silicate minerals for alternative source of potassium: challenges and opportunities. Eds: SPARKS, D.L., In: **Advances in Agronomy, Academic Press**, Cambridge, Massachusetts, EUA.v. 141, 2017.

BERGAMASCHI, H. *et al.* Deficiência hídrica em feijoeiro. III. Evapotranspiração máxima e relação com a evapotranspiração calculada pelo método de Penman e com a evaporação do tanque "Classe A". **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 24, n. 4, p. 387-392**, out./dez. 1989.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** 8. ed. Viçosa: UFV, 2008.

BITTENCOURT, Mauricio Vaz Lobo. Impactos da agricultura no meio-ambiente: Principais tendências e desafios (Parte 1). **Revista Economia & Tecnologia**, Curitiba, Paraná, v. 5, n. 3, 2009.

BITTENCOURT, V. C., STRINI, A. C., CESARIM, L. G., & Souza, S. R. Torta de filtro enriquecida. **Revista Idea News**, São Paulo – SP. v. 6, n. 63, p. 2-6, 2006.

BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J.; CABRAL, C. E. A.; GONÇALVES, J. M.;PEREIRA, M. T. J. Produção e morfologia da leguminosa java submetida à adubação fosfatada. **Enciclopédia Biosfera**, Glendale
CA. v. 7, p. 1-10, 2011.

BRAGA, Marcos Brandão; CALGARO, M. Uso da tensiometria no manejo da irrigação. **Embrapa Semiárido. Documentos**, Petrolina – PE, v. 235, 2010.

BRITO, R. R., GRASSI FILHO, H., SAAD, J. C. C., OLIVEIRA, S. R. M., & RIBEIRO, P. H. P.. Níveis de depleção e potencial matricial do solo de textura média na

produtividade do feijoeiro. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, Lavras – MG, v. 9, n. 5, p. 300-309, 2015.

CÂNDIDO, A. de O. TOMAZ, M. A., SOUZA, A. L. D., AMARAL, J. F. T. D., & RANGEL, O. J. P. Fertilizantes organominerais no desenvolvimento inicial do cafeeiro arábica In: Anais... **VIII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil 24 – 28**. Lavras, Minas Gerais: R.B.R.A.S., 333 p. 2013

CARVALHO, Erika de Oliveira Teixeira *et al.* índice de estresse hídrico do feijão-caupi em diferentes disponibilidades hídricas em castanhal-pa. **Revista Caatinga**, Mossoró – RN, v. 35, n. 3, p. 711-721, 2022.

CASTRO , Ricardo Dias, COSTA, D. L. P., de OLIVEIRA VIEIRA, I. C., FERREIRA, B. G., & NUNES, H. G. G. C. Acúmulo de biomassa e potássio em gramíneas em função da fonte fertilizante e do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 33506-33518, 2020.

CATUCHI, Tiago Aranda, GUIDORIZZI, F. V. C., GUIDORIZI, K. A., BARBOSA, A. D. M., & SOUZA, G. M. Respostas fisiológicas de cultivares de soja à adubação potássica sob diferentes regimes hídricos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 47, p. 519-527, 2012.

CAVALCANTE, Valéria Santos, BORGES, L. S., de MELO MOURA, W., JACOB, L. L., & de FREITAS, M. A. S. Adubação organomineral na nutrição e produtividade de café arábica. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 1, 2020

COELHO, José, BARROS, M. D. F., BEZERRA NETO, E., & CORREA, M. M. Comportamento hídrico e crescimento do feijão vigna cultivado em solos salinizados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande -PB, v. 17, p. 379-385, 2013.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 11, safra 2023/24, n. 5 quinto levantamento**, fevereiro 2024.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Boletim da Sociobiodiversidade, Brasília, DF, v. 7, n. 1, maio 2023 CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim da Sociobiodiversidade**, Brasília, DF, v. 7, n. 1, maio 2023.

COSTA, Adriana Monteiro da, BORGES, E. N., SILVA, A. D. A., NOLLA, A., & GUIMARÃES, E. C. Potencial de recuperação física de um Latossolo Vermelho, sob pastagem degradada, influenciado pela aplicação de cama de frango. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras – MG, v. 33, p. 1991-1998, 2009.

CRAVO, M. S.; SMYTH, T. J.; SOUZA, B. D. L. Nível crítico de potássio para feijão-caupi em latossolo amarelo textura média do Nordeste paraense, . In: **congresso nacional de feijão – caupi, 1.; reunião nacional de feijão-caupi**, Brasília – DF, 6., 2006,.

CUNHA, Fernanda Leite, NIERI, E. M., dos SANTOS, J. A., de ALMEIDA, R. S., de MELO, L. A., & VENTURIN, N. Uso dos adubos de liberação lenta no setor florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Brasília – DF, v. 41, 2021.

CUNHA, Paulo CR, SILVEIRA, P. M. D., NASCIMENTO, J. L. D., & ALVES JÚNIOR, J.. Manejo da irrigação no feijoeiro cultivado em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v. 17, p. 735-742, 2013.

DANTAS JÚNIOR, Marcelo de Oliveira. Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento para a cultura do feijão-cupi. 2023. 27f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia), Curso de Engenharia de Biossistemas, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido**, Universidade Federal de Campina Grande - Sumé - Paraíba - Brasil, 2023.

DUTRA, Alexson Filgueiras, MELO, A. S., FILGUEIRAS, L. M. B., da SILVA, Á. R. F., de OLIVEIRA, I. M., & BRITO, M. E. B. Parâmetros fisiológicos e componentes de produção de feijão-caupi cultivado sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife – PE, v. 10, n. 2, p. 189-197, 2015.

EICHOLZ, E. D. **Informações técnicas para o cultivo do milho e sorgo na região subtropical do Brasil**: safras 2019/20 e 2020/21. Brasília, DF. 2020

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Dados de conjuntura da produção de feijão-comum (Phaseolus vulgaris L.) e caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp) no Brasil (1985 a 2018).** Santo Antônio de Goiás, GO. Disponível em:http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm. Acesso em: 15 de Jan. 2024.

FANG, Sheng, YANG, H., DUAN, L., SHI, J., & GUO, L. Potassium fertilizer improves drought stress alleviation potential in sesame by enhancing photosynthesis and hormonal regulation. **Plant Physiology and Biochemistry**, Amsterdã. v. 200, p. 107744, 2023.

FARIA, R. T. de; FOLEGATTI, M. V.; OLIVEIRA, D. de. Crescimento e desenvolvimento do feijoeiro sob diferentes regimes térmicos e hídricos. In: **congresso brasileiro deagrometeorologia**, 10., 1997, Piracicaba. Anais... Piracicaba: Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1997.

FELIPPE, Dionéia, NAVROSKI, Marcio Carlos, AGUIAR, Natália Saudade de, PEREIRA, Mariane de Oliveira, MORAES, Carolina, & AMARAL, Milena I. Crescimento, sobrevivência e trocas gasosas de mudas de Eucalyptus dunnii Maiden submetidas a regimes de irrigação e aplicação de hidrogel. **Revista Forestal Mesoamericana Kurú**, Brasília – DF, v. 17, n. 40, p. 11-20, 2020.

FERNANDES, Dirceu Maximino; GROHSKOPF, Marco André; GOMES, Edilson Ramos; FERREIRA, Natália Rodrigues; BULL, Leonardo Teodoro. Fósforo na solução do solo em resposta à aplicação de fertilizantes fluidos mineral e organomineral. **Irriga**, Botucatu – SP. *[S. l.]*, v. 1, n. 1, p. 14–27, 2015

FERREIRA, Ester Alice, SILVA, V. A., SILVA, E. A., & SILVEIRA, H. D. R. O. Eficiência do hidrogel e respostas fisiológicas de mudas de cultivares apirênicas de citros sob défice hídrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia – GO. v. 44, p. 158-165, 2014.

FERREIRA, Juliana Gomes; SILVA, Nilton Alves; VENTUROSO, Luciano Reis. USO DO FERTILIZANTE ORGANOMINERAL (FERTPEIXE) PARA ADUBAÇÃO DO FEIJÃO. **Saber Científico (1982-792X)**, Cacoal _ RO, v. 9, n. 1, p. 112-120, 2021.

FERREIRA, Laura Dias, CONCEIÇÃO, C. G., PARIZI, A. R. C., ARCE, L. M., & GAUTERIO, G. R. Produção do feijão-vagem submetido a diferentes tensões de água no solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza – CE, v. 13, n. 1, p. 3180, 2019.

FIGUEIREDO, Sara Monteiro. Influência de Bioestimulantes de Base Natural e do Stress Hídrico no Perfil Químico e Bioativo da Vagem de Feijão Phaseolus Vulgaris L. cv." Rainha Roxa". **MS thesis**. Instituto Politecnico de Braganca (Portugal), 2021.

FLOWERS, Michael D. *et al.* Photosynthesis, chlorophyll fluorescence, and yield of snap bean (Phaseolus vulgaris L.) genotypes differing in sensitivity to ozone. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdã, v. 61, n. 2, p. 190-198, 2007.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; NOGUEIRA, M. S. R.; RODRIGUES, E. V. **Feijão-caupi no Brasil: produção,melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011.

FRIZZONE, José Antônio; MELO, Verônica Gaspar Martins Leite de. Produtividade da água na agricultura irrigada. **Agricultura irrigada no Brasil: ciência e tecnologia**, p. 397: il, 2022.

GHASSEMI-GOLEZANI, Kazem; Zafarani-Moattar, P., Raey, Y., & Mohammadi, A.. Response of pinto bean cultivars to water deficit at reproductive stages. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, Helsinque, Finlândia, v. 8, n. 2, p. 801-804, 2010.

GOMES, Amanda Neves Araujo, F. G., da Silva Silvano, L., Rodrigues, M. F., & de Oliveira Silvano, Z. Sistema de irrigação localizada automatizada. **Revista Mythos**, v. 12, n. 2, p. 94-101, 2019

HIRICH, A.; CHOUKR-ALLAH, R.; JELLALI, S.; *et al.* Assessment of treated wastewater impacts on the growth, physiology, yield, and quality of maize and common bean in Morocco. ***Agricultural Water Management***, Amsterdã, v. 134, p. 120-127, 2014.

HÖGY, Petra *et al.* Heat, wheat and CO2: The relevance of timing and the mode of temperature stress on biomass and yield. **Journal of Agronomy and Crop Science**,Weinheim - Alemanha v. 205, n. 6, p. 608-615, 2019.

IBRAHIM, Seham Abdelaal; DESOKY, Elsayed; ELRYS, Ahmed Salah. Influencing of water stress and micronutrients on physio-chemical attributes, yield and anatomical

features of Common Bean plants (Phaseolus vulgaris L.). **Egyptian Journal of Agronomy**, Cairo, Egito. v. 39, n. 3, p. 251-265, 2017.

JÁCOME, A. G.; OLIVEIRA, R. H.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; SOUZA, A. P.; GONÇALVES, A. C. A. Crescimento de genótipos de algodoeiro em função da salinidade da água de irrigação. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá – PR, v.5, n.2, p.305-313, 2003.

JADOSKI, Cleber Junior; RODRIGUES, João Domingos; SORATTO, Rogério Peres; DOS SANTOS, Claudiana Moura; RIBEIRO, Essione. Ação fisiológica da piraclostrobina na assimilação de co2 e enzimas antioxidantes em plantas de feijão condicionado em diferentes tensões de água no solo. **IRRIGA**, *[S. l.]*, Botucatu – SP, v. 20, n. 2, p. 319–333, 2015. DOI: 10.15809/irriga.2015v20n2p319

JALES FILHO, Renato C. *et al.* Ácido salicílico e prolina modulam tolerância ao estresse hídrico em variedade tradicional de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v. 27, p. 18-25, 2022.

KARAVIDAS, Ioannis *et al.* Agronomic practices to increase the yield and quality of common bean (Phaseolus vulgaris L.): a systematic review. **Agronomy**, Basel – Suiça, v. 12, n. 2, p. 271, 2022.

KISEKKA, I. *et al.* Incertezas na avaliação da lixiviação em campos microirrigados usando abordagem de balanço hídrico. **Agricultural Water Management**, Amsterdã, 213: 107-115, 2019.

KLEIN, Claudia; KLEIN, Vilson Antonio. Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria – RS. p. 21-29, 2015.

KLOPP, H.W.; ARRIAGA, F.J.; LIKOS, W.J.; E BLEAM, W.F. Atterberg limita e a capacidade de contração / expansão do solo como indicadores da sensibilidade ao sódio em um gradiente de porcentagem e salinidade trocáveis de sódio no solo. **Geoderma**, Amsterdã, 2019.

LIMA, Michella de Albuquerque *et al.* Trocas gasosas em folhas de sol e sombreadas de cajueiro anão em diferentes regimes hídricos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza – CE, v. 41, p. 654-663, 2010.

LIU, Ming *et al.* Effects of biochar with inorganic and organic fertilizers on agronomic traits and nutrient absorption of soybean and fertility and microbes in purple soil. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, Suiça, v. 13, p. 871021, 2022.

MACEDO, David Cabral. **Respostas do Feijoeiro comum ao déficit hídrico**. 2016. 37 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia, Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ, 2016

MACHADO, Eduardo Caruso *et al.* Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasíla – DF, v. 40, p. 1161-1170, 2005.

MAGALHÃES, Clarissa Lima *et al.* Irrigação com água salina e uso de biofertilizante bovinono crescimento e nas trocas gasosas de feijão-de-corda. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Sobral – CE, v. 16, n. 2, p. 131-136, 2021;

MALAVOLTA, E. Sintomas visuais de deficiência e excesso. In: MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MASSIGNAM, *et al.* Ecofisiologia do feijoeiro. I – Determinação do período crítico àdeficiência hídrica do solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria - RS, v. 6, n. 1,p. 35-39, jan./jun. 1998.

MATHOBO, Rudzani; MARAIS, Diana; STEYN, Joachim Martin. The effect of drought stress on yield, leaf gaseous exchange and chlorophyll fluorescence of dry beans (Phaseolus vulgaris L.). **Agricultural Water Management**, Amsterdã, v. 180, p. 118-125, 2017.

MEDEIROS, J. F.; *et al.* Crescimento do meloeiro cultivado sob diferentes níveis de salinidade, com e sem coberturado solo. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, v.11, n. 3, p. 248-255, 2007.

MEDEIROS, Thâmara Laysse Freitas *et al.* **Estresse hídrico nas fases fenológicas do feijão vigna sob níveis de potássio.** 2020.

MEGDA, Michele Xavier Vieira *et al.* Chloride ion as nitrification inhibitor and its biocidal potential in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdã, v. 72, p. 84-87, 2014.

MEIRA, Ariana Lisboa *et al.* Parâmetros genéticos na seleção de feijão-caupi sob estresse hídrico em cultivo protegido. **Acta Iguazu**, Cascavel - PR, v. 9, n. 2, p. 81-98, 2020.

MENDES, Walter da C. *et al.* Potassium leaching in different soils as a function of irrigation depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, p. 972-977, 2016

MOLIN, José P.; RABELLO, Ladislau M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal **–** SP. 2011.

MORAIS, H.; MARUR, C. J.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES,J. C. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília – DF, v. 38, p. 35-40, 2003.

MOREIRA, L. C. J.; TEIXEIRA, A dos S.; GALVÃO, L.S.; LEÃO, R. A. de O.; ROCHA NETO, O.C. da. Identificação de problemas de salinidade do solo utilizando técnicas

de sensoriamento remoto. In: **GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S**.; Claudivan Feitosa de LACERDA, C, F. de.; GOMES FILHO, E. Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2016.

MOREIRA, Rômulo Carantino Lucena *et al.* **Crescimento, trocas gasosas e produtividade de genótipos de feijão-caupi sob lâminas de irrigação**. 2015
NASCIMENTO, Marisa; LOUREIRO, Francisco Eduardo Lapido. Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas. 2004.

OLIVEIRA, Fernanda Campos de. **Avaliação da interação entre o persulfato de potássio com solos brasileiros para a utilização da tecnologia de remediação por oxidação química in situ**. 2015.

OURIVES, Ornã Enisson Almeida *et al.* Fertilizante orgânico como fonte de fósforo no cultivo inicial de Brachiaria brizantha cv. Marandú. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 126-132, 2010

PAULA, Giovanni Silva *et al.* Desempenho de genótipos de feijão sob sistema de produção orgânico. **Cadernos de Agroecologia**, Seropédica, v. 15, n. 2, 2020.

PEDROSO, T. Q.; Scalco, M. S.; Carvalho, M. L. M. de; Resende, C. A. de; Otoni, R. Qualidade de sementes de cafeeiro produzidas em diferentes densidades de plantio e regimes hídricos. **Coffee Science**, Lavras, v. 4, p. 155-164, 2009.

PEREIRA FILHO, João Valdenor *et al.* ALTERAÇÃO QUÍMICA DO SOLO CULTIVADO COM FEIJÃO-CAUPI SOB SALINIDADE E DÉFICIT HÍDRICO. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Mossoró, v. 11, n. 8, p. 2206, 2017.

PEREIRA, Antonio Clareti; DOS SANTOS GOMES, Marta Rocha. BIOTITA E FLOGOPITA COMO FONTE ALTERNATIVA DE POTÁSSIO PARA FERTILIZANTE: EXTRAÇÃO HIDROMETALÚRGICA. **Geosciences= Geociências**, Rio Claro, v. 40, n. 3, p. 781-786, 2021.
PEREIRA, João Batista Alves. Manual prático de irrigação. **Disponıvel em: www. espacodoagricultor. rj. gov. br/pdf/irrigacao/manualpraticodeirrigacao. pdf, acessado em**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 05, p. 2016, 2014.

PEREIRA, Rennan Fernandes *et al.* Crescimento e rendimento de feijão vigna submetido à adubação orgânica. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 8, n. 3, p. 91-96, 2013.

PIMENTEL-GOMES, Frederico. **Curso de estatística experimental**. Digitaliza Conteúdo, Piracicaba, 2023.

PINTO, Ciro *et al.* Crescimento, distribuição do sistema radicular em amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 3, p. 429-436, 2008.

POHLMANN, Valeria *et al.* **Foliar silicon in tolerance to water deficit in beans**. 2022.

POSSE, Sheila Cristina Prucoli *et al.* Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na região central-brasileira: 2009-2011. Santo Antônio de Goiás, 2010.

PRAZERES, S. S. *et al.* Crescimento e nodulação de plantas de feijão-de-corda sob irrigação salina e adubação potássica. In: **II INOVAGRI International Meeting, Fortaleza–CE**. 2014.

PRAZERES, Stella Silva *et al.* Crescimento e trocas gasosas de plantas de feijão-caupi sob irrigação salina e doses de potássio. **Revista Agro@ mbiente On-line**, Boa Vista, v. 9, n. 2, p. 111-118, 2015.

RODRIGUES, Cleber Millani *et al.* Irrigação localizada na cultura do feijoeiro na depressão central-RS. Santa Maria, 2009.

ROSOLEM, Ciro A. *et al.* Potassium fertilisation with humic acid coated KCl in a sandy clay loam tropical soil. **Soil Research**, Clayton, Austrália, v. 56, n. 3, p. 244-251, 2017.

ROSSINI, Francesco *et al.* Hops (Humulus lupulus L.) as a novel multipurpose crop for the Mediterranean region of Europe: Challenges and opportunities of their cultivation. **Agriculture**, Basileia – Suíça, v. 11, n. 6, p. 484, 2021.

SANTANA, Márcio José de *et al.* Efeito da irrigação com água salina em um solo cultivado com o feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, p. 443-450, 2003.

SANTOS, Jenifer Kelly Ferreira *et al.* Acúmulo de matéria seca e nutrientes pelo milho cultivado sob doses de formulados npk mineral e organomineral. **Research, Society and Development**, São Paulo, v. 10, n. 5, p. e35010515126-e35010515126, 2021.

SANTOS, Orlando Oliveira *et al.* Desempenho ecofisiológico de milho, sorgo e braquiária sob déficit hídrico e reidratação. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 2, p.203-212, 2014.

SERAFIM, Milson Evaldo *et al.* Umidade do solo e doses de potássio na cultura da soja. **Revista Ciência Agronômica**, São Paulo – SP, v. 43, p. 222-227, 2012.

SILVA, CARLOS DAVI SANTOS E. *et al.* Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas à deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 4, p. 7-13, 2010.

SILVA, Charlley Freitas *et al.* Produção de feijão-caupi em função do emprego de inoculante e adubos orgânicos e mineral. **Diversitas Journal**, Santana do Ipanema, v. 4, n. 3, p. 1130-1145, 2019.

SILVA, J. S. *et al.* Mechanisms of tolerance to water deficit and physiological responses to rehydration in cowpea. **Revista Ciência Agronômica**, v. 52, n. 3, e20207198, 2021.

SILVA, Jucielly Karízia Medeiros *et al.* Efeito da salinidade e adubos orgânicos no desenvolvimento da rúcula. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 5, 2008.

SILVA, Manoel Messias Pereira da *et al.* Eficiência fotoquímica de gramíneas forrageiras tropicais submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.1, p.67-74, 2006.

SILVA[1], Samuel *et al.* Uso econômico da água para o feijão caupi na região do sertão alagoano. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 9, n. 1, p. 07-13, 2019.

SIRRINE, J.; ROTHWELI, N.; LIZOTTE, E.; GOLDY, R.; MARQUIE, S.; RYTHEWSKI, E. **Sustainable Hop Production in Great Lakes Region. Michigan University**, Extension. 2015.

SOARES, Maria Olivia Queiroz Silva *et al.* **Indicadores de qualidade do solo sob cultivo do cafeeiro em função de doses de adubo mineral e organomineral**. 2023.

SOUMARE, Abdoulaye; DJIBRIL, S. A. R. R.; DIEDHIOU, Abdala G. Potassium sources, microorganisms and plant nutrition: Challenges and future research directions. **Pedosphere**, v. 33, n. 1, p. 105-115, 2023.

SOURI, Mohammad Kazem. Effectiveness of chloride compared to 3, 4-dimethylpyrazole phosphate on nitrification inhibition in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 41, n. 14, p. 1769-1778, 2010.
SOUSA, Geocleber Gomes *et al.* Estresse salino em plantas de feijão-caupi em solo com fertilizantes orgânicos. **Revista Agro@ mbiente on-line**, Seropédica, v. 8, n. 3, p. 359-367, 2014.

SOUZA, Rogéria Pereira *et al.* Fotossíntese e acúmulo de solutos em feijoeiro caupi submetido à salinidade. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Campinas, v. 46, p. 586-592, 2011.

TAIZ, Lincoln *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. **Fisiologia vegetal**. Universitat Jaume I, Brasília, 2007.

TIMM, Letícia Schafer; *Et al.* Água no solo: características e comportamento em diferentes manejos. In: **8º MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, TECNOLÓGICA E DE INOVAÇÃO**. São Paulo – SP, 2018.

TORRES, Wesley Lívio Viana *et al.* Lâminas de irrigação e coberturas vegetais mortas no consórcio entre feijão-caupi e milho. **Research, Society and Development**, Campinas, v. 9, n. 8, p. e34984957-e34984957, 2020.

VIEIRA, E. L.; SOUZA, G. S.; SANTOS, A. R.; SANTOS, J. S. **Manual de Fisiologia Vegetal.** São Luis: EDUFMA, 2010.

WAN, Lian-Jie *et al.* Effects of chemical fertilizer combined with organic fertilizer application on soil properties, citrus growth physiology, and yield. **Agriculture**, Basel, Switzerland, v. 11, n. 12, p. 1207, 2021.