



Interação entre genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e insetos-praga sob adubação silicatada

Interaction between cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) genotypes and pest insects under silicate fertilization

J. V. L. Santos^{1*}; R. M. M. Lacerda²; R. A. M. Silva²; R. H. Pertille¹;
S. M. Mazaro³

¹Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 85503-390, Pato Branco-PR, Brasil

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, 68540-000, Conceição do Araguaia-PA, Brasil

³Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 85503-390, Pato Branco-PR, Brasil

*joaovictorsantos@alunos.utfpr.edu.br

(Recebido em 28 de fevereiro de 2025; aceito em 15 de setembro de 2025)

A ocorrência de insetos-praga em cultivos de feijão-caupi compromete sua produção e eleva os custos com a dependência de agrotóxicos, além de acarretar riscos ambientais pelo uso desses produtos químicos. Dessa forma, a adubação silicatada tem sido sugerida como uma alternativa para a defesa e redução dos danos relacionados aos ataques desses agentes bióticos. Nesse contexto, este estudo avaliou 12 genótipos de feijão-caupi submetidos à aplicação de silicato de potássio, analisando os efeitos no desenvolvimento e produção da cultura, além da resposta sobre a interação das plantas com os insetos-praga. Os resultados demonstraram que o silício, embora não tenha alterado significativamente os descritores de crescimento e rendimento, reduziu significativamente os níveis de dano e a incidência desses organismos. Adicionalmente, a análise de componentes principais (PCA) indicou uma correlação negativa entre produtividade e as infestações, sugerindo que a proteção conferida pelo nutriente pode contribuir para o manejo sustentável da espécie.

Palavras-chave: Entomologia, variabilidade genética, manejo de insetos-praga.

The occurrence of insect pests in cowpea cultivation compromises production and increases costs due to the reliance on pesticides, in addition to posing environmental risks through the use of these chemical products. Thus, silicon fertilization has been proposed as an alternative strategy for plant defense and for mitigating damage associated with attacks by these biotic agents. In this context, this study evaluated 12 cowpea genotypes subjected to the application of potassium silicate, assessing the effects on crop development and yield, as well as plant-insect interactions. The results demonstrated that silicon, although it did not significantly alter growth or yield descriptors, significantly reduced damage levels and pest incidence. Additionally, principal component analysis (PCA) indicated a negative correlation between productivity and infestations, suggesting that the protection conferred by the nutrient may contribute to the sustainable management of the species.

Keywords: Entomology, genetic variability, insect pest management.

1. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma leguminosa com notável relevância socioeconômica em territórios como os da África e América Latina, onde constitui uma fonte de alimento e renda para algumas populações rurais [1]. No Brasil, destaca-se pela rusticidade e adaptabilidade, sendo amplamente cultivado nas regiões Norte e Nordeste ao apresentar grande flexibilidade nas formas de consumo [2]. Nesses ambientes, diversos fatores podem reduzir o rendimento desse vegetal, como a ocorrência de insetos que são considerados pragas, elevando os custos com o controle e acarretando riscos ambientais pelo uso desses produtos químicos. [3].

A presença desses organismos pode ocorrer em todo o ciclo fenológico do vegetal, e é classificada de acordo com o local de acometimento, sendo: subterrâneas, as pragas que atacam as sementes, raízes e o colo da planta; da parte aérea, as que incidem acima do colo, como ramos, folhas e órgãos reprodutivos; e dos grãos armazenados, que ocorrem em pós-colheita e

provêm do campo. Os danos são variados e incluem a sucção da seiva, transmissão de doenças e o consumo direto de tecidos, o que pode, em casos severos, levar à morte da planta [4].

Dessa forma, o ataque desses insetos representa um dos principais fatores que limitam o desempenho agrônômico dessa espécie, com prejuízos que resultam em altas perdas produtivas, uma vez que sua incidência pode ser observada onde a planta está produzindo o alimento ideal [3]. Danos foliares, em particular, podem gerar prejuízos expressivos, já que a cultura é sensível ao desfolhamento [4]. A dificuldade no controle desses agentes bióticos, agravada pela carência de inseticidas específicos registrados [5], pode contribuir diretamente para os baixos índices de produtividade observados.

Na safra 2023/24, as áreas cultivadas de caupi representaram 44,6%, equivalentes a 1.275,7 mil hectares do total da área plantada com feijão no Brasil, de 2.856,3 mil hectares. Contudo, essa participação gerou apenas 691,8 mil toneladas de grãos, correspondentes a 21,2% do total da produção nacional total, estimada em 3.249,3 mil toneladas [6]. Essa baixa produtividade, de 542 kg.ha⁻¹, contrasta com a média nacional de 1.138 kg.ha⁻¹ para os demais cultivos das classes de feijão, o que pode ser atribuída às limitações de manejo enfrentadas por agricultores familiares, que são responsáveis por aproximadamente 80% da produção nacional e frequentemente carecem de recursos adequados e acesso às tecnologias [1].

Embora seja classificado como uma espécie exótica, a variabilidade genética do feijão-caupi, desenvolvida ao longo de séculos de cultivo no Brasil, reflete-se em sua interação genótipo-ambiente [7-9], sendo diretamente influenciada por fatores bióticos e abióticos [10]. Nesse contexto, o controle químico, que é amplamente utilizado para reduzir os impactos de insetos-praga, enfrenta restrições, tais como acesso insuficiente e o déficit de assistência técnica para o manuseio e aplicação, além de problemas conferidos à resistência de pragas e impactos ambientais [11, 12].

Sob essa abordagem, a adubação silicatada surge como uma alternativa sustentável. O silício (Si), embora não seja reconhecido como um nutriente essencial, tem demonstrado benefícios na agricultura, incluindo maior tolerância aos estresses e redução do ataque de insetos-praga [13]. Estudos preliminares indicam que o Si pode reduzir a infestação de pulgões em feijão-caupi [14], entretanto, faz-se necessário investigações mais abrangentes sobre sua eficácia em outras pragas e sua interação com diferentes genótipos da cultura.

Considerando a hipótese de que a adubação silicatada reduz a infestação de insetos-praga e os danos relacionados às plantas de feijão-caupi, este estudo teve como objetivo avaliar a interação entre diferentes genótipos dessa espécie submetidos à adubação com silicato de potássio sob a ocorrência de insetos-praga, bem como analisar os efeitos da técnica no desenvolvimento e no desempenho produtivo dessa cultura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização do ensaio e características edafoclimáticas

O experimento foi desenvolvido no período de 09 de novembro de 2021 a 16 de fevereiro de 2022 na Chácara Borges, propriedade particular localizada no município de Conceição do Araguaia/PA, sob as coordenadas geográficas 49°18'14,64" W e 08°20'38,9" S, altitude de 186 m (Figura 1).

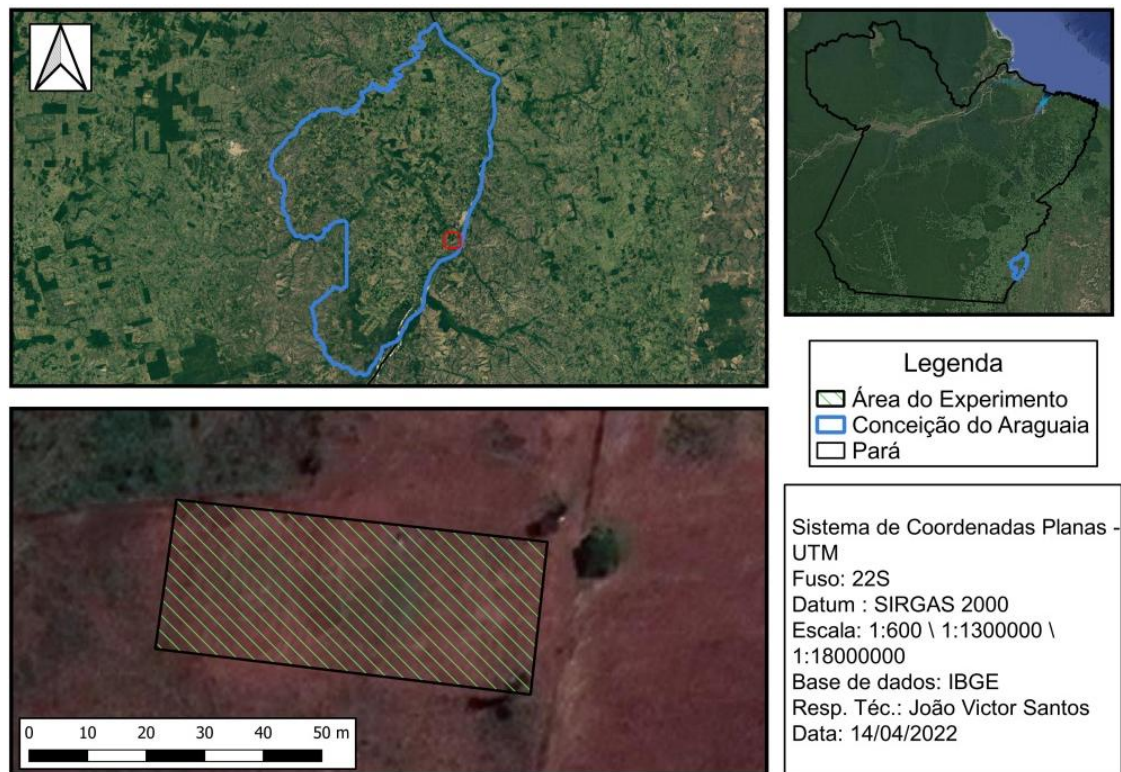


Figura 1: Localização e limites do ensaio experimental de 12 genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*). Chácara Borges, Conceição do Araguaia/PA, 2022. Fonte: Imagens do programa QGIS obtidas pelos Autores, 2022.

Segundo Hoffman et al. (2018) [15], o clima pré-definido da região é “Aw”, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger. O registro dos dados meteorológicos referentes ao período de condução do experimento foi acessado no portal do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET [16], pela estação convencional de código “82861”, com dados complementares da estação automática de código “A241”, posicionada a 6,5 km da área experimental. As informações tomadas referentes à temperatura média (°C) e precipitação (mm) foram apresentadas em um climograma semanal, onde se apontou uma lâmina d’água acumulada de 1.069,7 mm e temperaturas médias em um intervalo entre 25,8 °C a 28,4 °C, previsto na Figura 2.

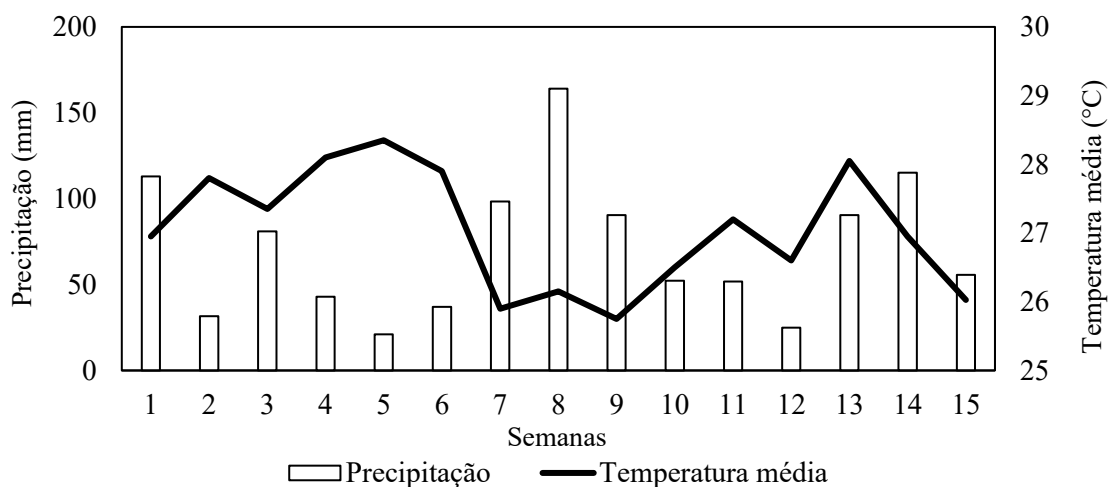


Figura 2: Variação da precipitação (mm) e temperatura média (°C) semanal referente ao período de condução do experimento de 09 de novembro de 2021(semána 1) a 16 de fevereiro de 2022 (semána 15). Chácara Borges, Conceição do Araguaia/PA, 2022. Fonte: Dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2022) [16].

Quanto às características edáficas, os resultados obtidos em análise química e física do solo apontaram-no como sendo de textura franco-arenosa, com composição granulométrica de 83,34% de areia total, 14,0% de argila e 2,66% de silte, para os atributos físicos; enquanto que os dados referentes à composição química revelaram indicadores de fertilidade do solo com CTC potencial (T) de 6,12 cmol.dm⁻³, soma de bases (S) de 1,42 cmol.dm⁻³, saturação por bases (V) de 23,21%, saturação por alumínio (Sat. Al.) de 33,02%, matéria orgânica (M.O.) de 1,74% e pH (CaCl₂) de 4,47 - considerado de alta acidez para a cultura objeto do estudo [17]. Já os resultados referentes aos teores dos elementos químicos estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1: Teores químicos de macro e micronutrientes do solo da Chácara Borges, Conceição do Araguaia/PA, 2022.

Prof. amostras	Macrobutrientes					Micronutrientes						
	Ca	Mg	P	K	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Co
(cm)	--cmol.dm ⁻³ --	-----mg.dm ⁻³ -----				-----mg.dm ⁻³ -----						
0-20	0,78	0,54	1,52	20,00	7,26	127,70	17,36	1,47	0,79	0,13	nr*	0,02

*nr = não requisitado.

Fonte: MB Agroanálises, 2021.

2.2 Germoplasma objeto do estudo

O germoplasma do objeto de estudo foram sementes de feijão-caupi adquiridas em comunidades tradicionais ou em feiras da região, descritas em 11 genótipos e mais um cultivar melhorado - cultivar BioFort, da Embrapa Meio Norte -, totalizando 12 materiais procedentes de cinco municípios distintos. Os genótipos apresentaram diferenças que contrastam com diversas características morfológicas e qualitativas, como: cor, forma e tamanho, conforme descrito no Tabela 2.

2.3 Instalação e condução do ensaio experimental





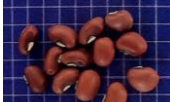







O delineamento experimental instalado foi o de blocos ao acaso (DBC), com quatro repetições (blocos) em um esquema fatorial 12 x 2. Os fatores referem-se aos 12 genótipos de feijão-caupi, associados ou não com a dose de silicato de potássio, onde no que se envolveu a adubação, aplicou-se 2,0 L.ha⁻¹. A interação dos fatores genótipos x doses de silicato de potássio foi distribuída em um ensaio com 24 tratamentos e 96 parcelas.

As unidades experimentais foram constituídas de sete fileiras com 3,0 m de comprimento cada, espaçadas a 0,5 m, totalizando 9 m², distantes 1,0 m entre si. A área útil foi determinada pelas três linhas centrais, desconsiderando 0,5 m de cada extremidade para efeito de bordadura, resultando em uma área de coleta de dados de 2 m².

A semeadura foi realizada manualmente em um espaçamento de 0,5 x 0,3 m, com três sementes.cova⁻¹, seguido de desbaste de uma plântula após a abertura do primeiro par de folhas simples, mantendo duas plantas.cova⁻¹. A densidade populacional nas parcelas e no ensaio experimental foi de 140 e 13.440 plantas, respectivamente, ocupando a dimensão de 63 x 23 m, equivalente a uma área de 1.449 m², esta preparada com uso de grade niveladora.

A interpretação dos resultados da análise de solo para alcançar as quantidades de correção da acidez e adubação mineral foi executada conforme o Manual de Recomendações de Calagem e Adubação para o Estado do Pará [17]. Após a nutrição mineral, iniciaram-se os tratamentos correspondentes à adubação silicatada. Como fonte de silício, foi aplicado um fertilizante foliar mineral líquido simples de silicato de potássio (12,0% de K₂O e 12,0% de Si) + adjuvante. Foram realizadas quatro pulverizações quinzenais durante o período vespertino a partir do estágio fenológico V3. Na operação, foi usada uma bomba manual de 2 L com bico tipo leque.

Tabela 2: Material e procedência dos 12 genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) utilizados no ensaio experimental. Chácara Borges, Conceição do Araguaia/PA, 2022.

Número	Genótipos	Sementes	Procedência
1	Pretinho		Couto Magalhães/TO
2	Corujinha I		
3	Sempre-verde I		
4	Vinagrinha I		
5	Vinagrinha II		Conceição do Araguaia/PA
6	Fraldinha		
7	Manteiguinha		
8	Corujinha II		Campos Lindos/TO
9	Roxão		Santa Maria das Barreiras/PA
10	Corujão		
11	Sempre-verde II		Marabá/PA
12	Biofort (testemunha)		

2.4 Descritores para caracterização de germoplasma

Os descritores empregados para o levantamento de dados do germoplasma objeto do estudo foram conduzidas conforme as características morfológicas e agrônômicas do feijão-caupi, adotando àqueles recomendados pelo *International Board for Plant Genetic Resources* (1983) [18] e *Biodiversity Intenational* (2007) [19].

2.4.1 Descritores relacionados ao desenvolvimento das plantas

As amostras foram obtidas de plantas selecionadas da área útil, tomando-se a média das avaliações de três plantas.parcela⁻¹ selecionadas de forma aleatória em dois momentos: ao longo do crescimento vegetativo e no final do ciclo da cultura. Neste último, as amostras foram levadas ao Laboratório de Botânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) - campus Conceição do Araguaia, para a mensuração. A exceção ficou para a variável relacionada ao rendimento de grãos (kg.ha⁻¹), que envolveu todas as 24 plantas da área útil, conforme descrito abaixo:

- a) Diâmetro da planta - DIP (cm): mensurado com auxílio de paquímetro digital (0-150 mm) pela seção transversal do colo da planta, rente ao solo.
- b) Altura da planta - ALP (m): medida com auxílio de fita métrica (5 m) a partir da base do caule, seguindo toda a extensão longitudinal, até alcançar a gema apical do ramo principal.
- c) Inserção da primeira vagem - IPV (m): aferida com auxílio de fita métrica (5 m) a partir da base do caule, seguindo toda a extensão longitudinal, até alcançar o nó da inserção da primeira vagem.
- d) Massa seca da parte aérea - MSPA (g): quantificada das plantas selecionadas e secas em estufa por 24 horas a uma temperatura de 60 °C e posteriormente trituradas, para que fossem pesadas utilizando mini balança digital de precisão (500 g B- MAX BM-A07).

2.4.2 Descritores relacionados à produção das plantas

- a) Número de vagem por planta - NVP (un.): determinado com a contagem numérica de vagens.planta⁻¹ selecionadas quando atingiram a maturação fisiológica.
- b) Número de grão por vagem - NGV (un.): registrado com a contagem numérica de grãos.vagem⁻¹ de plantas selecionadas com a maturação fisiológica, quando atingiram 12% de umidade.
- c) Peso de mil sementes - PMS (g): pesando o número de mil grãos, que foram contados das vagens de plantas da área útil, utilizando mini balança digital de precisão (500 g B-MAX BM-A07).
- d) Rendimento - REN (kg.ha⁻¹): calculando a massa dos grãos colhidos da área útil no estágio de maturação fisiológica, quando atingiram 12% de umidade, utilizando balança digital de precisão (BEL S2202H). Com os valores obtidos em g.m², estes foram posteriormente convertidos para kg.ha⁻¹.

2.4.3 Descritores relacionados aos insetos-praga

As investigações relacionadas aos insetos-praga foram realizadas em faixas a cada 2 m na linha de plantio da área útil da parcela (Figura 3), quando surgiram os primórdios florais - estágio R5; e no início do enchimento dos grãos - estágio R8.



Figura 3: Instalação de armadilhas adesivas do tipo Yellowtrap (A) e condução do pano de batida (B). Chácara Borges, Conceição Araguaia/PA, 2022.

a) Nível de dano foliar - NDF (%): mensurado com o escaneamento das folhas trifolioladas do terço médio das plantas selecionadas da área útil das parcelas durante o estágio R8, utilizando o software de código aberto *ImageJ* [20], que permite o reconhecimento de diferentes formas, volumes e cores de imagens digitais [21]. Com o comando *Analyse/Set Scale*, foi definida a escala padrão de cada amostra, considerando a unidade em cm^2 e ajustada a imagem digitalizada para 8-bit. Em seguida, as imagens foram reguladas em duas tonalidades, binarizadas e configuradas com o comando *Threshold*. Por fim, com o auxílio da ferramenta *Analyse/Measure* (Figura 4), determinaram-se as áreas dos trifólios (AT) e das seções consumidas (SC), permitindo o cálculo do NDF pela equação: $100 \cdot (\text{SC}/\text{AT})$.

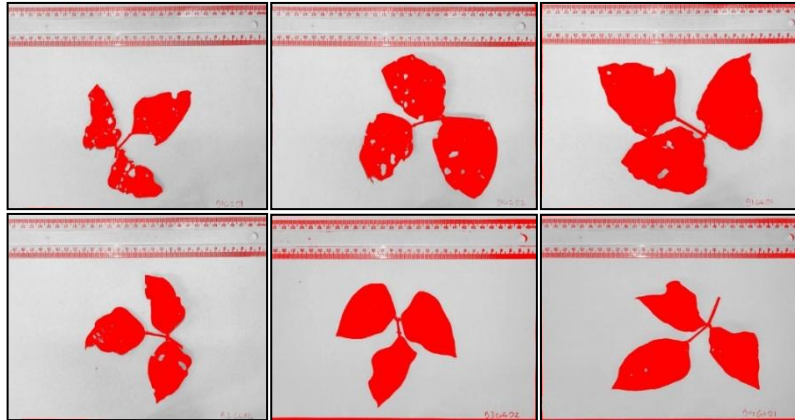


Figura 4: Identificação de diferentes níveis de danos em folhas trifolioladas do terço médio de plantas selecionadas obtidas no software *ImageJ*. Chácara Borges, Conceição Araguaia/PA, 2022. Fonte: Imagens do software *ImageJ* obtidas pelos Autores, 2022.

b) Nível de infestação por armadilha - NIA (%): determinado durante o estágio R5, iniciando com a instalação de armadilhas adesivas do tipo *Yellow trap* com uma área infestável de 300 cm^2 para a captura de insetos-praga alados. No final desse estágio, as armadilhas foram retiradas para serem escaneadas e posteriormente analisadas no software *ImageJ* com o mesmo tratamento utilizado para o NDF. Por fim, com o auxílio da ferramenta *Analyse/Measure* (Figura 5), determinou-se a área infestada (AI) que, juntamente com área infestável da armadilha (AA), permitiu o cálculo do NIA pela equação: $100 \cdot (\text{AI}/\text{AA})$.

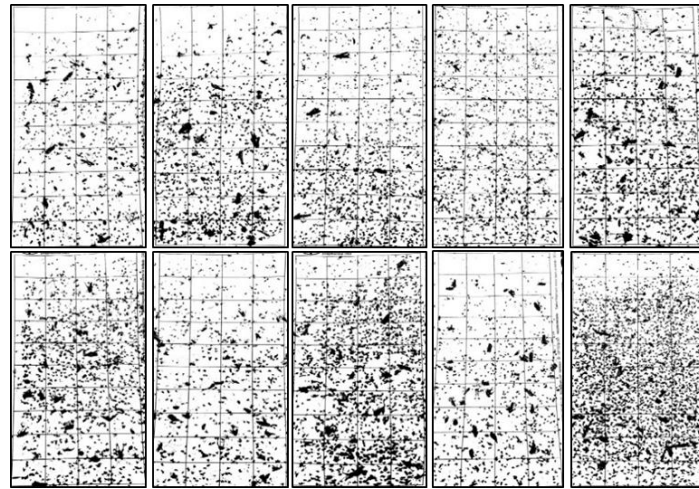


Figura 5: Amostras aleatórias de imagens obtidas das armadilhas adesivas do tipo Yellow trap após o tratamento no software ImageJ. Chácara Borges, Conceição Araguaia/PA, 2022. Fonte: Imagens do software ImageJ obtidas pelos Autores, 2022.

c) Infestação média de besouros - IMB (indivíduos.cm⁻²): registrado no estádio R8, a partir da amostra obtida com o uso do pano de batida (dimensões 1,0 x 0,5 m) entre as fileiras centrais da área útil de cada parcela, realizando a coleta, identificação visual e contagem dos besouros adultos;

d) Infestação média de lagartas - IML (indivíduos.cm⁻²): registrado no estádio R8, a partir da amostra obtida com o uso do pano de batida como para o IMB, mas com a contagem das lagartas maiores que 1,5 cm de comprimento;

e) Infestação média de percevejos - IMP (indivíduos.cm⁻²): registrado no estádio R8, a partir da amostra obtida com o uso do pano de batida como para o IMB e IML, mas com a contagem dos percevejos pentanomídeos maiores que 0,5 cm de comprimento.

f) Nível de dano por vagem - NDV (%): definido com a contagem de vagens.planta⁻¹ que apresentavam dano no estádio de maturação fisiológica, e convertido em valor percentual.

2.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram inicialmente submetidos à verificação dos pressupostos estatísticos. A normalidade dos erros foi avaliada pelo teste de *Shapiro-Wilk*, enquanto a homogeneidade das variâncias foi testada pelo teste de *Bartlett*. A independência dos resíduos foi verificada pelo teste de *Durbin-Watson*. Atendidas as premissas, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Para a comparação das médias, utilizou-se o teste de *Scott-Knott* ($p < 0,05$). Quando necessário, os dados foram transformados pelo método de *Box-Cox*.

Além disso, foi realizada uma análise de componentes principais (PCA) para visualizar a relação entre os genótipos, os tratamentos e as variáveis analisadas. Os *biplots* foram gerados utilizando o pacote *FactoMineR* e *ggplot2* no software *R*. Todas as análises estatísticas foram conduzidas no software *R*, versão 4.4.2 [22], utilizando os pacotes *ExpDes*, *agricolae* e *FactoMineR*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Desenvolvimento das plantas

O desenvolvimento dos genótipos de feijão-caupi foi avaliado por meio de diferentes descritores agrônômicos, incluindo o DIP, a ALP, a IPV e a MSPA (Tabela 3). Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos com e sem aplicação de silicato de potássio para essas variáveis. No entanto, diferenças genotípicas foram evidentes, indicando variabilidade genética na resposta ao crescimento.

Os genótipos 4 e 10 apresentaram os maiores valores de DIP e ALP, respectivamente, enquanto que para IPV, o genótipo 8 se destacou, sugerindo um maior vigor vegetativo desses materiais. Já a MSPA foi significativamente superior no genótipo 12, indicando maior acúmulo de biomassa aérea, o que pode estar associado a maior eficiência fotossintética ou estratégias de alocação de recursos [23]. A ausência de um efeito significativo do silício sobre o crescimento, apontada aqui, difere do que já foi relatado para outras angiospermas, como as monocotiledôneas. Isso possivelmente se deve à menor capacidade de deposição de silício nos tecidos de leguminosas quando comparado a gramíneas, como o arroz e a cana-de-açúcar [24].

Tabela 3 - Comparação de médias dos descritores relacionados ao desenvolvimento das plantas de 12 genótipos de feijão-caupi (Vigna unguiculata) associados ou não com a dose de silicato de potássio. Chácara Borges, Conceição do Araguaia/PA, 2022.

Fator		Descritores ¹			
		DIP (cm)	ALP (m)	IPV (m)	MSPA (g)
Genótipo	1	8,15 ^a	165,54 ^a	21,17 ^a	49,46 ^a
	2	8,49 ^a	136,83 ^a	16,25 ^b	53,96 ^a
	3	7,52 ^b	149,33 ^a	20,54 ^a	46,29 ^b
	4	9,08 ^a	160,08 ^a	19,93 ^a	59,91 ^a
	5	8,18 ^a	139,50 ^a	19,46 ^a	43,70 ^b
	6	7,15 ^b	92,46 ^b	13,67 ^b	29,61 ^b
	7	7,44 ^b	117,04 ^b	15,00 ^b	38,20 ^b
	8	8,81 ^a	142,50 ^a	23,50 ^a	43,33 ^b
	9	8,05 ^a	158,58 ^a	17,29 ^b	50,20 ^a
	10	8,73 ^a	168,67 ^a	18,05 ^a	54,26 ^a
	11	8,40 ^a	153,75 ^a	16,08 ^b	64,88 ^a
	12	7,20 ^b	132,25 ^a	15,54 ^b	38,91 ^b
Silício	Sem	7,91 ^{ns}	144,67 ^{ns}	17,77 ^{ns}	47,15 ^{ns}
	Com	8,27	141,41	18,31	48,05

^{a-d}Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de *Scott-Knott* ($p < 0,05$); ^{ns}não significativo; ¹DIP = Diâmetro da planta; ALP = Altura da planta; IPV = Inserção da primeira vagem; e MSPA = Massa seca da parte aérea.

3.2 Componentes de produção

Os descritores de produção, como NVP, NGV, PMS e REN, em sua maior parte, também não foram afetados pelo silício (Tabela 4). Entretanto, verificou-se que o PMS foi significativamente reduzido com a aplicação do mineral, passando de 122,77 g para 118,06 g. Embora esse resultado pareça contraditório, sugere-se que a alocação de silício pode alterar a distribuição de assimilados na planta, reduzindo a massa individual dos grãos [25].

Tabela 4: Comparação de médias dos descritores relacionados à produção das plantas de 12 genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) associados ou não com a dose de silicato de potássio. Chácara Borges, Conceição do Araguaia/PA, 2022.

Fator		Descritores ¹			
		NVP (un.)	NGV (un.)	PMS (g)	REN (kg.ha ⁻¹)
Genótipos	1	3,75 ^c	12,75 ^b	119,88 ^c	758,75 ^a
	2	3,88 ^c	14,13 ^a	110,88 ^c	1029,38 ^a
	3	3,25 ^c	12,75 ^a	104,00 ^d	666,25 ^b
	4	2,25 ^d	12,75 ^b	115,88 ^c	403,75 ^b
	5	5,00 ^b	12,88 ^b	96,88 ^d	1109,13 ^a
	6	5,25 ^b	10,25 ^c	160,25 ^a	890,63 ^a
	7	5,88 ^a	12,13 ^b	74,38 ^c	890,63 ^a
	8	3,75 ^c	14,13 ^a	113,75 ^c	948,13 ^a
	9	3,38 ^c	14,50 ^a	110,13 ^c	835,75 ^a
	10	1,88 ^d	12,38 ^b	156,13 ^a	415,00 ^b
	11	2,00 ^d	13,75 ^a	139,38 ^b	518,13 ^b
	12	8,88 ^a	11,88 ^b	143,50 ^b	1065,00 ^a
Silício	Sem	4,04 ^{ns}	12,72 ^{ns}	122,77 ^a	787,14 ^{ns}
	Com	4,14	12,97	118,06 ^b	801,27

^{a-c}Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de *Scott-Knott* ($p < 0,05$); ^{ns}não significativo; ¹NVP = Número de vagem por planta; NGV = Número de grão por vagem; PMS = Peso de mil sementes; e REN = Rendimento.

Entre os genótipos, houve ampla variação na produtividade, com destaque para os genótipos 2, 5 e 12, que apresentaram rendimentos acima de 1,000 kg.ha⁻¹, enquanto o genótipo 4 obteve um dos menores valores, com 403,75 kg.ha⁻¹. A variabilidade genética observada reflete a diversidade dos materiais estudados, alguns representando produções elevadas sob os termos do experimento, podendo indicar genótipos promissores para cultivos comerciais [26, 27].

3.3 Resistência aos insetos-praga

Diferentemente das características de desenvolvimento e produção, os descritores relacionados ao ataque de insetos foram significativamente influenciados com a aplicação de silicato de potássio (Tabela 5). O NDF foi reduzido em 56%, enquanto o NIA caiu aproximadamente 32%, evidenciando um possível efeito do silício na resistência contra herbivoria.

Tabela 5: Comparação de médias dos descritores relacionados aos insetos-praga nas plantas de 12 genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) associados ou não com a dose de silicato de potássio, aplicada pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) relacionada à ANOVA. Chácara Borges, Conceição do Araguaia/PA, 2022.

Fator		Descritores ¹				
		NDF (%)	NIA (%)	IMB (ind.cm ⁻²)	IML (ind.cm ⁻²)	IMP (ind.cm ⁻²)
Genótipo	1	5,29 ^{ns}	16,60 ^{ns}	0,75 ^c	0,38 ^b	1,75 ^b
	2	4,09	17,97	1,25 ^c	0,63 ^b	1,75 ^b
	3	3,58	15,42	1,00 ^c	0,63 ^b	2,88 ^a
	4	4,52	13,64	2,13 ^b	1,63 ^a	3,50 ^a
	5	2,73	20,01	0,88 ^c	0,38 ^b	1,00 ^c
	6	3,20	15,67	1,25 ^c	0,88 ^b	2,88 ^b
	7	4,85	19,26	1,75 ^c	1,25 ^a	1,75 ^b
	8	4,12	23,32	1,25 ^c	1,00 ^b	2,63 ^b
	9	4,81	23,69	1,50 ^c	1,38 ^a	3,75 ^a
	10	4,59	20,71	2,00 ^b	2,13 ^a	1,61 ^a
	11	6,61	23,35	4,25 ^a	2,13 ^a	3,75 ^a
	12	4,15	26,06	0,88 ^c	0,50 ^b	0,88 ^c
Silício	Sem	6,08 ^a	23,38 ^a	2,13 ^a	1,39 ^a	3,33 ^a
	Com	2,67 ^b	15,89 ^b	1,02 ^b	0,75 ^b	1,77 ^b

Genótipo	NDV (%)	
	Sem	Com
1	26,25 ^{bA}	16,67 ^{bA}
2	18,54 ^{bA}	9,17 ^{bA}
3	46,25 ^{aA}	29,17 ^{bA}
4	67,92 ^{aA}	48,33 ^{aA}
5	14,79 ^{bA}	6,25 ^{bA}
6	69,44 ^{aA}	9,79 ^{bB}
7	19,58 ^{bA}	10,62 ^{bA}
8	28,12 ^{bA}	15,62 ^{bA}
9	31,25 ^{bA}	16,67 ^{bA}
10	53,33 ^{aA}	61,67 ^{aA}
11	60,42 ^{aA}	60,00 ^{aA}
12	5,21 ^{bA}	0,00 ^{bA}

^{a-c} Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$); ^{ns} não significativo; ¹NDF = Nível de dano foliar; NIA = Nível de infestação por armadilha; IMB = Infestação média de besouros; IML = Infestação média de lagartas; IMP = Infestação média de percevejos; NDV = Nível de dano por vagem.

Os descritores IMB, IML e IMP também foram menores no tratamento com silício, corroborando que o elemento pode atuar como uma barreira estrutural ou interferir na palatabilidade das folhas, reduzindo o consumo pelos insetos [28]. Esses resultados são consistentes com estudos anteriores que demonstram que o mineral pode aumentar a deposição de fitólitos e fortalecer a epiderme das plantas, dificultando a herbivoria [29-31].

Entre os genótipos, observou-se que o 11 foi um dos mais suscetíveis, apresentando altos índices de infestação de besouros, lagartas e percevejos. Por outro lado, os genótipos 4 e 5

mostraram-se mais resistente, com menores valores para infestação por armadilha e dano foliar. Dessa forma, resistência genética associada ao efeito do silício pode ser explorada em programas de melhoramento para o manejo integrado de pragas.

Diferente dos demais descritores, o NDV apresentou interação significativa entre os fatores genótipo e silicato de potássio. A redução mais expressiva foi observada no genótipo 6, com uma diminuição de 69,44% para 9,79% no tratamento com silício. No entanto, alguns genótipos, como 10 e 11, mantiveram altos níveis de dano, independentemente da aplicação de silício. Esses resultados indicam que a resposta ao nutriente pode variar entre materiais genéticos e que sua eficiência como indutor de resistência pode estar associada a características específicas de cada genótipo [32, 33].

3.4 Análise dos componentes principais

A PCA foi utilizada para analisar a relação multivariada entre a produtividade dos genótipos e os descritores relacionados à interação com os insetos-praga (Figura 5). A distribuição dos pontos indica que os genótipos 2, 5 e 12 estão negativamente correlacionados com as variáveis associadas a infestação de pragas, dada a oposição entre o vetor de rendimento, onde estão mais próximas, e os vetores de infestação, IMBPB, IMLPB, IMPPB. Esse padrão também sugere que os genótipos mais suscetíveis a herbivoria tenderam a apresentar menores rendimentos, evidenciado pelo afastamento dos pontos no vetor REN, o que pode sustentar que a área foliar está correlacionada com o rendimento da cultura [34].

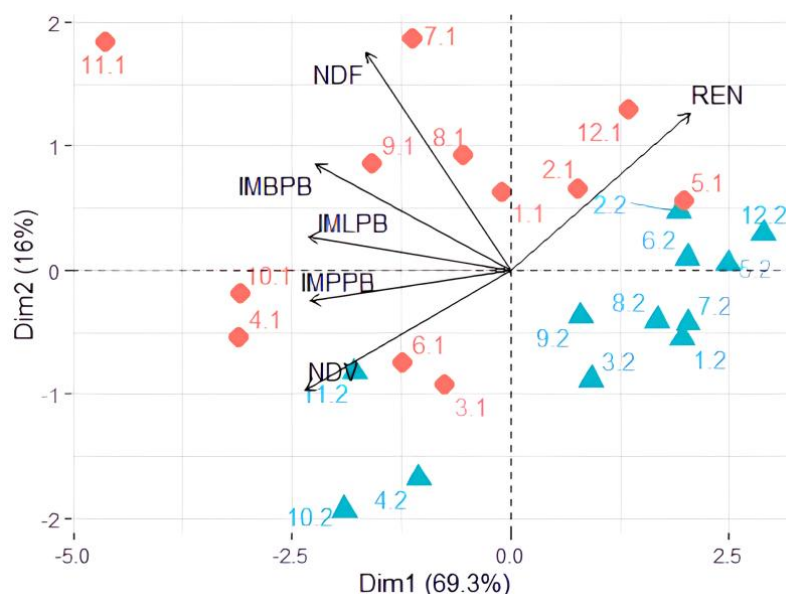


Figura 5: Análise de componentes principais (PCA) da relação entre os genótipos, os tratamentos e as variáveis analisadas. Chácara Borges, Conceição Araguaia/PA, 2022. Fonte: Imagem do software R obtida pelos Autores, 2022. Legenda: 1.1-12.1 (azul) = genótipos de feijão-caupi não associados com a dose de silicato de potássio; 1.2-12.2 (vermelho) = genótipos de feijão-caupi associados com a dose de silicato de potássio; REN = Rendimento; IMB = Infestação média de besouros; IML = Infestação média de lagartas; IMP = Infestação média de percevejos; NDV = Nível de dano por vagem; NDF = Nível de dano foliar.

Observou-se também que os genótipos associados à adubação silicatada (azul) agruparam-se predominantemente ao vetor de rendimento. Em contrapartida, os genótipos não associados (vermelho) apresentaram maior proximidade com as variáveis de dano e infestação de pragas. Essa separação corrobora que a aplicação do silicato de potássio foi eficaz para atenuar o estresse biótico dos genótipos mais produtivos, apontando o elemento como um promotor de defesa nas plantas para além dos afídeos [10, 35].

4. CONCLUSÃO

O estudo evidenciou que a adubação silicatada não afetou significativamente o crescimento e a produtividade do feijão-caupi, mas reduziu a infestação de insetos-praga e os danos às plantas. A análise estatística confirmou que genótipos mais produtivos apresentaram menor suscetibilidade a pragas, destacando a importância da variabilidade genética no manejo integrado. A aplicação de silício mostrou potencial como estratégia complementar para reduzir impactos fitossanitários, mas sua eficácia pode ser influenciada pelas características específicas de cada genótipo. Pesquisas futuras devem explorar mecanismos bioquímicos e estruturais associados à resistência induzida pelo silício, além de avaliar sua viabilidade econômica em diferentes sistemas produtivos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Silva AC, Santos JF, Oliveira MG, Souza RF, Lima FA. Diagnóstico da produção de feijão-caupi no nordeste brasileiro. Rev Univ Vale Rio Verde. 2018 Dez;16(2):1-5. doi: 10.5892/ruvrd.v16i2.4380
2. Mendonça MS, Rocha MM, Silva KJ, Nunes JA, Freire Filho FR, Ribeiro VQ. Importância e correlações de caracteres para diversidade do feijão-caupi em variedades tradicionais. Rev Ciênc Agron 2018 Abr-Jun;49(2):267-74. doi: 10.5935/1806-6690.20180030
3. Togola A, Datinon B, Laouali A, Traoré F, Agboton C, Ongom P, et al. Recent advances in cowpea IPM in West Africa. Front Agron. 2023 Aug;5:1220387. doi: 10.3389/fagro.2023.1220387
4. Ribeiro VQ. Cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). 1. ed. Teresina (PI): Embrapa Meio-Norte; 2002.
5. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. AGROFIT. Consulta de Praga [Internet]. Brasília (DF): MAPA; 2025 [citado em 20 ago 2025]. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons
6. Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Boletim da safra de grãos: 12º levantamento, setembro 2024 - safra 2023/24 [Internet]. Brasília: CONAB; 2024 [citado em 12 dez 2024]. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/12o-levantamento-safra-2023-2024/12o-levantamento-safra-2023-2024>
7. Correa AM, Rocha MM, Silva KJ, Freire Filho FR, Nunes JA. Estimativas de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres fenológicos e morfoagronômicos em feijão-caupi. Rev Ceres. 2012 Fev;59(1):88-94. doi: 10.1590/S0034-737X2012000100013
8. Correa AM, Rocha MM, Silva KJ, Freire Filho FR, Nunes JA. Variabilidade genética e correlações entre caracteres de feijão-caupi. Rev Agro@mbiente On-line. 2015 Abr;9(1):42-7. doi: 10.18227/1982-8470ragro.v9i1.2252
9. Freire Filho FR. Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. 1ª ed. Teresina: Embrapa Meio-Norte; 2011.
10. Omomowo O, Babalola O. Constraints and prospects of improving cowpea productivity to ensure food. Front Plant Sci. 2021 Oct;12:751731. doi: 10.3389/fpls.2021.751731
11. Costa ACS, Souza LCD. Adaptação e viabilidade econômica do feijão-caupi como safrinha no Norte de Mato Grosso. Nativa-Rev Ciênc Soc Norte Mato Grosso. 2019;8(2):165-75.
12. Togola A, Boukar O, Kamara AY, Ngonkeu EL, Thio B, Oigiangbe N, et al. Host plant resistance to insect pests of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.): achievements and future prospects. Euphytica. 2017 Out;213:1-16. doi: 10.1007/s10681-017-2030-1
13. Pozza EA, Pozza AA, Botelho DMS. O silício no controle de doenças de plantas. Rev Ceres. 2015 Mai-Jun;62(3):323-31. doi: 10.1590/0034-737X201562030013
14. Portela GL, Silva PR, Girão Filho JE, Pádua LEM, de Melo Júnior LC. Silicon as resistance inducer in to control black aphid *Aphis craccivora* Koch, 1854 in *Phaseolus lunatus* lima beans. Arq Inst Biol. 2019 Ago;86:e0512018. doi: 10.1590/1808-1657000512018
15. Hoffmann EL, Dallacort R, Carvalho MC, Yamashita OM, Barbieri J. Variabilidade das chuvas no Sudeste da Amazônia paraense, Brasil. Rev Bras Geogr Fís. 2018 Mai;11(4):1251-63. doi: 10.26848/rbgf.v11.4.p1251-1263
16. Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET). Banco de dados meteorológicos [Internet]. Brasília (DF): Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; 2022 [citado em 30 dez 2022]. Disponível em: <https://mapas.inmet.gov.br/>.
17. Cravo MS, de Souza BD Luz. Feijão-caupi. In: Brasil EC, Cravo MS, Viégas IJM, organizadores. Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará. 2ª ed. Brasília: Embrapa Amazônia Oriental; 2020. p. 247-49.

18. International Board for Plant Genetic Resources. Descriptors of cowpea. 1. ed. Roma: Plant Production and Protection Division; 1983.
19. Bioversity International. Descritores para Feijão frade ou caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). 1. ed. Roma: Bioversity International; 2007.
20. Rasband WS. ImageJ. Bethesda (MD): U.S. National Institutes of Health; 1997. Disponível em: <https://imagej.nih.gov/ij/>.
21. Martin TN, Fipke GM, Minussi Winck JE, Márcese JA. Software ImageJ como método alternativo para estimativa de área foliar em aveia. Acta Agron. 2020 Set;69(3):162-9. doi: 10.15446/acag.v69n3.69401
22. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna (AT): R Foundation for Statistical Computing; 2024. Disponível em: <https://www.R-project>.
23. Keller B, Zimmermann L, Rascher U, Matsubara S, Steier A, Muller O. Toward predicting photosynthetic efficiency and biomass gain in crop genotypes over a field season. Plant Physiol. 2022 Jul;188(1):301-17. doi: 10.15446/acag.v69n3.69401
24. Zhang W, Xie Z, Lang D, Cui J, Zhang X. Beneficial effects of silicon on abiotic stress tolerance in legumes. J Plant Nutr. 2017 Set;40(15):2224-36. doi: 10.1080/01904167.2017.1346127
25. Detmann KC, Araújo WL, Martins SC, Sanglard LM, Reis JV, Detmann E, et al. Silicon nutrition increases grain yield, which, in turn, exerts a feed-forward stimulation of photosynthetic rates via enhanced mesophyll conductance and alters primary metabolism in rice. New Phytol. 2012 Set;196(3):752-62. doi: 10.1111/j.1469-8137.2012.04299.x
26. Gerrano AS, Adebola PO, Jansen van Rensburg WS, Laurie SM. Genetic variability in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) genotypes. S Afr J Plant Soil. 2015 Mai;32(3):165-74. doi: 10.1080/02571862.2015.1014435
27. Marinho JTDS, Lessa LS, Costa CRD. Agronomic performance of cowpea genotypes in southwestern Brazilian Amazon. Pesq Agropes Bras. 2021 Jan;56:e02046. doi: 10.1590/S1678-3921.PAB2021.V56.02046
28. Hall CR, Dagg V, Waterman JM, Johnson SN. Silicon alters leaf surface morphology and suppresses insect herbivory in a model grass species. Plants. 2020 Mai;9(5):643. doi: 10.3390/plants9050643
29. Acevedo FE, Peiffer M, Ray S, Tan CW, Felton GW. Silicon-mediated enhancement of herbivore resistance in agricultural crops. Front Plant Sci. 2021 Fev;12:631824. doi: 10.3389/fpls.2021.631824
30. Alhousari F, Greger M. Silicon and mechanisms of plant resistance to insect pests. Plants. 2018 Abr;7(2):33. doi: 10.3390/plants7020033
31. Reynolds OL, Padula MP, Zeng R, Gurr GM. Silicon: potential to promote direct and indirect effects on plant defense against arthropod pests in agriculture. Front Plant Sci. 2016 Jun;7:744. doi: 10.3389/fpls.2016.00744
32. Varsha, Chitdeshwari T, Jegadeeswari D, Srinivasan T. Investigations on growth, biochemical compounds and antioxidant activities in hybrid maize genotypes as influenced by silicon fertilization. Madras Agric J. 2020 Ago;107(7-9):1. doi: 10.29321/MAJ.2020.000374
33. Kiirika LM, Stahl F, Wydra K. Phenotypic and molecular characterization of resistance induction by single and combined application of chitosan and silicon in tomato against *Ralstonia solanacearum*. Phytopathol Mol Plant. 2013 Jan;81:1-12. doi: 10.1016/j.pmpp.2012.11.002
34. Digrado A, Gonzalez-Escobar E, Owston N, Page R, Mohammed S, Umar M, et al. Cowpea leaf width correlates with above ground biomass across diverse environments. Legume Sci. 2022 Mar;4(4):e144. doi: 10.1002/leg3.144
35. Zimba K, Sohati P, Munyinda K, Roberts J, Pope T. Can silicon complement mutation-derived resistance to cowpea aphid?. Arthropod-Plant Interac. 2024 Nov;19(10):2. doi: 10.1007/s11829-024-10116-y