



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I- CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

DENISE DA SILVA RAMOS

**SILÍCIO E ESTERCO BOVINO NA FERTILIDADE DE UM NEOSSOLO
FLÚVICO, NA NUTRIÇÃO MINERAL E PRODUÇÃO DO MARACUJAZEIRO
AMARELO**

CAMPINA GRANDE – PB

ABRIL- 2024

DENISE DA SILVA RAMOS

**SILÍCIO E ESTERCO BOVINO NA FERTILIDADE DE UM NEOSSOLO
FLÚVICO, NA NUTRIÇÃO MINERAL E PRODUÇÃO DO MARACUJAZEIRO
AMARELO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias.

Área de concentração: Agricultura Familiar e Sustentabilidade

Orientador: Prof. Dr. Evandro Franklin de Mesquita

CAMPINA GRANDE – PB

ABRIL 2024

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

R175s Ramos, Denise da Silva.
Silício e esterco bovino na fertilidade de um neossolo flúvico, na nutrição mineral e produção do maracujazeiro amarelo [manuscrito] / Denise da Silva Ramos. - 2024.
81 p. : il. colorido.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, 2024.

"Orientação : Prof. Dr. Evandro Franklin de Mesquita, Departamento de Agrárias e Exatas - CCHA. "

"Coorientação: Prof. Dr. José Félix de Brito Neto , Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais - CCAA. "

1. Passiflora Edulis Sims. 2. Atributos químicos do solo. 3. Adubação silicatada. 4. Adubação orgânica. 5. Estado nutricional do maracujazeiro. I. Título

21. ed. CDD 631.86

DENISE DA SILVA RAMOS

**SILÍCIO E ESTERCO BOVINO NA FERTILIDADE DO NEOSSOLO FLÚVICO, NA
NUTRIÇÃO MINERAL E A PRODUÇÃO DO MARACUJAZEIRO AMARELO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias.

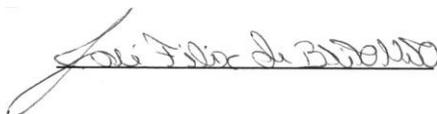
Área de concentração: Agricultura Familiar e Sustentabilidade

Aprovada em: 30/05/2024.

BANCA EXAMINADORA:



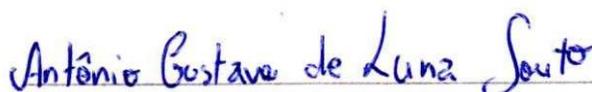
Prof. Dr. Evandro Franklin de Mesquita (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. José Félix de Brito Neto (UEPB)
Coorientador



Prof. Dr. Carlos Henrique Salvino Gadelha Meneses
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Antônio Gustavo de Luna Souto
Universidade Federal do Semiárido (UFERSA)

AGRADECIMENTOS

Reservo nesse momento o principal agradecimento a Deus - minha força e meu guia em todos os momentos.

À minha mãe Maria dos Remédios Ramos e a meu pai Francisco Casimiro Ramos, que sempre me apoiaram, me incentivaram incansavelmente a estudar. Ao meu irmão Denilson Ramos que nunca mediu esforços para me buscar, me deixar, nas indas e vindas à cidade de Campina Grande, sem esquecer da minha cunhada Mayara Queiroz de Lima, pela força, prontidão, para a concretização desta etapa.

A minha vó Petronila Lopes Ramos (in memorian), e a minha amada tia Maria Naim Ramos (in memorian) pelo exemplos de honestidade, bondade, de sabedoria, por serem minhas inspirações de vida, que mesmo ausentes fisicamente, tocam minha alma todos os dias.

A minha pequena Auanne Thaís, que mesmo em meu ventre me fortalece todos os dias. Ao meu esposo Thalysson Nogueira, pela força expressada através da compreensão e incentivo incessante, especialmente no final dessa jornada.

A todos meus familiares e amigos por entenderem todos os momentos da minha ausência.

Ao meu orientador Dr. Evandro Franklin de Mesquita pelo incentivo, paciência, ensinamentos, disponibilidade, apoio e por me ajudar a superar as dificuldades nos momentos mais difíceis da execução deste trabalho, como também a meu coorientador Dr. José Félix de Brito Neto, por suas contribuições que vieram a enriquecer esta dissertação.

Aos colegas de curso, em especial a Welisson Maciel, pelo companheirismo, o incentivo, pela convivência harmoniosa e enriquecedora e pela troca de ideias e conhecimentos.

À Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias (PPGCA), em especial ao professor Dr. Carlos Henrique Salvino Gadelha Meneses, pelo incentivo, por acreditar em mim e por toda disponibilidade a mim depositada.

Aos professores da UEPB/EMBRAPA, pelos conhecimentos compartilhados e ensinamentos que contribuíram de maneira fundamental para minha formação profissional.

À Embrapa Algodão pela acolhida, pelo suporte, pelas aulas lá ministradas. À banca examinadora, pela disponibilidade, sugestões e contribuições para a confecção e enriquecimento deste manuscrito.

A FAPESP pelo apoio financeiro - Outorga 3071/2021-FAPESP/PB, Edital Universal 09/2021 SEECT/FAPESP, que foi fundamental para a condução desta pesquisa.

A todos que de alguma forma contribuíram diretamente ou indiretamente, para realização deste trabalho, meu muito obrigada.

RESUMO

O maracujazeiro amarelo, também denominado maracujazeiro azedo pertencente à família Passifloraceae, possui uma grande representatividade no cenário nacional na produção de frutas, destacando-se como uma cultura com grandes potencialidades de expansão no semiárido paraibano. Nesse contexto, objetivou com o presente estudo, avaliar a influência do silício e da adubação orgânica com o esterco bovino na fertilidade de um NEOSSOLO FLÚVICO, na nutrição mineral e na produtividade do maracujazeiro amarelo. A presente pesquisa foi desenvolvida, no período de 03/2023 a 03/2024, em área experimental, pertencente ao Centro de Ciências Humanas e Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba, Campus - IV, Catolé do Rocha, PB, localizado no alto sertão paraibano. O experimento foi conduzido em arranjo fatorial 5 X 2 distribuídas em blocos casualizados com quatro repetições e quatro plantas por parcela, perfazendo 40 parcelas. O fator A foi relativo às doses de silício no solo de 0,0; 27, 54, 81 e 108 g planta⁻¹ sob a forma de solução de ácido silícico e o fator B, foi referente aos dois níveis de matéria orgânica do solo (valor existente no solo -1,0% e elevado o teor para 4%). As variáveis analisadas foram os atributos químicos da fertilidade do solo, os teores de macro e micronutrientes na matéria seca e silício no solo e na planta. Os dados foram submetidos ao teste F com 95% de confiança e regressões linear e polinomiais. A aplicação de doses acima de 82 g planta⁻¹ de Si associado com a aplicação de matéria orgânica promoveu maior nutrição mineral do maracujazeiro- azedo e maior fertilidade do solo em macronutrientes, micronutrientes e silício, promovendo maior produtividade de frutos de maracujá.

Palavras-chave: *Passiflora edulis Sims*, atributos químicos do solo, adubação silicatada, adubação orgânica, estado nutricional do maracujazeiro, componentes de produção.

ABSTRACT

The yellow passion fruit, also called sour passion fruit, belonging to the Passifloraceae family, has a great representation on the national scene in fruit production, standing out as a crop with great potential for expansion in the semi-arid region of Paraíba. In this context, the aim of this study was to evaluate the influence of silicon and organic fertilization with cattle manure on the fertility of a FLUVIC NEOSOL, on mineral nutrition and on the productivity of yellow passion fruit. This research was carried out, from 03/2023 to 03/2024, in an experimental area, belonging to the Center for Human and Agricultural Sciences of the State University of Paraíba, Campus - IV, Catolé do Rocha, PB, located in the high backlands of Paraíba. The experiment was conducted in a 5 x 2 factorial arrangement distributed in randomized blocks with four replications and four plants per plot, totaling 40 plots. Factor A was related to silicon doses in the soil of 0.0; 27, 54, 81 and 108 g plant⁻¹ in the form of silicic acid solution and factor B, referring to the two levels of organic matter in the soil (value existing in the soil -1.0% and increasing the content to 4 %). The variables analyzed were the chemical attributes of soil fertility, the levels of macro and micronutrients in dry matter and silicon in the soil and plants. The data were subjected to the F test with 95% confidence and linear and polynomial regressions. The application of doses above 82 g plant⁻¹ of Si associated with the application of organic matter promoted greater mineral nutrition of the sour passion fruit and greater soil fertility in macronutrients, micronutrients and silicon, promoting greater productivity of passion fruit fruits.

Keywords: *Passiflora edulis* Sims, soil chemical attributes silicate fertilizer, organic fertilizer, nutritional status of the passion fruit, production components.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: DADOS CLIMÁTICOS MENSIS DURANTE A CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	20
FIGURA 2: VALORES DE PH DO SOLO EM FUNÇÃO DAS DOSES DE SILÍCIO E ESTERCO BOVINO.....	30
FIGURA 3: CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO (CE) EM FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO E ESTERCO BOVINO	31
FIGURA 4: TEORES DE FÓSFORO (P) DO SOLO EM FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO E ESTERCO BOVINO.....	33
FIGURA 5: TEORES DE CÁLCIO (CA) DO SOLO EM FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO E ESTERCO BOVINO.....	34
FIGURA 6: TEORES DE MAGNÉSIO (MG) DO SOLO EM FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO E ESTERCO BOVINO.....	35
FIGURA 7: TEORES DE POTÁSSIO (K) DO SOLO EM FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO E ESTERCO BOVINO	36
FIGURA 8: TEORES DE SÓDIO (NA) DO SOLO EM FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO E ESTERCO BOVINO.....	37
FIGURA 9: TEORES DE ENXOFRE (S) DO SOLO EM FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO (A) E ESTERCO BOVINO (B).....	38
FIGURA 10: A SOMA DE BASE DO SOLO (SB) EM FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO E ESTERCO BOVINO.....	38
FIGURA 11: TEORES DE BORO (B) NO SOLO EM FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO (A) E ESTERCO BOVINO (B).....	39
FIGURA 12: TEORES DE COBRE (CU) NO SOLO EM FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO (A) E ESTERCO BOVINO (B).....	40
FIGURA 13: TEORES DE FERRO (FE) NO SOLO EM FUNÇÃO DE NÍVEIS DE SILÍCIO (A) E ESTERCO BOVINO (B).....	42
FIGURA 14: TEOR DE MANGANÊS (MN) NO SOLO EM FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO (A) E ESTERCO BOVINO (B).....	43
FIGURA 15: TEORES DE ZINCO (ZN) NO SOLO EM FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO (A) E ESTERCO BOVINO(B).....	44
FIGURA 16: TEORES DE SILÍCIO NO SOLO (SI), EM FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO (A) E ESTERCO BOVINO (B).....	45

FIGURA 17: TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO (MOS) EM FUNÇÃO DE NÍVEIS DE SILÍCIO (A) E ESTERCO BOVINO (B).....	46
FIGURA 18: ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DAS VARIÁVEIS MACRONUTRIENTES, MICRONUTRIENTES, SÓDIO, SILÍCIO E MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO DE UM NEOSSOLO FLÚVICO CULTIVADO COM MARACUJAZEIRO AMARELO.....	48
FIGURA 19: TEORES DE NITROGÊNIO (N) NAS FOLHAS DE PLANTAS DE MARACUJAZEIRO AMARELO EM FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO E ESTERCO BOVINO.....	52
FIGURA 20: TEORES DE FÓSFORO (P) NAS FOLHAS DE PLANTAS DE MARACUJAZEIRO AMARELO EM FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO E ESTERCO BOVINO.....	52
FIGURA 21: TEORES DE POTÁSSIO (K) NAS FOLHAS DE PLANTAS DE MARACUJAZEIRO AMARELO EM FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO E ESTERCO BOVINO.....	54
FIGURA 22: TEORES DE CÁLCIO (CA) NAS FOLHAS DE PLANTAS DE MARACUJAZEIRO AMARELO EM FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO E ESTERCO BOVINO.....	55
FIGURA 23: TEORES DE MAGNÉSIO (MG) NAS FOLHAS DE PLANTAS DE MARACUJAZEIRO AMARELO EM FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO E ESTERCO BOVINO.....	56
FIGURA 24: TEORES DE ENXOFRE (S) NAS FOLHAS DE PLANTAS DE MARACUJAZEIRO AMARELO EM FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO E ESTERCO BOVINO.....	57
FIGURA 25: TEORES DE FERRO (FE) NAS FOLHAS DE PLANTAS DE MARACUJAZEIRO AMARELO EM FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO E ESTERCO BOVINO.....	58
FIGURA 26: TEORES DE MANGANÊS (MN) NAS FOLHAS DE PLANTAS DE MARACUJÁ-AMARELO EM FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO E ESTERCO BOVINO.....	59
FIGURA 27: TEORES DE COBRE (CU) NAS FOLHAS DE PLANTAS DE MARACUJAZEIRO AMARELO EM FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO VIA SOLO.....	60
FIGURA 28: TEORES DE ZINCO (ZN) NAS FOLHAS DE PLANTAS DE MARACUJAZEIRO AMARELO EM FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO E ESTERCO BOVINO.....	61

FIGURA 29: TEORES DE BORO (B) NAS PLANTAS DE MARACUJAZEIRO AMARELO EM FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO E ESTERCO BOVINO.....	62
FIGURA 30: MOLIBDÊNIO (MO) NAS FOLHAS DE PLANTAS DE MARACUJAZEIRO AMARELO EM FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO E ESTERCO BOVINO.....	63
FIGURA 31: SÓDIO (NA) NAS FOLHAS DE PLANTAS DE MARACUJAZEIRO AMARELO EM FUNÇÃO DE NÍVEIS DE SILÍCIO VIA SOLO E ESTERCO BOVINO.....	65
FIGURA 32: SILÍCIO (SI) NAS FOLHAS DE MARACUJAZEIRO AMARELO EM FUNÇÃO DE NÍVEIS DE SILÍCIO VIA SOLO E ESTERCO BOVINO.....	66
FIGURA 33: ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DAS VARIÁVEIS NUTRICIONAIS E DA PRODUÇÃO DE FRUTOS DO MARACUJAZEIRO AZEDO EM FUNÇÃO DAS DOSES DE SILÍCIO E ESTERCO BOVINO NO SOLO.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização do solo em relação as propriedades químicas quanto à fertilidade e físicas antes da instalação do experimento.....	21
Tabela 2: Caracterização química da água de poço utilizada para irrigação das plantas.....	23
Tabela 3: Caracterização química do esterco bovino utilizado no experimento.....	24
Tabela 4: Síntese da análise de variância pelo valor F, para o potencial Hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), enxofre (S), capacidade de troca de cátions (CTC), boro (B), Cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), Zinco (Zn), molibdênio (Mo), silício (Si) e adubação orgânica no solo (MOS), sob níveis de silício (Si) e adubação orgânica no solo (MOS).....	28
Tabela 5: Síntese da análise de variância pelo valor 'F', para os teores foliares de macronutrientes e micronutrientes no maracujazeiro amarelo sob doses de silício (Si) e adubação orgânica no solo (MOS).....	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	O maracujazeiro amarelo	14
2.2	Importância econômica	15
2.3	Exigências da cultura	16
2.4	Neossolo flúvico	17
2.5	O silício no solo e nas plantas	17
2.6	Esterco bovino no solo e nas plantas	19
3	MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1	Descrição do local do experimento	20
3.2	Delineamento experimental e material vegetal	21
3.3	Manejo da cultura	22
3.4	Análises experimentais	25
3.5	Análises estatísticas	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1	Macronutrientes, micronutrientes, sódio, silício e matéria orgânica do solo ...	27
4.2	Análise dos componentes principais relativos à fertilidade do solo	48
4.3	Estado nutricional e produção do maracujazeiro amarelo de macronutrientes, micronutrientes, sódio e silício no maracujazeiro azedo	49
4.4	Componentes principais das variáveis nutricionais do maracujazeiro-azedo ...	67
5	CONCLUSÕES	68
	REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

A fruticultura é um dos setores de maior destaque no agronegócio brasileiro, sendo uma atividade agrícola de grande importância em relação a aspectos econômicos e sociais. O Brasil, atualmente é um dos países com maior potencial para a fruticultura, principalmente devido a fatores relacionados às condições climáticas favoráveis e a disponibilidade de área para o cultivo. (Nava, et. al, 2019).

Na fruticultura brasileira destaca-se o maracujazeiro azedo (*Passiflora edulis Sims*), uma espécie frutífera, que apresenta ampla distribuição geográfica, sendo nativa de clima tropical. O maracujazeiro azedo, pertencente à família Passifloraceae e ao gênero *Passiflora* é considerado o maior representante da família, na qual existem mais de 150 espécies que compõe este gênero (Bernacci et al., 2015). Segundo Chagas et al. (2016), das espécies passifloráceas 90% delas tem como centro de origem principal o continente americano e o Brasil como centro de origem. No entanto, as espécies de maior interesse econômico no Brasil e no mundo são: maracujá-amarelo, maracujá-roxo (*Passiflora edulis Sims*) e maracujá-doce (*Passiflora alata*) (Nunes, 2020).

O maracujazeiro-amarelo, também conhecido como maracujá azedo tem seu cultivo no Brasil concentrado em médias e pequenas propriedades, crescendo espontaneamente, como também a nível comercial em todos os estados da federação (Alves et al., 2012b), e, constitui cerca de 95% dos pomares brasileiros em detrimento as demais espécies (Botelho et al., 2019). Em 2022, a área de 45.602 (ha) cultivada com maracujá amarelo rendeu em média 15,30 t ha⁻¹, totalizando uma produção de 697. 859 toneladas (t), fato esse, que caracteriza o Brasil como maior produtor de maracujá do mundo (IBGE, 2022). Dentre as regiões produtoras de maracujá, o Nordeste representa cerca de 69, 8% da produção nacional com o quantitativo de 468.893 t, valor esse que a torna como a região maior produtora dessa cultura (IBGE, 2022).

Apesar de o Brasil ser mundialmente o maior produtor de maracujá, sua produção ainda é considerada baixa tendo em vista o potencial da cultura (Carvalho et al., 2000) e isso implica na resolução de alguns gargalos para que essa cultura realmente expresse seu verdadeiro potencial e consolidar-se-á na economia brasileira.

Dentre os fatores que influenciam na baixa produção da cultura, pode-se destacar: o solo, espécie cultivada, clima, nutrição mineral, qualidade da água de irrigação e quantidade do adubo (Nunes et al., 2020).

Em 2022 (IBGE), a Paraíba ocupou a 14^a posição na produção de maracujá amarelo, apresentando uma área colhida de 1072 há e uma produção de 10.357 toneladas, o que mostra um baixo rendimento tendo como principais fatores limitantes, o clima, o manejo inadequado da cultura, a nutrição mineral do vegetal.

A nutrição mineral do vegetal destaca-se como um dos fatores que contribuem significativamente para o aumento da produtividade. No entanto, algumas ferramentas estão sendo aplicadas no cultivo do maracujazeiro, como a adubação com elementos benéficos, que influenciam de maneira positiva nas características agrônômicas desejáveis. Nas plantas, a presença do silício fornece maior resistência ao acamamento, diminuição do ataque por pragas e doenças (por conta de alterações na anatomia da planta, como a formação de células epidérmicas mais grossas e maior grau de lignificação e/ou silicificação), maior resistência a condições adversas, causadas por situações de estresse biótico e abiótico, como menor efeito deletério provocado pela geada, menor taxa de evapotranspiração (em situações de déficit hídrico), favorecimento de nodulação em leguminosas, ativação da atividade de enzimas (Rajput et al., 2021).

Na agricultura atual, o silício (Si) foi reconhecido como um nutriente de grande relevância para uma série de culturas, entre elas as mais importantes são o arroz (*Oryza sativa*) e a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), desempenhando um papel no crescimento e desenvolvimento dessas culturas. Além disso, algumas pesquisas demonstram que o silício no solo contribui para maior absorção de nutrientes em outras culturas, como nitrogênio (N) e potássio (K). A aplicação de Si tem a capacidade de potencializar a taxa ideal de N, aumentando assim, a produtividade da cultura, além de promover folhas eretas, o que poderia explicar um aumento de 10 % na fotossíntese. O Si é encontrado em todas as plantas agrícolas, estando presente em todos os tecidos vegetais na proporção de 0, 1 a 10 % da matéria seca (Pati et al., 2016).

Além da adubação mineral, é de suma importância a utilização da adubação orgânica para solo, pois apresenta capacidade de modificar relações físico-químicas do solo, alterando a disponibilidade de nutrientes e além disso podendo aumentar os atributos químicos no sistema edáfico, aumentando relações entre microrganismos do solo e sua fauna edáfica (Dhaliwal et al., 2019).

A matéria orgânica do solo também desempenha papel fundamental na nutrição do solo, atuando na capacidade de troca de cátions (CTC) de forma que quanto maior o teor de carbono orgânico no solo maior a CTC, e com isso maior a capacidade de adsorção de cátions (EMBRAPA, 2022).

Grande parte dos cátions adsorvidos pelo solo são nutrientes que podem ser utilizados pelas plantas como por exemplo cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+). Logo, o aumento da matéria orgânica do solo pode melhorar a nutrição das plantas em virtude de uma maior disponibilidade de nutrientes adsorvidos no solo (Chakma et al., 2022).

Diante do exposto, levando em consideração que o sertão paraibano se caracteriza por apresentar temperaturas do ar relativamente altas e, pluviosidade baixa, é de grande relevância buscar ferramentas que além de mitigar possíveis efeitos deletérios a cultura do maracujá-amarelo, proporcione ganhos na resolução dos gargalos frente a baixa produtividade. Dessa forma, objetivou-se avaliar a aplicação do silício associado à matéria orgânica (esterco bovino) na melhoria da fertilidade do solo, na nutrição mineral e no rendimento produtivo do maracujazeiro-azedo cultivado no Sertão paraibano.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O maracujazeiro amarelo

A família Passifloraceae, *sensu stricto*, engloba cerca de 16 gêneros e aproximadamente 630 espécies distribuídos em duas tribos, Passiflorieae DC. e Paropsieae DC. (DEGINANI, 1999). A maioria das espécies da família encontram-se dentro do gênero *Passiflora* L., contemplando cerca de 520 espécies (Macdougall e Feuillet 2004), caracterizando-o com uma grande diversidade e apresentando grande importância econômica.

Dentro do gênero *Passiflora*, do ponto de vista comercial, merece destaque *Passiflora edulis* Sims, sendo conhecido como maracujazeiro-amarelo ou maracujazeiro azedo, espécie mais cultivada dentro do gênero, e explorada em todos os estados do Brasil (IBGE, 2022), possuindo grande valor nutricional, econômico, na indústria de cosméticos, na medicina.

As plantas de maracujazeiro azedo são caracterizadas por serem espécies trepadeiras herbáceas ou lenhosas, que se prendem aos suportes, utilizando-se de estruturas denominadas de gavinhas que desenvolvem principalmente nas axilas das folhas (Bruckner e Picanço, 2001). A raiz é do tipo axial ou pivotante, com maior concentração de raiz nos primeiros 30 cm de profundidade, ou seja, mais de 50% das raízes encontram-se na camada superficial do solo, enquanto 60 a 80% localizam-se a menos de 50 cm (São José, 1994).

O estudo realizado por Freitas et al. (2009) com maracujazeiro-azedo fertirrigado mostrou que 97 a 99,4% do sistema radicular estão concentrados na camada de 0 a 30 cm de profundidade. O caule se apresenta glabro ou piloso, sendo este lenhoso na base e bastante lignificado, reduzindo o teor de lignina conforme se aproxima do ápice, e com formato cilíndrico ou ligeiramente anguloso, quando jovem. Os ramos são de coloração verde, variando um pouco a tonalidade, semi-flexíveis e trepadores (São José, 1994).

As folhas são simples, alternadas, trilobadas, exceto quando jovens, que são inteiras ou bilobadas, de base cordada, ápice acuminado e margem serrilhada. Encontram-se, nos bordos, glândulas oval-elípticas. Além disso, apresentam três nervações mais desenvolvidas partindo da região basal da lâmina, ou seja, nervação palminérvea. O tamanho da folha varia de 7 a 12 cm de comprimento por 11 a 13 cm de largura.

O pecíolo, de 2 a 3 cm de comprimento, cerca de 1 mm de 9 diâmetro, é comumente dotado de glândulas nectaríferas ocelares no ápice, próximo ao limbo foliar (Carvalho-Okano e Vieira, 2001; Beraldo e Kato, 2010).

As flores do maracujazeiro-azedo são hermafroditas, axilares e solitárias, geralmente radiadas, possuem cerca de 7 cm de diâmetro com cinco sépalas de coloração verde na parte externa e branca internamente, livres e oblongas; com cinco pétalas livres, brancas. A corona é formada por vários elementos filamentosos brancos com coloração púrpura na base. O androceu possui cinco estames com filetes presos nos dorsos de grandes anteras. O gineceu é tricarpelar, com um estigma acoplado em cada estilete bem definido ligado a um ovário súpero, globoso, unilocular, placentação parietal, pluriovular (Carvalho-Okano e Vieira, 2001; Souza e Pereira, 2011).

A abertura das flores do maracujazeiro é por volta do meio dia com o fechamento às vinte horas, aproximadamente, é rápida e sincronizada. Uma vez fecundado os óvulos, ocorre o desenvolvimento dos frutos, ao invés disso, as flores murcham e caem (São José, 1994). Além disso, as flores apresentam uma particularidade em relação à curvatura do estilete, onde os mesmos podem ser totalmente curvos (TC), parcialmente curvos (PC) ou ainda ser sem curvatura (SC), com a possibilidade de os três tipos ocorrerem em uma mesma planta (Ruggiero, 1980).

O fruto é classificado como sendo uma baga globosa, apresentando 5 a 7,5 cm de diâmetro e de coloração amarelo canário, quando maduro. A polpa é amarelo alaranjada, tendo em média de duzentas a trezentas sementes por fruto, que são comprimidas lateralmente, reticuladas, pretas e cobertas por arilo saciforme, succulento de origem funicular (Carvalho-Okano e Vieira, 2001).

2.2 Importância econômica

A cultura do maracujazeiro- amarelo vem ocupando um lugar de destaque na fruticultura tropical brasileira, sendo uma atividade que se expandiu completamente nos últimos 30 anos (Meletti et al., 2010). A produção dos frutos do maracujazeiro –amarelo no Brasil é uma atividade de grande interesse em função do ciclo curto, rápido e retorno econômico e grande mercado consumidor, tanto para o mercado de frutas frescas quanto para o de indústrias de processamento, principalmente, na forma de suco, geleias, polpas e sorvetes (Faleiro, 2018).

O cultivo de maracujazeiro-amarelo é de grande importância para médias e pequenas propriedades rurais. O maracujá-amarelo (*Passiflora edulis Sims.*), também conhecido como maracujá-azedo, representa, aproximadamente, 95% da produção nacional. (Meletti, 2011). Sua importância social está no fato de que a atividade propicia em torno de seis empregos por hectare, sendo dois diretos e quatro indiretos, estando diretamente associado à produção de base familiar (COSTA et al., 2005).

O resultado da falta de investimento, do baixo emprego de tecnologia de produção e principalmente do cultivo em ambientes com severas restrições hídricas e climáticas no Nordeste Brasileiro ocasionam na baixa produtividade (Segundo Freire et al, 2010).

2.3 Exigências da cultura

No Brasil, são várias as cultivares de maracujá-azedo disponíveis, sendo essencial que o agricultor teste as diferentes cultivares e selecione aquela que melhor se adapte à sua região, pois a produtividade dessa espécie é muito influenciada pelo ambiente (Jesus et al., 2017).

O maracujazeiro-amarelo desenvolve-se bem em regiões de clima tropical e subtropical, com altitudes entre 100 a 900m, e a temperatura entre 20 e 32° C é considerada como a mais favorável ao crescimento da planta (Gazel Filho e Nascimento, 1998). O regime pluviométrico considerado ideal para a espécie varia entre 700 a 1800 mm/ano. Em regiões com chuvas intensas e frequentes no período de floração dificultam a polinização, pois o grão de pólen estoura em contato com a umidade, e em secas prolongadas causam a queda de frutos (Gazel Filho e Nascimento, 1988).

A planta se desenvolve bem em diferentes tipos de solo (arenosos ou levemente argilosos), desde que sejam profundos, férteis, com boa drenagem e PH entre 5,0 a 6,0 (Ruggiero et al. 1996). A propagação da espécie no Brasil para fins comerciais é, predominantemente, realizada por meio de sementes. Entretanto, pode ser propagada vegetativamente através da enxertia ou estaquia, as quais são utilizadas para a manutenção dos materiais genéticos com características agrônômicas favoráveis à multiplicação de plantas produtivas e tolerantes/resistentes a pragas e doenças. Este método de propagação é mais utilizado em programas de melhoramento genético da espécie, pois para fins comerciais, o custo de produção e tempo requerido para a formação das plantas é elevado (Lima et al., 2011).

2.4 Neossolo flúvico

Neossolos são solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso, com pequena expressão dos processos pedogenéticos, em consequência da baixa intensidade de atuação desses processos, que não conduziram ainda, as modificações expressivas do material originário, de características do próprio material, pela sua resistência ao intemperismo ou composição química, e do relevo, que podem impedir ou limitar a evolução desses solos. A classe dos neossolos é dividida em: Neossolos flúvicos, neossolos litólicos, neossolos Quartzarênicos e Neossolos regolíticos. (EMBRAPA, 2013).

O Neossolo Flúvico devido sua heterogeneidade dos atributos físicos e químicos, é uma classe de solo que pode apresentar alta, média, e até mesmo de baixo potencial agrícola, dependendo dos fatores restritivos que os solos desta classe podem apresentar.

As principais restrições desse solo são: riscos de inundação, baixa fertilidade natural, excesso de umidade pela presença do lençol freático próximo à superfície e dificuldade no manejo mecanizado quando apresentam a textura muito argilosa. Quando ocorrem com a textura média e apresentam boa drenagem, oferecem alto potencial para o uso da agropecuária. (EMBRAPA, 2021).

O manejo do solo exerce influência direta sobre a produtividade das culturas agrícolas sendo determinante seu conhecimento para obtenção de produções economicamente viáveis (Menezes et al., 2012; Souza, et al, 2014).

2.5 O silício no solo e nas plantas

São reconhecidos, atualmente, 17 elementos como essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo estes: carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni) e zinco (Zn) (Dechen e Nachtigall, 2006).

Alguns elementos não são classificados como essenciais, por não atenderem aos critérios de essencialidade, mas atuam melhorando certas respostas das plantas, como por exemplo, o crescimento e desenvolvimento, melhoria do desempenho frente aos estresses bióticos e abióticos e auxiliando no uso de outros nutrientes, sendo estes denominados de elementos benéficos (Temiz, 2017). Estes são denominados elementos benéficos e diversos estudos são realizados para conhecimento da razão de não essencialidade. Pode-

se destacar dentre estes o sódio (Na), cobalto (Co), silício (Si) (Korndorfer e Souza, 2018, P. 563) e o selênio (Se) (Dechen e Nachtigall, 2006, P. 126).

O Si é considerado elemento benéfico para diversas culturas de interesse econômico, como, por exemplo, arroz (*Oryza sativa*), batata (*Ipomoea batatas*) e cana-de-açúcar (*Sacharrum officinarum*) (Camargo et al., 2007c; Pulz et al., 2008). A utilização do elemento no país em pesquisas e em cultivos comerciais, foi potencializada após a inclusão deste como micronutriente na legislação de fertilizantes pelo Ministério da Agricultura (Brasil, 2004)

O nutriente ocupa 27,7% da crosta terrestre, sendo o segundo elemento mais abundante, encontrado na forma de óxidos (SiO_2) na natureza, o qual faz parte de rochas, areia e argila (Dechen e Nachtigall, 2006, p. 127). A origem do Si é dependente do grau de intemperismo do solo; assim, sua presença é maior em solos jovens, a exemplo dos cambissolos (Menegale; Castro e Mancuso, 2015).

Esse elemento é considerado benéfico por estar relacionado com uma série de efeitos indiretos, como o aumento na capacidade fotossintética, aumento da resistência ao acamamento, redução da taxa transpiratória, estímulo da resistência das plantas a pragas e doenças, redução do efeito tóxico do Mn, Fe, Al e Na, além do aumento na absorção de outros elementos, tais como o fósforo (Lana et al., 2003).

Ma e Yamaji (2002) apontam que os aspectos ambientais não interferem no acúmulo de Si nas plantas, pois o elemento é abundante em quase todos os solos. Os mesmos autores observam que as plantas que acumulam Si geralmente apresentam baixas concentrações de cálcio e vice-versa. Além disso, (os autores) propõem critérios para diferenciar plantas não acumuladoras das acumuladoras de Si: as espécies acumuladoras têm uma concentração acima de 1% e a razão Si/Ca tem que ser maior que 1; as espécies não acumuladoras têm uma concentração abaixo de 0,5% e a razão Si/Ca é menor que 0,5; as plantas que não atendem esses critérios são chamadas de intermediárias.

A absorção de Si da solução do solo ocorre preferencialmente na forma de ácido monossilícico (H_4Si_4), sendo que sua concentração varia de 0,1 a 0,6 mmol L⁻¹ (Epstein, 1999). A entrada de Si nas células das raízes pode ocorrer pela ocupação do simplasto ou apoplasto, através do processo de difusão ativa ou por canais de água (Raven, 2001). A absorção também pode ocorrer por meio de proteínas de membranas específicas para o ácido monossilícico (Korndörfer & Souza, 2018,). Assim, o Si é considerado o único elemento que quando absorvido em excesso pelas plantas não acarreta prejuízos no seu desenvolvimento (Camargo 2016).

As raízes das plantas absorvem o ácido silícico da solução do solo, que é comumente encontrado em concentrações que variam de 0,1 a 0,6 mM nos níveis de pH encontrados na maioria dos solos agrícolas (Epstein e Bloom, 2006). Takahashi et. al. (1990) propuseram três possíveis tipos de absorção de Si em plantas superiores em relação à absorção de água: o ativo, em que a absorção de Si é mais rápida do que a absorção de outros elementos inorgânicos presentes na água; o passivo, a absorção é similar ou menor do que de outros elementos inorgânicos presentes na água.

Alguns genes transportadores são requeridos para a absorção, translocação e distribuição do Si. Os genes que transportam Si são denominados Lsi1, Lsi2 e Lsi6. Esses genes são específicos em sintetizar proteínas de membranas que atuam no mecanismo de absorção do Si, e são dependentes de energia (Ma et, al., 2006).

2.6 Esterco bovino no solo e nas plantas

A utilização de esterco é uma alternativa amplamente adotada para o suprimento de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, em áreas de agricultura familiar na região semi-árida e agreste do Nordeste do Brasil (Menezes e Salcedo, 2007).

Assim como o silício contribui para o desenvolvimento do vegetal, a matéria orgânica também se apresenta como componente de grande relevância para fertilidade do solo, sendo fonte de nutrientes essenciais para as plantas. Entre as funções desempenhadas pela matéria orgânica, pode se citar: enriquecimento do solo melhorando os processos desencadeados por microorganismos tais como: liberação de nutrientes para as plantas, fixação mais eficiente de nitrogênio, melhoria das características físicas do solo e crescimento mais rigoroso do vegetal.

O esterco bovino curtido possui a capacidade de melhorar a relação Carbono/Nitrogênio (C/N), bem como promover o aumento de macros e micronutrientes e aumentar a retenção hídrica do solo. O uso de compostos orgânicos, que são produzidos a partir destes subprodutos, permite melhorar a fertilidade do solo, além de serem excelentes condicionadores, melhorando suas características físicas, químicas e biológicas. (Miyasak et al, 1997).

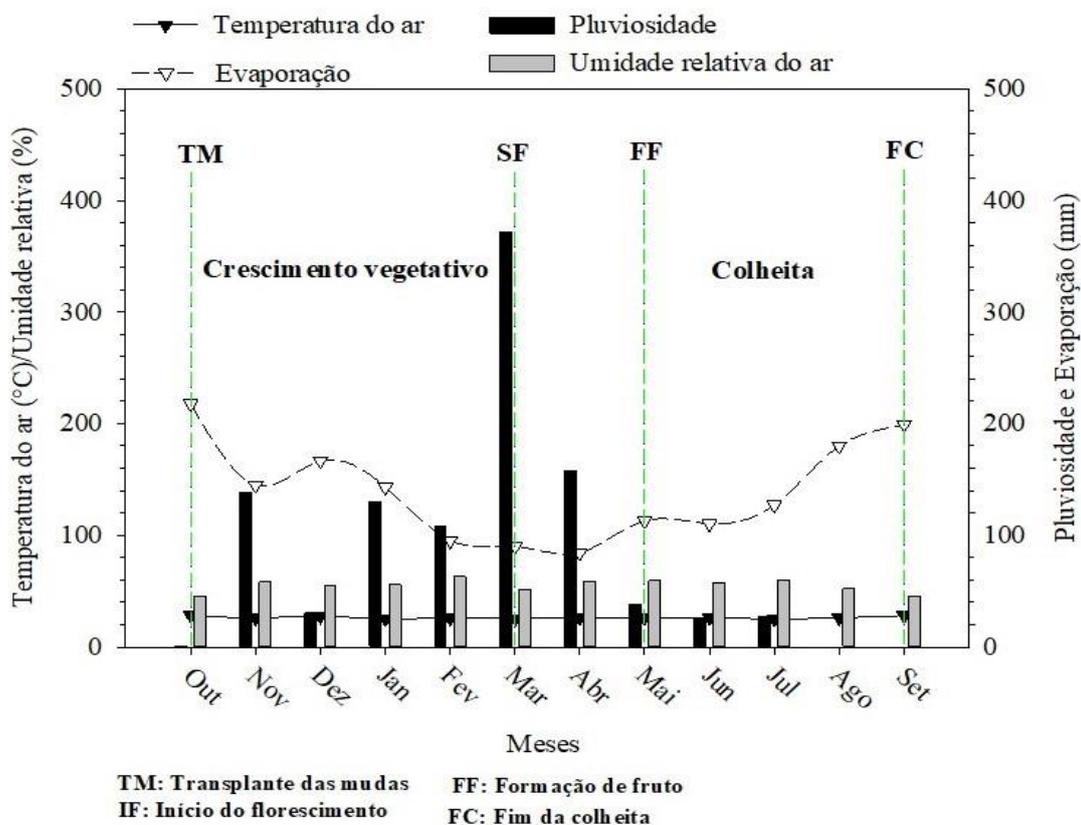
A ausência de informações sobre os níveis adequados de nutrientes a serem aplicados em cada condição de plantio, tem afetado o desenvolvimento da cultura, principalmente em solos de regiões tropicais que geralmente tem baixa fertilidade (Carvalho et al., 2000).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Descrição do local do experimento

O experimento foi desenvolvido no período de outubro de 2022 a setembro de 2023 em área experimental localizada no Centro de Ciências Humanas e Agrárias, pertencente a Universidade Estadual da Paraíba, município de Catolé do Rocha, Estado da Paraíba, Brasil. A área experimental está georreferenciada pelas coordenadas: latitude 6° 20' 38" S, longitude 37° 44' 48" O do Meridiano de Greenwich e a uma altitude de 275 m. O clima da região é do tipo BSw'h', segundo classificação de Köppen, que é caracterizado como clima semiárido quente, com duas estações distintas, uma chuvosa com precipitação irregular e outra sem precipitação (Alvares et al. 2013). A temperatura média do ar, a umidade relativa do ar, a evaporação de referência, a pluviosidade e a irrigação do período em que a referida pesquisa foi desenvolvida constam na Figura 1.

Figura 1: Dados climáticos mensais durante a condução do experimento



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

O solo da área experimental, segundo os critérios do brasileiro de Classificação de solo, foi classificado como NEOSSOLO FLUVICO eutrófico (SANTOS et al. 2018).

Antes da instalação do experimento, amostras simples de solo na camada de 0-0.20 m foram coletadas, homogeneizadas e transformadas em uma amostra composta para caracterização dos atributos químicos quanto à fertilidade e dos atributos físicos (Tabela 1), empregando as metodologias contidas Teixeira et al. (2017).

Tabela 1. Caracterização do solo em relação as propriedades químicas quanto à fertilidade e físicas antes da instalação do experimento.

Fertilidade		Propriedades físicas	
pH	6.00	areia (g kg ⁻¹)	831.5
P (mg dm ⁻³)	16.63	silte (g kg ⁻¹)	100.0
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0.08	Argila (g kg ⁻¹)	68.5
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1.09	DW (g (kg ⁻¹))	0.00
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1.12	Df (kg dm ⁻³)	1,000
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0.05	D _s (g cm ⁻³)	1.53
SB (cmol _c dm ⁻³)	2.34	D _p (g cm ⁻³)	2.61
H ⁺ +Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1.24	Pt (m ³ m ⁻³)	0.42
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0	H0.01MPa (g kg ⁻¹)	65
CEC (cmol _c dm ⁻³)	3.58	H0.03MPa (g kg ⁻¹)	49
V (%)	65.36	H1.50MPa (g kg ⁻¹)	28
MOS (g kg ⁻¹)	13.58	Classe textural	Areno-argilosa

Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

MOS = Matéria orgânica do solo; SB = Soma de bases trocáveis (SB = Ca²⁺+Mg²⁺+K⁺+Na⁺); CTC = Capacidade de troca catiônica [CTC = SB (Ca²⁺+Mg²⁺+K⁺+Na⁺)]; V= Saturação do solo por bases trocáveis [V = (SB/CTC) × 100; Ada = Argila dispersa em água; Df= Grau de floculação {Gf = [(Argila-Ada)/Argila] x 100}; D_s e D_p = respectivamente densidade do solo e de partículas; Pt. M e m = Respectivamente. porosidade total. macro e microporosidade do solo; U_{vcc}. U_{vmp} = Respectivamente. umidade volumétrica ao nível de capacidade de campo e do ponto de murchamento permanente nas tensões de -0.033 e -1.500 Mpa do solo; Adi = Água disponível no solo; FAA = Franco argila arenosa.

3.2 Delineamento experimental e material vegetal

O experimento foi distribuído em blocos casualizados, no esquema fatorial 5 × 2, com quatro blocos e quatro plantas por parcela, sendo considerada as duas plantas centrais como parcela útil. Os tratamentos foram referentes as doses de 0,0; 27, 54, 81 e 108 g planta⁻¹ de silício no solo sem e com aplicação de matéria orgânica na forma de esterco bovino para elevar o teor inicial do solo de 1,2% (Tabela 1) para 4,0%.

A dose de Si aplicado seguiu as sugestões contidas em Costa et al. (2018), utilizando o produto comercial Sifol®, que contém na sua composição química: 92% de SiO₂, 42,9% de Si, densidade aparente variando de 80-140 g L⁻¹, tamanho de partícula

variando de 8 a 12 e pH variando de 6.0 a 7.5. As aplicações de silício foram realizadas à 0.2 m do colo das plantas na proporção 1:1 (v:v) nas fases de transplântio das mudas, floração e frutificação.

O material vegetal em estudo foi o maracujazeiro-azedo acesso “Guinezinho” propagado via sementes em viveiro credenciado pelo Ministério de Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). As mudas foram preparadas em sacos de polietileno preto com capacidade de 1,5 L contendo substrato de uma mistura de partes iguais de material de solo da camada superficial (0-0.2 m) e esterco bovino curtido.

Em cada saco foram semeadas duas sementes que iniciou a germinação aos sete dias após a sementeiras (DAS) e estabilizou aos 30 DAS, momento que realizou o desbaste das plantas com auxílio de uma tesoura, deixando-se a mais vigorosa.

3.3 Manejo da cultura

Ao longo do experimento, foi realizado controle preventivo e curativo fitossanitários com pulverizações quinzenais com pesticidas registrados no Ministério da Agricultura para o maracujazeiro- amarelo. Assim, foram feitas controle da Dione juno juno (*Agraulis vanillae vanillae*), Percevejos (*Diactor bilineatus*), moscas-das-frutas (*Anastreapha pseudoparallela*) e mosca-do-botão floral (*Protearomya* sp) com os inseticida/fungicida de contato e ingestão, Fenthion 500 (100 mL/1000 de água) e Thiobel 500 (120g/100 L de água)

Aos 60 DAS, as mudas foram levadas à campo para o transplântio. O sistema de condução utilizado foi o espaldeira com arame liso nº 12 no topo das estacas à altura de 2 m e espaçadas em 3 m entre si. Nas extremidades de cada linha foram colocados mourões com diâmetro de 0.2 m para suporta a tensão imposta pelo sistema de condução e pelas plantas. O espaçamento utilizado foi 3 m entre plantas e 2 m entre linhas, equivalendo a uma densidade de 1667 planta ha⁻¹.

As plantas foram irrigadas diariamente com água de poço com restrição moderada quanto a salinidade e sem risco em sodificação para atividade agrícola (C₂S₁ e CE = 1,01 dS m⁻¹), conforme classificação contidas em Ayres e Westcot (1999). Antes do início da irrigação, foi realizada a análise química da água seguindo as metodologias contidas em Richards (1954) e como verificado na Tabela 2.

Tabela 2 Caracterização química da água de poço utilizada para irrigação das plantas

EC	pH	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	RAS	Classification
dS m ⁻¹					mmolc L ⁻¹				(mmol L ⁻¹) ^{1/2}	
1.01	6.9	1.21	2.50	1.48	6.45	8.1	2.75	0.18	4.57	C2S1

Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

EC = Condutividade elétrica à 25 °C; C2S1 = Moderado risco de salinização e baixo risco de sodificação do solo segundo Richards (1954). RAS= Razão de adsorção de sódio [SAR= Na⁺/(Ca²⁺+Mg²⁺/2)^{1/2}].

O método de irrigação utilizado foi o localizado por gotejamento com dois gotejadores autocompensantes com vazão de 10 L h⁻¹ instalados a 0.2 m do colo da planta em lados opostos, trabalhando à uma pressão de serviço de 1,5 Mpa. A lâmina de irrigação diária foi calculada pela metodologia da evapotranspiração da cultura (ET_c), que foi estimado pelo produto da evapotranspiração de referência (ET₀) pelo coeficiente da cultura (K_c), conforme metodologias contidas em Valipour (2017) e Anwar et al. (2021) – (Eq. 1).

$$ET_c = ET_0 \times k_c \quad (1)$$

Os coeficientes da cultura para o maracujazeiro-azedo foi de 0.3 nos primeiros 60 dias após o transplântio (DAT), 0.8 dos 61 aos 110 DAT (início da floração) e 1.2 do início da floração a formação dos frutos (160 DAT) e de 0.8 do início ao final da colheita dos frutos (SOUZA et al., 2018). Próximo à área experimental foi instalado um tanque classe “A” para a determinação do ET₀ através da multiplicação da evaporação diária (ET_a) pelo coeficiente de ajuste (K_t) de 0.75 (Eq. 2).

$$ET_a = ET_a \times K_t \quad (2)$$

As covas de plantio foram abertas nas dimensões de 0.4 m × 0.4 m × 0.4 m, totalizando volume de 64 dm³. Na abertura das covas, o volume de solo dos primeiro 0.2 m foi separado e adicionado 7,7 kg cova⁻¹ esterco bovino curtido para elevar o teor inicial do solo (1,2%) para 4%, calculado conforme metodologia em Bertino et al. (2015) – Eq.3. Além disso, foi adicionando as covas 95 g planta⁻¹ de superfosfato simples - SS (21% de P₂O₅, 16% de Ca e 10% de S) e 50 g planta⁻¹ de FTE-BR12 (3,9% de S, 1,8% de B, 0,85% de Cu, 2,0% de Mn e 9,0% de Zn).

$$QEB = (TMOD - TMOSP) \times VL \times Ds \times UEB/TMOEB \quad (3)$$

Em que:

QEB = Quantidade de esterco bovino a ser aplicado (kg cova⁻¹);

TMOD = Teor de matéria orgânica que deseja elevar (g kg^{-1});

TMOSP = Teor de matéria orgânica que o solo possui (g kg^{-1});

VL = Volume de cova (dm^3);

Ds = Densidade do solo (g dm^{-3});

UEB = Umidade do esterco bovino (%);

TMOEB = Teor de matéria orgânica existente no esterco bovino (%).

Antes da aplicação, o esterco bovino foi caracterizado quimicamente quanto os atributos de fertilidade (TEIXEIRA et al. 2017) e conforme verificado na Tabela 3.

Tabela 3 Caracterização química do esterco bovino utilizado no experimento.

Atributos	Valores	Atributos	Valores
pH (H_2O)	7.7	B (mg kg^{-1})	14.8
CE (dS m^{-1})	6.09	Fe (mg kg^{-1})	11,1129.9
MO (dag kg^{-1})	36.2	Cu (mg kg^{-1})	19.3
CO (g kg^{-1})	166.9	Mn (mg kg^{-1})	491.4
N (g kg^{-1})	13.9	Zn (mg kg^{-1})	65.3
C/N	12.0	Si (g kg^{-1})	12.5
P (g kg^{-1})	3.2	Na ⁺ (g kg^{-1})	3.5
K ⁺ (g kg^{-1})	18.7		
Ca ²⁺ (g kg^{-1})	16.2		
Mg ²⁺ (g kg^{-1})	6.1		
S (g kg^{-1})	2.5		
CTC ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$)	133.9		

Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

C = Oxidação de carbono por dicromato de potássio e determinado por colorimetria; N = Kjeldahl por digestão seca; C/N = relação carbono:nitrogênio; P - Mehlich-1 e fotocolorimetria, 660 nm; K⁺ e Na⁺ = Fotometria de chama; Ca²⁺ e Mg²⁺ = espectrometria de absorção atômica em 422,7 e 285,2 nm; S – espectrometria de absorção atômica em 420 nm; B e Fe = espectrometria UV-vis nos comprimentos de onda de 460 e 508 nm, respectivamente; Cu = espectrometria de absorção atômica em 324,7; Mn e Zn = espectrometria de absorção atômica em 231,9 e 279,5 nm, respectivamente, com chama de ar acetileno; CTC = capacidade de troca de cátions.

A partir dos 30 DAT foi realizada a adubação de cobertura, mensalmente, aplicando-se nitrogênio (N) e potássio (K) na proporção de 1:1 e utilizando a ureia (45% de N) e nitrato de cálcio (16% de N e 16% de Ca) como fonte de N e o sulfato de potássio (53% K₂O e 15% de S) como fonte de K. A adubação do maracujazeiro-amarelo,

respectivamente de N e K, seguiu a recomendação proposta por Souto et al. (2022) e foi realizado com (15 e 35 g) e 20 g até o final da fase vegetativa, (24 e 50 g) e 30 g do final da fase vegetativa ao início do florescimento e 33 e 60 g do final da floração até o final da colheita, totalizando 116, 200 e 350 g planta⁻¹ ano⁻¹ de ureia, nitrato de cálcio e sulfato de potássio. A adubação fosfatada foi realizada a cada três meses, e a partir dos 60 DAT, aplicando-se 50 g por planta⁻¹ de superfosfato simples do crescimento vegetativo ao início da floração e 100 g de SS do final da floração ao final da colheita, totalizando 250 g de planta⁻¹ ano⁻¹ de superfosfato simples.

3.4 Análises experimentais

Aos 210 DAT, quando as plantas estavam em pleno florescimento, nas duas plantas centrais da parcela de cada tratamento foram coletadas oito folhas da parte mediana da planta, coletando o quarto ou quinto par de folhas contado do ápice dos ramos com flores, seguindo os critérios de coleta de folha para análise nutricional do maracujazeiro-azedo (Natale e Rozane 2018), acondicionando-as em saco de papel e transportado ao laboratório. Após lavagem em água destilada, as folhas foram postas para secar em estufa de circulação de ar à 60 °C até atingir massa constante, moídas em moinho de facas de aço inoxidável (tipo Willey) e armazenadas em recipiente identificado e hermeticamente fechado.

Foram determinados os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S), micronutrientes (B, Fe Zn, Cu e Mn), sódio (Na), silício (Si) para avaliação do estado nutricional do maracujazeiro-azedo, utilizando as metodologias copiladas de Silva et al. (2009). A determinação do estado nutricional foi realizada da seguinte forma: nitrogênio (N) pelo método de Kjeldahl (digestão seca); fósforo (P) por espectrometria de azul de molibdênio; potássio (K) e sódio (Na) por espectrometria de emissão atômica; cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe) e cobre (Cu) utilizando um espectrômetro de absorção atômica nos comprimentos de onda, respectivamente, de 422.7, 285.2, 400.0, 508.0 e 3,274.7 nm; boro (B) por espectrometria UV-vis no comprimento de onda de 460.0 nm; zinco (Zn) por espectrometria de absorção atômica de chama-acetileno. O Si por espectrometria de emissão por plasma (digestão seca).

Amostras de solo foram coletadas na projeção da copa do maracujazeiro, na profundidade de 0-20 cm, aos 210 dias após o transplântio (DAT), na fase fenológica de pleno florescimento, seguindo os critérios de Malavolta et al. (1997). As amostras foram

acondicionadas em sacos de plástico foram secas ao ar, destorroadas, homogeneizadas e passadas em peneira de malha de 2,0 mm obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). Foram realizadas análises químicas do solo para fins de fertilidade determinando: pH em água, 1:2,5 (v/v); acidez potencial (H + Al) (extração com acetato de cálcio e dosagem por titulometria com NaOH 1 mol L⁻¹); Ca, Mg (extração com KCl 1 mol L⁻¹) e dosagem de Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica, assim como os micronutrientes Zn, Cu, Fe e Mn; P, K, Na, Zn, Cu, Fe e Mn por extração com Mehlich⁻¹, e dosagem de P por colorimetria (Braga e Defelippo, 1974), e K e Na, por fotometria de emissão de chama. A matéria orgânica do solo foi determinada pelo método calcinação e enxofre pelo método de fosfato de cálcio

3.5 Análises estatísticas

Antes da análise estatística dos dados, foram realizados os testes de normalidade e homoscedasticidade dos dados, usando o teste de Shapiro-Wilk ($p \leq 0.05$) e Bartlett ($p \leq 0.05$), respectivamente. Logo após os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F à 5% de probabilidade. Para as médias referentes as doses de silício foram testadas regressões polinomiais ($p \leq 0,05$) e as referentes a aplicação de esterco bovino por teste F ($p \leq 0,05$) que é conclusivo para até dois fatores de uma mesma fonte de variação. A análise de componentes principais (PC) foi realizada através dos pacotes disponíveis no R Studio (TEAM, 2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Macronutrientes, micronutrientes, sódio, silício e matéria orgânica do solo

Pela análise de variância (Tabela 4), houve interação significativa entre as doses de silício no solo × adubação orgânica para o Potencial Hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), fósforo, cálcio, capacidade de troca de cátions, boro, cobre, zinco e matéria orgânica do solo ($p < 0.05$) indicando dependência dos fatores. Em contraparte, os fatores aplicados de forma isolada (doses de silício e matéria orgânica) afetaram os teores de magnésio, potássio, sódio, ferro, manganês, zinco e silício no solo ($p < 0,05$). Os teores de potássio e zinco do solo foram afetados apenas pelas doses de silício no solo.

Tabela 4. Síntese da análise de variância pelo valor 'F', para o potencial Hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (Ce), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), enxofre (S), capacidade de troca de cátions (CTC), boro (B), Cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), molibdênio, silício (Si) e matéria orgânica do solo sob níveis de silício (Si) e adubação orgânica no solo (MOS).

Fontes de variação	GL	Ph	Ce	P	Ca	Mg	K	Na	S
			dS m ⁻¹	mg dm ⁻³cmol _c dm ⁻³			mg dm ⁻³	
Bloco	3	25.23**	4.00*	1.57 ^{ns}	19.26**	9.84**	0.38 ^{ns}	2.64 ^{ns}	0.15 ^{ns}
Si	4	24.94**	9.45**	6.484**	15.39**	9.62**	3.86*	9.09**	6.67**
MOS	1	61.98**	7.69**	139.74**	44.64**	77.54**	3.61 ^{ns}	5.56**	5.46**
MOS X Si	4	52.71**	2.59*	3.47*	9.08**	1.63 ^{ns}	1.12 ^{ns}	0.64 ^{ns}	1.94 ^{ns}
Resíduo	27	0.027	0.586	349.42	0.509	0.058	0.110	0.003	3.751
CV (%)		2.45	37.98	17.10	22.37	32.18	37.14	11.81	25.80
Fontes de variação	GL	CTC	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si	Mo
		cmol _c dm ⁻³mg kg ⁻¹			%			
Bloco	3	15.56**	9.26**	0.42 ^{ns}	1.15 ^{ns}	4.87**	3.95*	3.64*	2.80 ^{ns}
Si	4	19.36**	8.93**	94.18**	2.78*	10.68**	97.55**	2.85*	16.02**
MOS	1	47.51**	0.28 ^{ns}	2.90 ^{ns}	15.15**	4.56*	1.15 ^{ns}	12.51**	195.30**
MOS x Si	4	6.94**	5.68**	40.28**	1.61 ^{ns}	0.89 ^{ns}	23.79**	1.73 ^{ns}	12.84**
Resíduo	27	0.816	0.013	6.635	12.32	198.29	1076.78	24.249	0.504
CV (%)		15.69	12.31	24.17	12.28	18.58	20.61	13.04	18.34

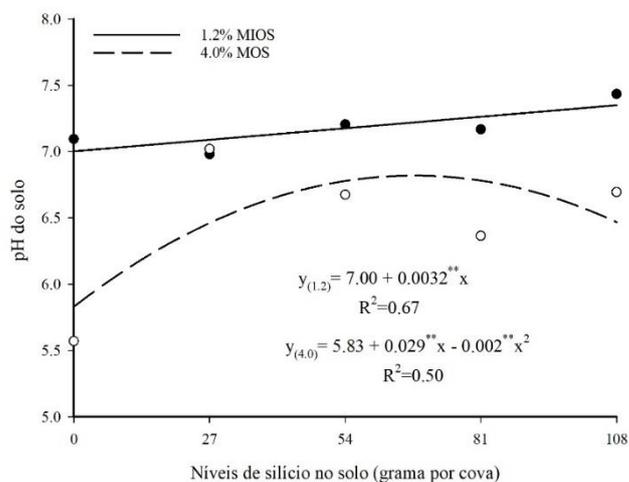
Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

^{ns} : não significativo (p < 0,05); * : significativo a 5% de probabilidade (p<0,05); ** : significativo a 1% de probabilidade (p<0,01); CV: Coeficiente de variação; MOS= matéria orgânica do solo

A aplicação de silício no solo, independentemente, da adição da matéria orgânica eleva os valores de pH do solo (Figura 2). Os níveis de 72,5 e 108 g planta⁻¹ de silício aplicado com e sem esterco bovino apresentaram os maiores valores de pH do solo de 6,88 e 7,34, respectivamente. Nos níveis estimados de Si aplicados a adição de esterco bovino promoveu redução de 6,68% no valor de pH do solo em comparação a ausência do insumo orgânico. Isso pode ser explicado pela mineralização da matéria orgânica do solo e/ou fertilizantes amoniacais utilizados no experimento, a exemplo de ureia e sulfato de amônio, que disponibiliza NO₃⁻, SO₄⁻² e Cl⁻, que podem estar livres na solução do solo e arrastar as bases trocáveis de Ca⁺², Mg⁺² e K⁺, acidificando o pH do solo, (Caires, 2014).

Os níveis de silício de 72,5 e 108 g planta⁻¹ de silício proporcionaram valores de pH próximo a 7, faixa considerada próxima ao ideal para a maioria das culturas, inclusive para o maracujazeiro amarelo. Conforme Liang et al. (2015), a menor disponibilidade de silício, geralmente, ocorre na faixa de pH entre 8 e 9, devido à alta adsorção de (H₃SiO₄⁻) nos coloides do solo por meio de interações com óxidos de ferro e alumínio. Segundo Imtiaz et al. (2016), em um pH mais alto (pH > 9), o ácido silícico se dissocia em íons de silicato (OH)₃SiO⁻¹, e, conforme Ramos et al. (2012), o íon Si pode alterar o pH do solo por meio da neutralizante da base SiO₃₋₂ presente no material de origem, formando HSiO₃ + OH⁻, que pode reduzir o H⁺ presente na solução do solo. Por fim, o efeito do pH na disponibilidade de Si é altamente complexo, reduzindo a concentração do H⁺ presente na solução do solo, além de depender de outros parâmetros, como textura do solo, temperatura, matéria orgânica do solo e íons associados. Os resultados estão coerentes com às constatações de Mahendran et al. (2022) ao observarem que o aumento linear do Si disponível no solo eleva o pH do solo. Por fim, o pH do solo é um fator que afeta significativamente o teor de silício trocável do solo (Szulc et al.2015).

Figura 2. Valores de pH do solo em função das doses de silício e esterco bovino. ** significativos a 1% de probabilidade pelo teste F.



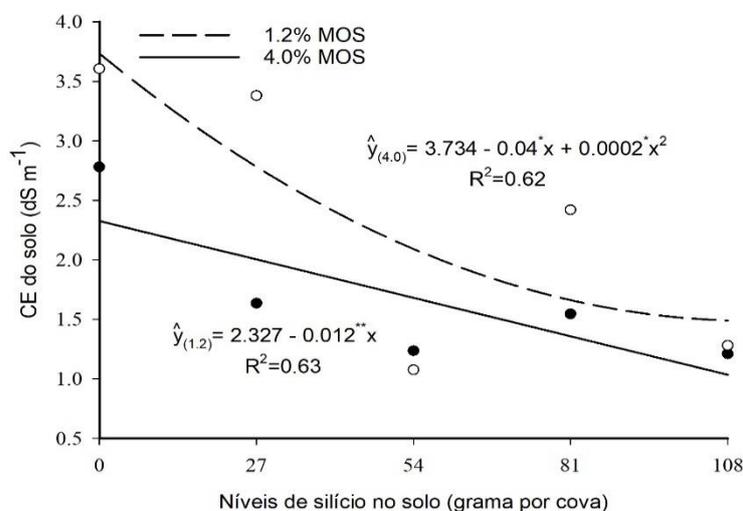
Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

Os valores da condutividade elétrica do solo foram reduzidos com aumento das doses de Si no solo na ordem de $0,02 \text{ dS m}^{-1}$ (com esterco) e $0,01 \text{ dS m}^{-1}$ (sem esterco) para cada incremento unitário da dose de Si. Os maiores ($3,73$ e $2,37 \text{ dS m}^{-1}$) e menores valores de CE ($1,75$ e $1,25 \text{ dS m}^{-1}$) entre a testemunha $0,0$ grama e $108,0$ g de Si aplicado ao solo sem e com aplicação de esterco bovino, respectivamente constam na Figura 3. A aplicação de silício reduziu em 98% e 89,2%, a condutividade elétrica do solo, mesmo o solo irrigado com água com restrição moderada quanto a salinidade e sem risco em sodificação para atividade agrícola (C_2S_1 e $\text{CE} = 1,01 \text{ dS m}^{-1}$), conforme classificação contidas em Ayres e Westcot (1999). Esse comportamento corrobora com os observados por Etesami e Jeong (2018), ao constatarem que o Si é um dos atenuadores mais utilizados na agricultura para mitigar o estresse salino. Fato também confirmado por Mahendran et al. (2022), o Si disponível teve correlação positiva com a reação do solo, capacidade de troca de cátions e correlacionou-se negativamente com a condutividade elétrica do solo.

Para Antunes et al. (2022), a CE indica a concentração de sais presentes na solução (água destilada + substrato) e fornece uma estimativa da salinidade presente nos solos. De acordo com Minami e Salvador (2010), são considerados, valores de CE superiores a $3,4 \text{ dS m}^{-1}$ muito alta, valores de $2,25$ a $3,39 \text{ dS m}^{-1}$ são altos, valores de $1,8$ a $2,24 \text{ dS m}^{-1}$ são ligeiramente altos, valores de $0,5$ a $1,79 \text{ dS m}^{-1}$ são moderados, os valores entre $0,15$ e $0,49 \text{ dS m}^{-1}$ são baixos e os valores abaixo de $0,14 \text{ dS m}^{-1}$ são considerados muito baixo.

Assim, quanto maior o teor de Si disponível no solo, menor será a condutividade elétrica do solo e vice-versa. Ainda, Zhao et al. (2022) constataram que o fertilizante de Si e o ácido húmico modificaram significativamente as propriedades do solo, como pH e condutividade elétrica do solo. Os resultados estão coerentes com às constatações de Li et al. (2022), os fertilizantes orgânicos aumentaram o P disponível, K e MO do solo e reduz o pH do solo e aumentaram a condutividade elétrica do solo. Também em consonância com Mantovani et al. (2017), a adubação com esterco bovino aumentou a condutividade elétrica dos solos, sem afetar o crescimento e a produtividade das hortaliças folhosas, fato também confirmado com a cultura do maracujazeiro amarelo.

Figura 3. Condutividade Elétrica do extrato de saturação do solo em função das doses de silício e esterco bovino. **, * significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

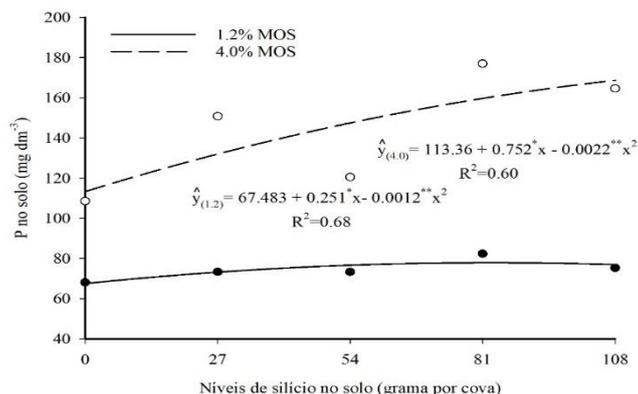
A aplicação de matéria orgânica associada a dose de 108g planta⁻¹ de Si e de 104,58 g planta⁻¹ apresentaram os maiores teores de P do solo na ordem de 168,91 e 80,60 mg dm³, respectivamente (Figura 4). Assim, a aplicação de Si + MOS melhora, consideravelmente, o fósforo trocável no solo, fato confirmado por Wang et al. (2020), ao constatarem que a suplementação de Si e fertilizantes fosfatados melhora substancialmente os teores disponíveis no solo. Outra explicação, é que o Si e adubação orgânica pode ter aumentado a eficiência do uso de fertilizantes fosfatados ao reduzir a capacidade de retenção de fósforo no solo, o que resultou no aumento dos fósforos solúveis em água (Singh et. al., 2005).

Os resultados também sugerem que a interação Si e adubação orgânica ajudam a manter e/ou até mesmo melhorar o fósforo disponível no solo, conforme Pooniyan et al. (2021), na qual o silício disponível aumenta o teor de fósforo disponível, reduzindo a sua fixação. Da mesma forma, a maior quantidade de fósforo disponível no solo nas parcelas adubadas com Si e adubação orgânica podem ser devido à sua ação de liberação lenta de P, melhorando sua disponibilidade no solo por período mais longo. Resultados semelhantes foram relatados em estudos anteriores (Yang et al. 2008; Wang et al. 2022).

De modo geral, a aplicação de fertilizantes de Si e adubação orgânica melhorou substancialmente os teores de Si e P disponíveis no solo, sendo essenciais para obter melhores rendimentos de forma sustentável. Portanto, a aplicação de fertilizantes à base de Si, juntamente com adubação orgânica, é necessária para melhorar a produtividade das culturas, especialmente em culturas exigentes em fósforo. Ainda, Schaller et al. (2019), a adição de silício aumenta significativamente a mobilização de fósforo, estimulando as fases Fe (II)-P das superfícies minerais. Também relatado por Owino-Gerroh et al. (2004), as formas de fósforo disponíveis para a planta aumentaram no solo porque o Si se liga ao ferro e manganês, impedindo, assim, que o fósforo se ligue a esses elementos.

Ao comparar, as parcelas com e sem adição da adubação orgânica, observa-se uma superioridade de teor de fósforo disponível de 109,64%, sendo a opção mais viável para melhorar os teores de fósforo dos solos. Conforme Almeida et al., (2020), a adubação orgânica aumenta os teores de matéria orgânica e P no solo. A matéria orgânica é uma das principais fontes de fósforo orgânico e, sobretudo, inorgânico - Pi (ortofosfatos), forma, na qual, é preferencialmente absorvida pelas plantas, podendo apresentar variações de 45% a 90% de Pi, dependendo da origem do esterco (Fink et al. 2016; Rayne e Aula 2020).

Figura 4. Teores de fósforo do solo em função das doses de silício e esterco bovino. **, * significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

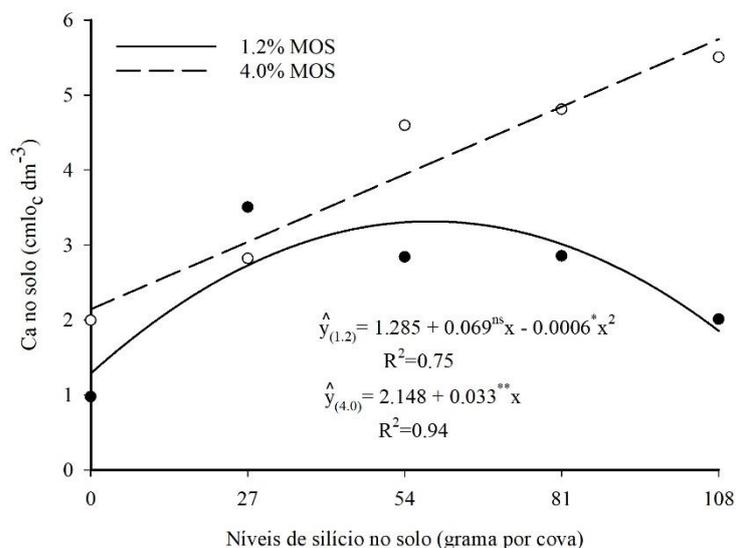


Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

Os teores máximos de cálcio no solo ocorreram nas doses de 108 e 57,5 g por planta de Si, atingindo teores de 5,71 e 3,28 cmol_c dm⁻³, associados com e sem adição de esterco bovino, respectivamente, havendo redução quando doses superiores a 57,5 g de Si nos tratamentos sem adição do insumo orgânico (Figura 5). O silício aumenta a disponibilidade e o acúmulo de macronutrientes (nitrogênio, potássio, cálcio e enxofre) e micronutrientes (ferro e manganês), conforme verificado por Rea et al. (2021). Os teores de Ca⁺²⁺, independente da fonte de variação, estavam acima de 3,0 cmol_c dm⁻³, considerado alto -Sobral et al. (2015), para a cultura do maracujazeiro.

A ação benéfica do fertilizante Si combinado com adubação orgânica pode melhorar o valor do pH do solo, aumentar o conteúdo de matéria orgânica e ativar as atividades microbianas do solo, que contribui para o aumento do cálcio disponível no solo, Wu et al. (2021). Ainda, segundo Tubaña e Heckman (2015), a concentração do ácido monossilícico (H₄SiO₄) na solução do solo é influenciada pelo pH do solo e pelas quantidades de argila, minerais, matéria orgânica e óxidos/hidróxidos de Fe/Al⁻, que estão relacionados à idade geológica do solo.

Figura 5. Teores de cálcio do solo em função de doses de silício e esterco bovino. **, * significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

Os teores de magnésio no solo apresentaram maiores teores de 1,64 e 0,58 cmol_c dm⁻³ nos níveis de 105 e 75 g de Si por cova, respectivamente com e sem adição de esterco bovino, sendo que as parcelas que foram incorporadas esterco bovino foram superiores a 182,75%, (Figura 6). Esses resultados corroboram com os observados por Li et al. (2022), ao constatarem que os fertilizantes orgânicos podem melhorar a fertilidade do solo, ativar os processos enzimáticos do solo e promover a recuperação de microrganismos benéficos do solo.

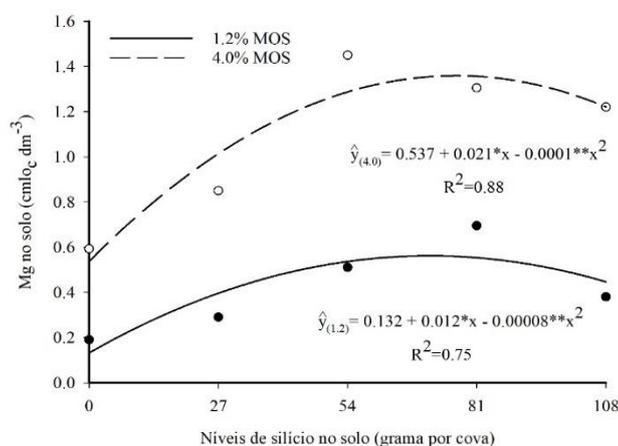
Segundo Leão Neto (2015), os teores de Mg ideais devem ser iguais ou superiores a 1,0 cmol_c/dm³, considerando o pleno crescimento das culturas-, e não limitando os rendimentos. No entanto, os teores de Mg⁺²⁺ estavam ideais e médios (0,4-1,0 cmol_c/dm³) para as parcelas com e sem adubação orgânica, respectivamente.

Comparativamente, os teores de cálcio estavam em excesso (> 3.0 cmol_c/dm³), assim podem diminuir os teores de magnésio no complexo de troca catiônica no solo. Essa interação é denominada de inibição competitiva, conforme Malavolta et al. (1997), o excesso de cálcio em relação ao magnésio na solução do solo pode inibir a absorção de Mg⁺², na planta, assim como o excesso de magnésio pode prejudicar a absorção de cálcio, o mesmo ocorrendo com relação ao potássio.

Outro fator importante, é a relação Ca/Mg, considerada ideal para a relação é de 3:1 a 5:1, de forma que a planta aproveite ao máximo, ambos, os nutrientes sem que um interfira no uso do outro.

Com isso, a relação média no solo está aproximadamente a 4:1 e 6:1 nas parcelas com e sem adubação orgânica, respectivamente. De modo geral, a relação cálcio e magnésio está ideal, ou seja, sem causar competição de troca catiônica no solo. Para Guimarães Júnior et al. (2013), a inter-relação entre os nutrientes Ca e Mg na fertilidade do solo está relacionada às suas propriedades químicas próximas, como o raio iônico, valência, grau de hidratação e mobilidade, fazendo com que haja competição pelos sítios de adsorção no solo, e na absorção pelas raízes.

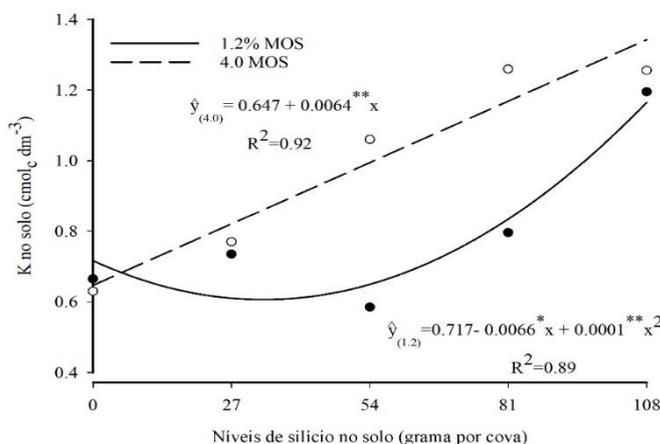
Figura 6. Teores de Magnésio do solo em função das doses de silício e esterco bovino. **, * significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

A adubação de silício associada a aplicação de matéria orgânica proporcionou maior teor de potássio disponível no solo na ordem de 18,52% em comparação com as mesmas parcelas sem o insumo orgânico. Esses resultados, também foram observados por Alves et al. (2024), no qual, o Si atenuou os danos causados pela deficiência de K em rúcula (*Eruca sativa* Mill), proporcionando maior disponibilidade de potássio no solo. Assim, há aumento na eficiência e na capacidade de absorção de K pelas plantas (BEIER et al., 2022). Outra possibilidade está associada à possibilidade de ativação da H-ATPase pelo Si, aumentando à disponibilidade no solo e captação de K pelas as plantas (Mehrabanjoubani et al., 2015).

Figura 7. Teores de potássio do solo em função de doses de silício e esterco bovino. **, * significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

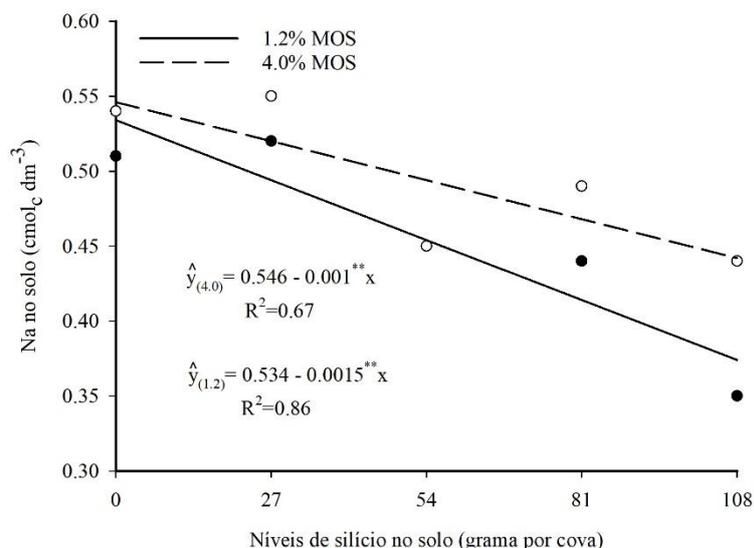


Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

O incremento unitário dos níveis de Si via solo diminuiu linearmente o teor de sódio no solo de 0,0010 e 0,0015 cmol_c dm⁻³, com teores mínimos de 0,44 e 0,37 cmol_c dm⁻³ e máximos de 0,55 e 0,53 cmol_c dm⁻³ nos níveis de 0,0 e 108 g por cova de Si respectivamente, com e sem adubação orgânica, (Figura 8). Com isso, observa-se um decréscimo no teor de Na⁺ no solo de 25,0% e 43,2% entre o nível de 108,0 e 0,0 (testemunha) g de Si por cova com e sem adubação orgânica, refletindo em menor absorção de Na⁺ pelas plantas de maracujá-amarelo com aumento do nível de Si no solo (Figura 8).

O Si atua como atenuador do estresse salino nas plantas, pois a cultura do maracujazeiro amarelo foi irrigada diariamente com água de restrição moderada quanto a salinidade e sem risco em sodificação para atividade agrícola (C₂S₁ e CE = 1,01 dS m⁻¹; Na = 6,45 mmol_c L⁻¹), conforme classificação contidas em Ayres e Westcot (1999). Mesmo assim, conforme relatado na literatura, o Si é atenuador do estresse salino para as plantas, tornando um elemento primordial em regiões áridas e semiáridas. Para Sudhir e Murthy (2004), o estresse salino causa diminuição no crescimento e na produtividade das plantas ao interromper os processos fisiológicos, especialmente a fotossíntese. Ainda, conforme Chakraborty et al. (2016), quantidades excessivas de íons Na⁺ e Cl⁻ na solução do solo induzem toxicidade iônica ao perturbar a estrutura das enzimas, danificando as organelas celulares e interrompendo o metabolismo celular.

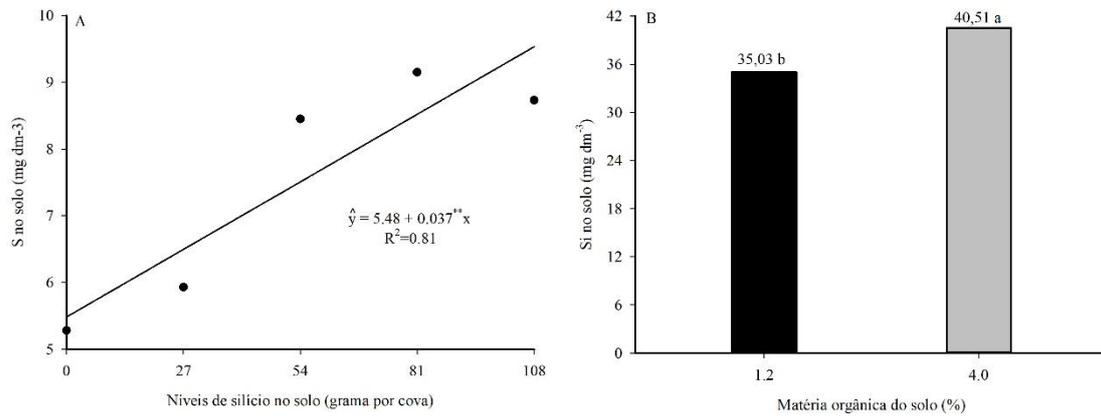
Figura 8. Teores de sódio do solo em função de doses de silício e esterco bovino. **, * significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

O incremento nos níveis de silício no solo aumentou linearmente a eficiência de enxofre (S), atingindo o teor máximo de 9,48 mg dm⁻³ (Figura 9A). Em contraparte, o teor de S no solo com e sem adição de esterco bovino foram de 8,71 e 6,31 mg dm⁻³ com superioridade de 38% nas parcelas que receberam o insumo orgânico (Figura 9 B). Essa superioridade pode ser explicada porque a aplicação de esterco bovino favorece o acúmulo de carbono (C) e acelera a ciclagem de nutrientes, inclusive de S: sulfatase, fornecendo substâncias orgânicas e nutrientes disponíveis e aumentando assim as atividades enzimáticas, a exemplo da enzima que catalisa as complexas macromoléculas de ésteres de sulfato e desempenha um papel fundamental na transformação de sulfatos orgânicos em formas inorgânicas (i.e., SO²⁻₄) (Liu et al., 2020). Em contraparte, o silício é considerado um elemento benéfico, que pode afetar o sistema solo-água-plantas, protegendo as plantas contra estresses bióticos/abióticos, otimizando a fertilidade do solo, melhorando a retenção e a disponibilidade da água no solo, disponibilizando de nutrientes para as plantas, inclusive o enxofre (Ahire et al. 2021; Vali-Rad et al. 2022).

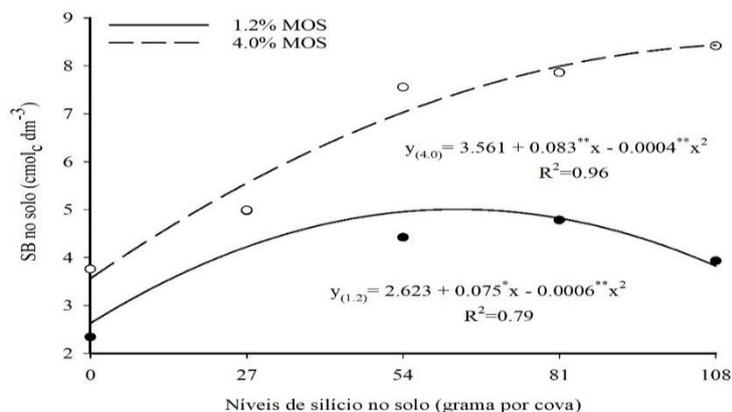
Figura 9. Teores de enxofre no solo em função de doses de silício (A) e esterco bovino (B). **, significativos a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste F.



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

Os valores da soma de base do solo apresentaram maiores de valores de 7,86 e 3,75 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ com o uso das doses de 108 e 62,5 g por cova de Si, respectivamente, com e sem adição de esterco bovino, (Figura 10). Os resultados demonstram que a interação da adubação Si e esterco bovino, proporciona uma superioridade de 109,8% em comparação a ausência do insumo orgânico. Esse resultado está em concomitância com os teores de Ca, Mg e K, que também apresentaram superioridade nas parcelas adubadas com Si e esterco bovino. Essa superioridade pode estar relacionada ao acúmulo e a transformação da matéria orgânica no solo, fundamentais para a manutenção e melhoria dos atributos físico-químicos e biológicos do solo (Machado et al. 2019) e, conseqüentemente, melhora a nutrição mineral de plantas, fato registrado na cultura do maracujazeiro amarelo.

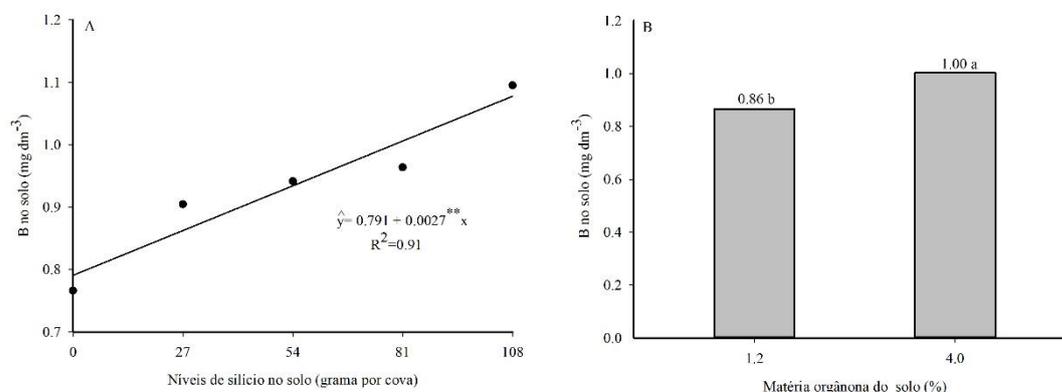
Figura 10. Valores de soma de base do solo em função de doses de silício e esterco bovino. **, * significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

O incremento das doses de silício aplicado, aumentou linearmente o teor de boro no solo, atingindo teor máximo de $1,08 \text{ mg dm}^{-3}$ no nível de 108 g de Si por cova. (Figura 11 A). Há poucos relatos na literatura sobre a disponibilidade de B com a aplicação de Si. Conforme Greger et al. (1997), a aplicação de Si proporciona acúmulo de boro nas folhas das plantas, fato verificando na cultura do maracujazeiro amarelo. Ainda, o Si pode aumentar a produção de diversos compostos, como carboidratos, proteínas, ácidos indolacéticos e fenóis, que podem amenizar os efeitos deletérios do distúrbio nutricional em boro (Kadyampakeni et al., 2023), fato ocorrido na pesquisa, pois o solo estava com os teores adequados de B (Figura 11). Os referidos autores, ainda, afirmam que o silício ajuda a manter o desenvolvimento do sistema radicular, das relações hídricas e pode formar complexos com B, limitando sua absorção em termos de toxicidade no solo. Também, Souza Junior et al. (2019) constataram que a aplicação de Si atenuou os efeitos prejudiciais da deficiência e da toxicidade de B no algodão (*Gossypium hirsutum* L.) por diferentes modos de aplicação de Si. Os autores destacaram que a aplicação radicular de Si restringiu o transporte de B para os brotos sob toxicidade de B. Para Khurana et al. (2022), boro é um nutriente crítico do ponto de vista das necessidades nutricionais, pois apresenta a segunda deficiência de micronutrientes mais difundida em todo o mundo, depois do Zn.

Figura 11. Teores de boro no solo em função de doses de silício (A) via solo e esterco bovino (B). **, significativos a 1 % de probabilidade pelo teste F, medias seguidas de mesma letra não difere entre si pelo teste F.



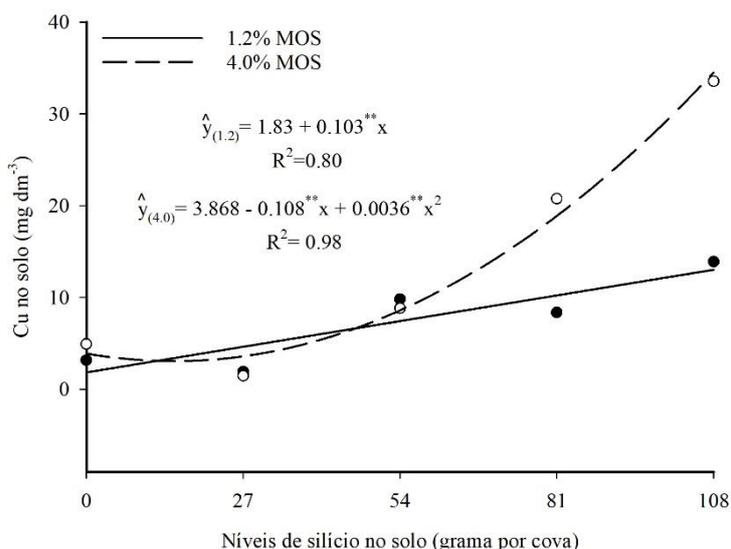
Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

Comparativamente, o teor de boro no solo nas parcelas adubadas com Si e esterco bovino sobressaíram àquelas adubadas apenas com Si, cujos teores foram de $1,00$ e $0,86$

mg dm⁻³, correspondente a uma superioridade de 16,27% (Figura 10 B). Esses resultados estão coerentes com os apresentados por Shafiq et al., (2008), ao demonstrarem que a matéria orgânica afeta a disponibilidade de B no solo, apresentando uma correlação linear positiva entre os níveis de MOS e a quantidade de B disponível. Também Khurana et al. (2022) e Mateus et al. (2023) verificaram que a MOS é responsável pelo acúmulo de B na superfície do solo, diminuindo as perdas por lixiviação. Por fim, a matéria orgânica é considerada um excelente depósito de B nos solos.

Os maiores teores de cobre no solo foi elevado com o aumento das doses de Si, independente da adição de esterco bovino, especialmente no nível de 108 g por cova, a qual promoveu maiores acúmulos do elemento no solo na ordem de 34,20 e 12,95 mg dm³, com superioridade de 164% da fertilização com Si e adubação orgânica em comparação a ausência do insumo orgânico (Figura 12). É notório o benefício da fertilização Si e adubação orgânica na manutenção e/ou melhoria das propriedades físico-químicas e biológicas do solo, para o maracujazeiro amarelo. Resultado semelhante foi obtido por Li et al. (2022), na qual os fertilizantes orgânicos promovem a recuperação de microrganismos benéficos do solo, melhorando a qualidade e o rendimento das culturas.

Figura 12. Teores de cobre no solo em função de doses de silício e esterco bovino (B). **, significativos a 1 % de probabilidade pelo teste F.



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

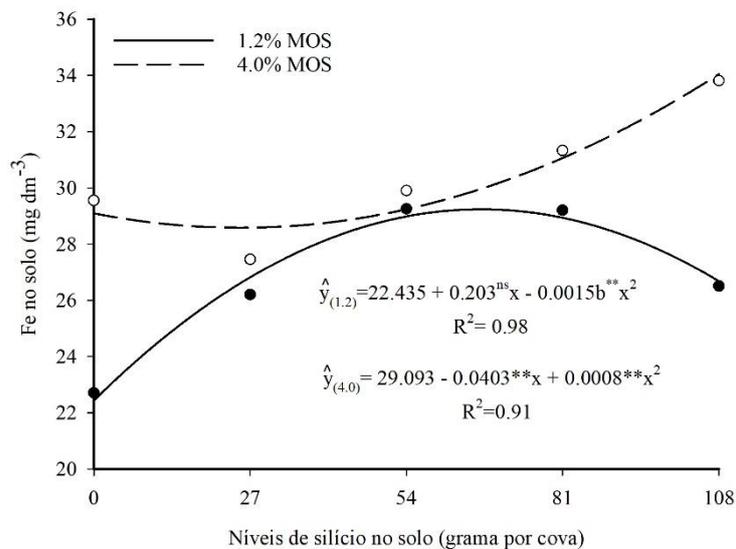
O teor de Cu no solo estava muito acima do nível ótimo, conforme Ribeiro et al. (2009), sendo valores acima de 1,8 mg dm⁻³ considerados altos. Assim, conforme Sancenón et al. (2003), o Cu é um agente potencialmente tóxico em níveis acima do nível

ótimo no solo podendo causar prejuízos no crescimento das plantas, devido em altas concentrações no tecido vegetal apresentar a capacidade de gerar espécies reativas de oxigênio prejudiciais. Com isto, o Si melhorou a resistência do maracujazeiro amarelo ao estresse de Cu (Figura 13), pois não foi observado toxidez do elemento, e essa melhoria atuou nas alterações fisiológicas, na expressão gênica, corroborando com Li et al. (2008), em suas descobertas indicarem que a adição de Si pode melhorar a resistência da *Arabidopsis* ao estresse por excesso de Cu. O alívio da toxicidade do Cu correlaciona com o aumento do acúmulo de Si nas raízes e folhas, diminuindo a toxicidade de Cu em plantas suplementadas com Si expostas à toxicidade de Cu, o que pode contribuir para a redução da absorção de Cu, fato confirmado na presente pesquisa na cultura do maracujá-amarelo. (Flora et al, 2019).

Em síntese, a temperatura pode afetar a ciclagem do Si, aumentando fortemente a disponibilidade de Si na matéria orgânica do solo e na mineralogia dos solos (Schaller e Puppe, 2021). Por fim, a microrregião de Catolé do Rocha–PB apresenta temperaturas médias do ar superior a 30°C, condições ideais para acelerar a decomposição da matéria orgânica do solo.

Os maiores teores de ferro no solo foram de 29,30 e 34,07 mg dm⁻³, quando adubados com 108 e 67,67 g de Si por cova nos tratamentos com e sem adição de esterco bovino, respectivamente (Figura 13). Assim, os teores de Fe estavam adequados e médios, nestas condições, conforme Ribeiro et al. (2009), considerando valor médio entre 10-30 mg dm⁻³ e adequado entre 31-45 mg dm⁻³. O ferro (Fe) é considerado um nutriente essencial para as plantas, mas pouco disponível para as plantas, uma vez que está presente principalmente nos solos na forma de óxidos/hidróxidos insolúveis, especialmente em pH neutro a alcalino (LI et al., 2023). O Si aumenta o crescimento das plantas com deficiência de Fe, reduzindo os efeitos nocivos da deficiência de Fe no solo e, reduzindo o estresse oxidativo, quando em excesso (Mierzaali et al, 2024) Ainda, Bityutskii et al. (2018) constataram redução dos sintomas de deficiência de ferro após a aplicação de Si em plantas de pepino (*Cucumis sativus*), quando cultivadas em pHs mais elevados.

Figura 13. Teores de ferro no solo em função de doses de silício (A) e esterco bovino (B). **, significativos a 1 % de probabilidade pelo teste F.



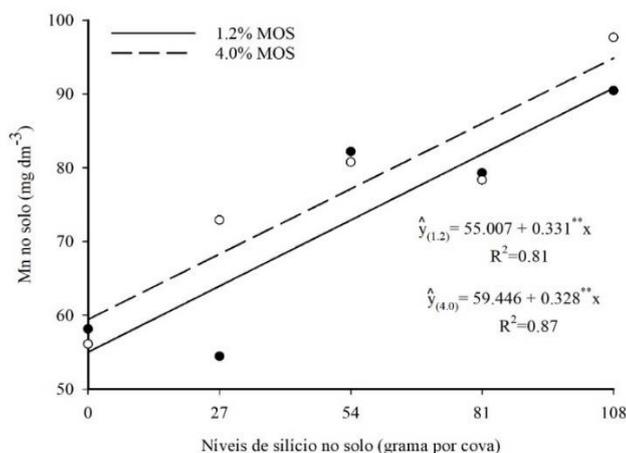
Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

A adição de matéria orgânica no solo proporcionou uma superioridade de 16,98% em comparação as parcelas sem adição do insumo orgânico. Fato reportado por Perez-sanz et al. (2002), a mobilização de Fe no solo e absorção pelas raízes das plantas depende de vários fatores como matéria orgânica do solo, compactação, temperatura e concentração de Cu, Zn, Mn e P, porém, o principal fator que afeta a disponibilidade de Fe do solo para as plantas é o pH do solo. Fato também relatado por Rea et al. (2022), o silício aumenta a disponibilidade e o acúmulo dos macronutrientes (nitrogênio, potássio, cálcio e enxofre) e dos micronutrientes (ferro e manganês). Para Jam et al. (2023), o silício pode levar a um aumento no conteúdo de clorofila nas plantas ao melhorar a absorção de elementos essenciais para a biossíntese da clorofila, como nitrogênio e ferro. Da mesma forma, Fischel et al. (2023), a distribuição de silício e ferro está fortemente correlacionada, e a sílica aumenta a estabilidade do ferro e alterar a estrutura cristalina e cimentante nas superfícies minerais.

Pela Figura 14, observa-se que um incremento unitário de silício aplicado ao solo proporcionou acréscimo de 0,33 mg dm⁻³ no teor de manganês no solo para as parcelas com e sem adubação orgânica, obtendo teores máximos de 94,87 e 90,75 mg dm⁻³, respectivamente. A adubação com Si associado com o esterco bovino proporcionou maior teor de Mn no solo, apresentando incremento de 4,53% no teor de Mn no solo, em relação as parcelas que não receberam esterco bovino. Esses resultados corroboram com as

informações contidas em Rea et al. (2002), de que o Si aumenta a disponibilidade e o acúmulo de manganês no solo. Os teores de Mn no solo, independente da fonte de variação, estavam muito altos, conforme Ribeiro et al. (1999), que demonstraram que teores de Mn no solo superior a 12 mg dm^{-3} são considerados altos. Para Carmo et al. (2022), a aplicação combinada de Si e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) reduziu significativamente a toxidez foliar em mais de 40%, quando comparada à ausência de Si e sem inoculação de FMA, fato confirmado na pesquisa, mesmo o solo com alto teor de Mn não foi verificado toxidez de Mn na cultura do maracujazeiro amarelo, e sim, as plantas estavam deficientes em Mn (Figura 14). Nessas condições, níveis mais altos de Mn no solo promoveram uma diminuição na absorção de Mn pelo maracujazeiro amarelo. Portanto, a toxicidade causada por elementos individuais depende em grande parte das concentrações de outros nutrientes no solo.

Figura 14. Teores de manganês no solo em função de doses de silício (A) e esterco bovino (B). **, significativos a 1 % de probabilidade pelo teste F.



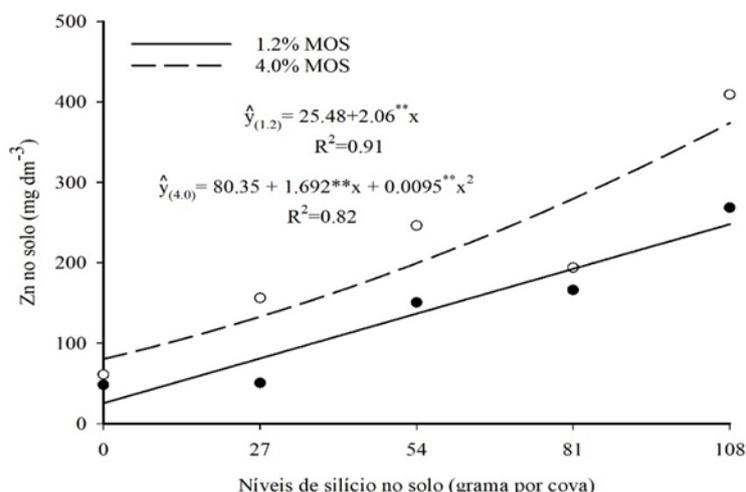
Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

Pontigo et al. (2015), aponta que várias pesquisas indicam que o Si pode aliviar vários estresses minerais em plantas que crescem sob condições ácidas, incluindo toxicidades de alumínio (Al) e manganês (Mn), bem como deficiência de fósforo (P), que são altamente prejudiciais à produção agrícola.

Os teores de zinco no solo foram elevados até 373 e 247 mg dm^{-3} quando se aplicou 108 g por cova de Si nos tratamentos com e sem adição de esterco bovino, respectivamente (Figura 15). Conforme, Ribeiro et al. (1999), os teores de Zn no solo estavam muito acima do da faixa considerada ideal ($> 2,2 \text{ mg dm}^{-3}$). Assim, o silício atenuou o efeito da toxicidade do Zn devido altos teores no solo, pois as plantas de

maracujá-amarelo estavam nutricionalmente equilibradas com Zn (Figura 15). Fato reportado por Zajączkowska et al. (2020), a aplicação de Si no solo, reduz a transferência de Zn das raízes para a parte aérea no trigo (*Triticum aestivum*). Também, Song et al. (2014) concluíram que o Si alivia os danos induzidos pelo Zn à fotossíntese no arroz, ativando e regulando alguns genes relacionados à fotossíntese em resposta ao alto estresse de Zn, aumentando consequentemente a fotossíntese. Kaya et al. (2008) destacam que o Si pode estar envolvido em alterações fisiológicas e nutricionais em plantas cultivadas com alto teor de Zn. Para Cunha et al. (2008), o Si tem efeito de atenuar a fitotoxicidade do Zn por ser uma consequência da redução da disponibilidade de metais ou da desintoxicação dentro das plantas.

Figura 15. Teores de zinco no solo em função das doses de silício (A) e esterco bovino (B). **, significativos a 1 % de probabilidade pelo teste F.

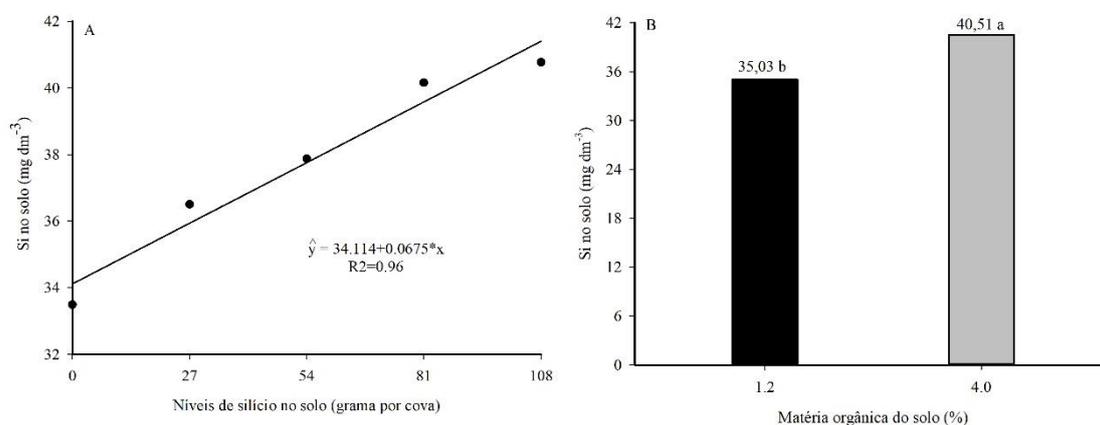


Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

Huang e Ma (2020) constataram que o fornecimento de Si diminuiu a concentração de Zn tanto na raiz quanto na parte aérea na cultura do arroz. No entanto, considerando que o arroz é uma espécie de planta específica para hiperacumulação de Si e que os dados obtidos com o arroz não são necessariamente válidos para outras espécies de plantas, especialmente dicotiledôneas, a exemplo do maracujazeiro amarelo. Porém, Anwaar et al. (2015) ao estudarem o algodão (*Gossypium hirsutum* L), que pertence à classe das dicotiledôneas, verificaram que a aplicação de Si exógeno pode melhorar o crescimento e o desenvolvimento das plantas com estresse por toxicidade de Zn, limitando a biodisponibilidade de Zn e os danos oxidativos.

A aplicação de silício no solo proporcionou um incremento unitário de 0,069 mg dm³ no teor de silício no solo, atingindo teor máximo no solo de 41,40 mg dm⁻³ com o nível de 108 g de Si por cova (Figura 16 A). Assim, foi observado nesta pesquisa, que o Si aumentou os macronutrientes e os micronutrientes, reduzindo os teores de sódio no solo, e fornecendo um equilíbrio de nutrientes adequados para a obtenção de uma produção sustentável, a exemplo do maracujazeiro amarelo. Corroborando, assim, com as afirmações de Pooniyan et al. (2021), na qual afirmam que o teor de silício disponível no solo aumenta a disponibilidade de fósforo, reduzindo a sua fixação, reduzindo a toxicidade de metais pesados e fornece o equilíbrio de nutrientes adequados para a obtenção de uma produção agrícola desejável. Enquanto Rea et al. (2022), enfatizam que Si no solo aumenta a disponibilidade e o acúmulo de micronutrientes, Fe e Mn. Al-Ghamdi e Ashram (2020) observaram que aplicação de Si no solo aumentaram a concentração de minerais do solo (fósforo, potássio, cálcio, magnésio e ferro). Nascimento et al. (2019), a aplicação do fertilizante com Si via solo aumentou a absorção de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn e Zn) nas plantas de melão (*Cucumis melo*).

Figura 16. Teores de silício no solo em função de doses de silício (A) e esterco bovino (B). *, significativos a 5% de probabilidade pelo teste F, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste F.



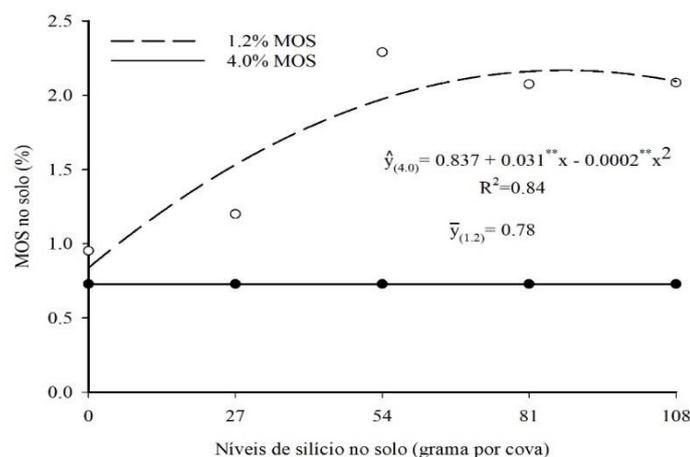
Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

Comparativamente, as parcelas que receberam Si e adubação orgânica sobressaíram àquelas que foram adubadas apenas com Si, cujos teores de Si no solo foram de 40,51 e 35,03 mg dm⁻³, com uma superioridade de 15,64% (Figura 16 B). É notório, o efeito da adubação orgânica no solo, pois os macronutrientes e os micronutrientes foram superiores em comparação a ausência do insumo orgânico. A utilização de fontes

orgânicas associado a aplicação de Si podem fornecer nutrientes essenciais ao crescimento das plantas, fato confirmado por Xião et al. (2015), a fertilização orgânica enriqueceu a superfície das partículas do solo com elementos minerais como Fe e Si. Para Keiluwiet et al. (2012) e Kleber et al. (2025), processos que em ocorrem associações organo-minerais (MOAs) tem sido cada vez mais consideradas importantes para a ciclagem da matéria orgânica natural do solo e dos minerais altamente reativos nos solos.

O teor máximo para a matéria orgânica do solo de 2,04% ocorreu no nível de 77,5 g de Si por cova associado a adição de esterco bovino, não havendo ajuste de regressão quando na ausência da adição do insumo orgânica com média de 0,78% (Figura 17). Assim, a fertilização organomineral de Si e MOS pode ser uma opção viável para o cultivo do maracujazeiro amarelo em condições semiáridas, reduzindo os efeitos adversos dos fatores abióticos, a exemplo do déficit hídrico do solo, salinidade e calor (Chakma et al. 2023). Além disso, López-Pérez et al. (2018) observaram que a matéria orgânica no solo, por conter substâncias húmicas, pode aumentar a biodisponibilidade de Si e de outros nutrientes essenciais para as plantas, e conseqüentemente, aumentando o rendimento das culturas.

Figura 17. Teores de matéria orgânica do solo em função das doses de silício (A) e esterco bovino (B). **, significativos a 1% de probabilidade pelo teste F



Fonte: Elaborada pela autora, 2014.

Almeida et al. (2019) constataram que o esterco bovino pode, em um período curto de tempo, aumentar o pH e a capacidade de troca de cátions do solo, que por conter em sua composição carbonatos, bicarbonatos e cátions, promove, consideravelmente, maior disponibilidade dos nutrientes essenciais ao solo, e assim aumentar a produtividade enquanto reduz os custos de fertilização.

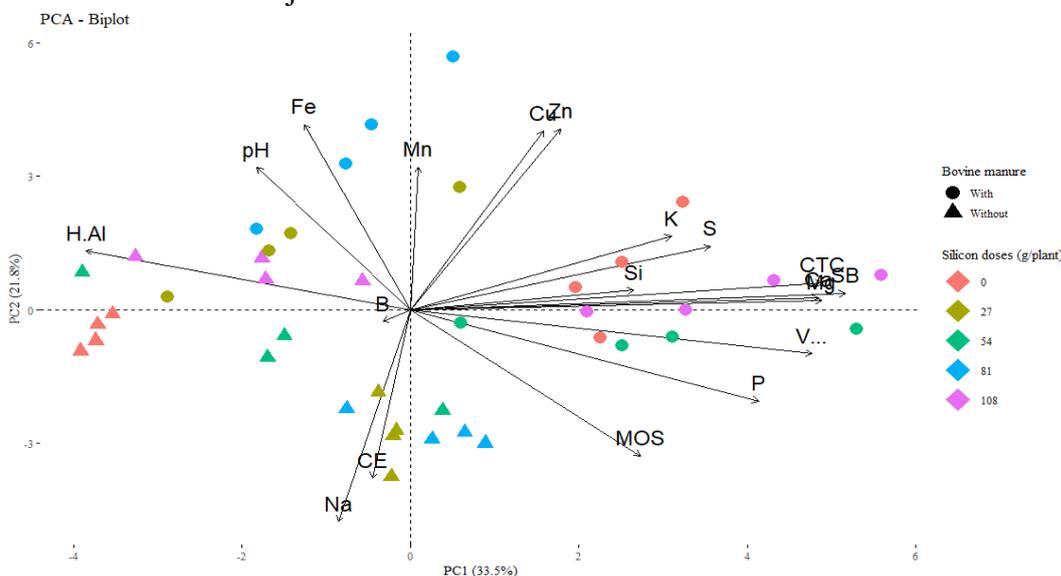
Reis et al. (2022), destacam que a adubação orgânica com esterco bovino aumentou os teores de MO, K, P, Ca, CTC e diminuição do pH, H+Al, resultando em aumento da fertilidade do solo. Leonardo et al. (2014) constataram que a fertilização com esterco bovino é uma alternativa viável de uso, principalmente, em locais onde o esterco está disponível a baixo custo, e ainda, verificaram aumento de produção de batata-doce (*Ipomoea batatas*). Pesquisas de Mantovani et al. (2017), revelam que a aplicação de até 160 t ha⁻¹ de esterco bovino aumenta os teores de nutrientes, principalmente de P, K e Zn no solo.

4.2 Análise dos componentes principais relativos à fertilidade do solo

Pelo exposto na análise de componentes principais (PCA) das variáveis referentes aos atributos químicos do solo quanto a fertilidade (Figura 18), verifica-se que os dois primeiros componentes permitiram explicar 55,3% da variância contidas nas variáveis originais. Os componentes principais 1 (PC1) e 2 (PC2) contribuíram, respectivamente, com 33,5% e 21,8% da variância total. Verifica-se que a fertilidade do solo foi influenciada pela aplicação de esterco bovino, principalmente, quando associados com as doses de 54 e 108 g planta⁻¹ de silício, apresentando maiores teores de MOS, P, K, Ca, Mg, S, Si, SB, CTC e V%. O aumento da acidez potencial, da condutividade elétrica do extrato de saturação é elevado quando não há aplicação de esterco bovino, independente da dose aplicada. O pH e os teores de micronutrientes do solo respondem positivamente a aplicação de esterco na dose de 81 g planta⁻¹.

Pelos sentidos dos vetores observado na Figura 18 para cada variável analisada, verifica-se que os aumento das bases do solo (K, Ca e Mg) interfere positivamente sobre a soma de bases, a capacidade de troca de cátions e a saturação por base, que, por sua vez, reduz a acidez potencial do solo. O aumento do teor de matéria orgânica e de P apresenta correlação negativa com o pH e os teores de Fe e o aumento de Cu tende a aumentar a presença de Zn no solo.

Figura 18. Análise de componentes principais das variáveis macronutrientes, micronutrientes, sódio, silício e matéria orgânica do solo de um NEOSSOLO FLÚVICO cultivado com maracujá-amarelo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

4.3 Estado nutricional e produção do maracujazeiro amarelo de macronutrientes, micronutrientes, sódio e silício no maracujazeiro azedo.

Pela análise de variância houve interação significativa, pelos valores F da interação doses de silício no solo \times adubação orgânica, exercendo efeito significativo para os teores foliares de fósforo, cálcio, boro, molibdênio e silício em folhas de maracujazeiro amarelo ($p < 0,05$), indicando dependência dos fatores (Tabela 5). Para os fatores isolados (silício e adubação orgânica) houve efeito significativo ($p < 0,05$) para os teores foliares em, nitrogênio, potássio, ferro, magnésio, enxofre, manganês, cobre, zinco e sódio.

Tabela 5. Síntese da análise de variância pelos valores ‘F’, para os teores foliares de macronutrientes e micronutrientes no maracujazeiro amarelo sob doses de silício (Si) e adubação orgânica no solo (MOS).

Fontes de variação	GL	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	
		g kg ⁻¹							mg kg ⁻¹
Bloco	3	6.88**	2.82 ^{ns}	1.25 ^{ns}	1.98 ^{ns}	1.55 ^{ns}	2.71 ^{ns}	8.35**	
Si	4	5.55**	4.17**	5.68**	9.00**	10.19**	2.24 ^{ns}	32.10**	
MOS	1	222.38**	32.13**	41.91**	0.64 ^{ns}	8.05**	106.19**	44.11**	
Interação	4	0.64 ^{ns}	5.79**	0.16 ^{ns}	3.19*	1.93 ^{ns}	0.18 ^{ns}	1.39 ^{ns}	
Resíduo	27	2.07	0.033	5.20	3.08	0.030	0.026	9.60	
CV (%)		5.38	10.05	13.22	13.83	10.01	6.64	3.60	
Fontes de variação	GL	Mn	Cu	Zn	B	Mo	Na	Si	
		mg kg ⁻¹							
Bloco	3	2.64 ^{ns}	1.84 ^{ns}	17.60**	0.51 ^{ns}	0.45 ^{ns}	0.49 ^{ns}	8.23**	
Si	4	4.74*	5.47**	10.07**	7.17**	13.12**	5.18**	54.87**	
MOS	1	114.96**	3.41 ^{ns}	5.21*	11.97**	100.50**	7.58**	4.12*	
Interação	4	1.73 ^{ns}	1.58 ^{ns}	1.69 ^{ns}	3.79*	10.21**	1.40 ^{ns}	6.71**	
Resíduo	27	68.38	29.49	2.15	71.95	0.18	337562.53	159257.49	
CV (%)		11.84	24.07	5.66	18.57	23.06	15.18	12.46	

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

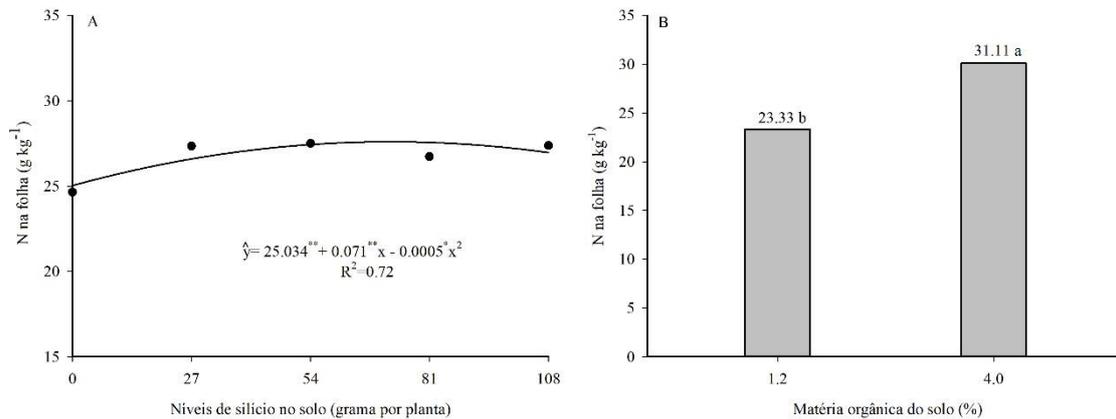
^{ns}: não significativo (p < 0,05); *: significativo a 5% de probabilidade (p<0,05); **: significativo a 1% de probabilidade (p<0,01); CV: Coeficiente de variação; MOS= matéria orgânica do solo

A aplicação na dose de 71 g planta^{-1} , proporcionou maior teor de nitrogênio (Figura 19 A). Este resultado pode estar relacionado ao fornecimento de Si via solo, que pode ter aumentando a concentração de NO_3^- na raiz de plantas maracujá-amarelo, contribuindo para maior teor do elemento na folha. As mesmas considerações foram feitas por Ávila et al. (2010), que também observaram que o Si eleva positivamente o teor de NO_3^- na raiz, a síntese de clorofila na folha e o número de panículas por planta de arroz.

A adubação orgânica para elevar o teor de matéria para 4% proporcionou maior teor de N nas folhas do maracujazeiro azedo ($31,11 \text{ g kg}^{-1}$), em comparação ao tratamento sem insumo orgânico, porém, na ausência do insumo 1,2%, valor existente no solo, o teor foi de $23,33 \text{ g kg}^{-1}$ de N na folha (Figuras 19 A e B). Comparativamente, a adubação orgânica incrementou em 13,74% e 33,34% em comparação a adubação com ácido silícico e ausência do insumo orgânico, respectivamente. Para Malavolta et al. (1997) e Oliveira (2002), o maracujazeiro amarelo está adequadamente suprido em N, quando os teores foliares estão situados entre 40 e 50 g kg^{-1} do nutriente na massa seca foliar. Para Malavolta et al. (1997), o maracujazeiro adequadamente suprido em N deve conter entre 40 e 50 g kg^{-1} do nutriente na massa seca foliar. Esses resultados foram próximo dos teores obtidos por Silva Junior et al. (2013), que oscilaram de 30,36 a $37,80 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 18) na massa seca foliar de plantas de maracujazeiro-amarelo.

A superioridade observada nas plantas do tratamento com esterco bovino está correlacionada as principais formas de N disponíveis no solo para às plantas, as inorgânicas (nitrato – NO_3^- e amônio – NH_4^+), que é referente a uma pequena fração do N total do solo (~5%), e, a maior reserva que está na matéria orgânica (~95%), fato reportado por Almeida et. al. (2020), que a adubação orgânica aumentou os teores de matéria orgânica do solo, proporcionando maior teor foliar de N em plantas de maracujá-amarelo. Assim, o fornecimento de matéria orgânica, na forma de esterco bovino, melhora os atributos físico-químicos dos solos (MANTOVANI et al., 2017) aumentando a disponibilidade de N para as plantas, incrementando o aumento de produção das culturas, inclusive do maracujazeiro amarelo.

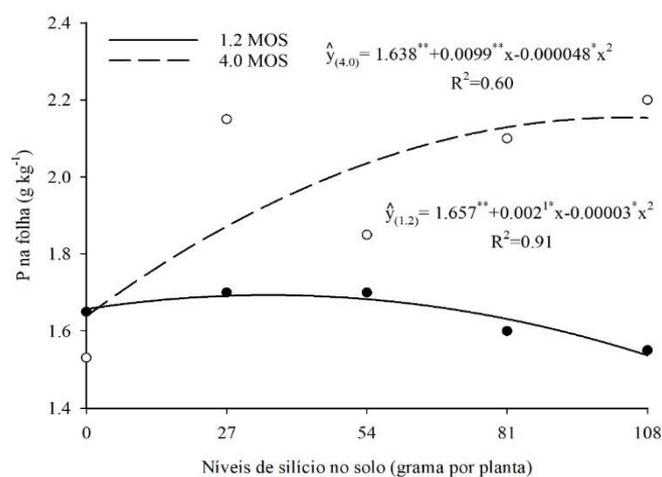
Figura 19. Teores de nitrogênio nas folhas do maracujazeiro amarelo adubados com doses de silício via solo e esterco bovino. * e ** significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

A aplicação de Si via solo proporcionou maiores teores de fósforo nas folhas de maracujazeiro na ordem de 1,70 g kg⁻¹ e 2,19 g kg⁻¹ sem e com adição de bovino para elevar o teor de matéria orgânica existente solo 1,2% para 4%, respectivamente (Figura 20).

Figura 20. Teores de fósforo nas folhas de plantas de maracujazeiro amarelo em função das doses de silício via solo e esterco bovino. * e ** são significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

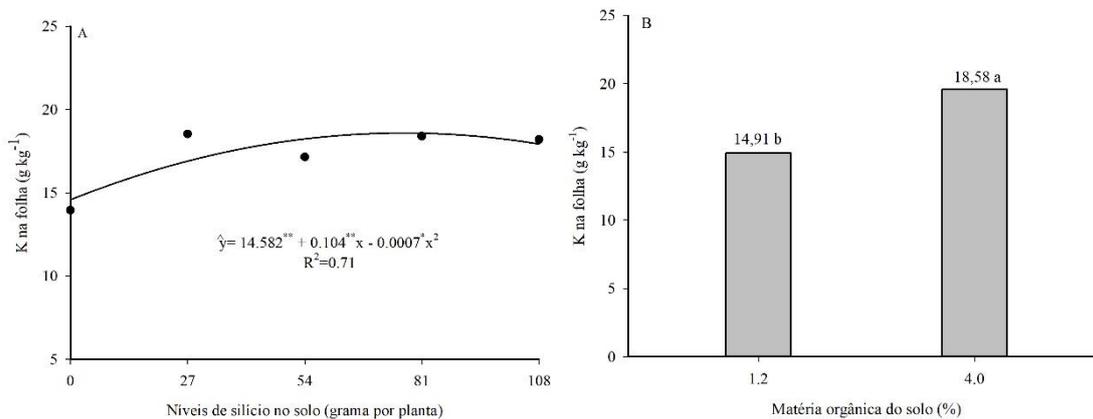
O silício aumenta a mobilização de fósforo, no solo, melhorando a sua eficiência da absorção de P pelas culturas, fato reportado por Schaller et al. (2019), o silício é um elemento que regula a mobilização de fósforo nos solos, mobilizando as fases Fe(II)-P das superfícies minerais; assim, maior eficiência do elemento pelas culturas. Para Almeida et al. (2020), o cultivo orgânico sucessivo em um solo franco-arenoso aumentou o teor de P no solo e proporcionou maior teor foliar de P em folhas de maracujazeiro amarelo. Em outro estudo, Pati et al. (2016) constataram que a fertilização com Si tem uma correlação positiva com a absorção de P, tornando-o lábil no solo. Ainda, Owino-Gerroh e Gascho (2004), destacam que as formas de fósforo disponíveis para a planta no solo aumentam com Si, aplicação de Si, haja vista, que o ferro e o manganês se ligam ao Si, tornando o fósforo mais disponível na solução do solo. Por fim, Rizwan et al. (2023), a aplicação de fonte abiogênica (NPs-Si) de Si aumentou significativamente a concentração de fósforo nas raízes (223,4%), parte aérea (22,3%) e espigas (130,3%) da primeira safra de milho (*Zea mays*).

Entretanto, os teores de fósforo estavam inferiores à faixa considerada adequada para a cultura do maracujazeiro amarelo, se encontrando na ordem de 4,00 g kg⁻¹ (Malavolta, 1997) e adequadamente suprida, conforme Oliveira (2002) na amplitude de 2,3-2,7 g kg⁻¹. Os resultados obtidos foram inferiores às constatações de Rodrigues et al. (2009), que obtiveram teor médio de P na ordem de 3,33 g kg⁻¹ em folhas de maracujazeiro amarelo, adubada com biofertilizante.

Comparativamente, o teor de fósforo nas folhas de maracujazeiro amarelo cultivadas com adição de matéria orgânica foi de 28,82% superiores àquelas formadas sem adição do insumo orgânico. A superioridade pode estar correlacionada a quantidade de fósforo presente na solução do solo, que depende das reações de adsorção e dessorção por óxidos de ferro, as quais podem ser influenciadas por interações com a matéria orgânica (FINK et al. 2016). Ainda, a matéria orgânica, como também o esterco bovino contém fósforo, que depois que passa pelo processo de mineralização torna-se o fósforo lábil.

A acumulação de potássio nas folhas de maracujazeiro amarelo foi estimulada pelo aumento nos níveis de silício via solo de 71 g planta⁻¹, atingindo valores de 18,44 g kg⁻¹, (Figura 21 A). Os valores obtidos são inferiores aos teores mínimos exigidos pelo maracujazeiro-amarelo, que de acordo com Malavolta et al. (1997) varia de 30 a 35 g kg⁻¹ e preconizado por Oliveira (2002) varia entre 20 – 30 g kg⁻¹ de matéria seca foliar.

Figura 21. Teores de potássio nas folhas de plantas de maracujazeiro amarelo em função de doses de silício via solo e esterco bovino. * e ** são significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.



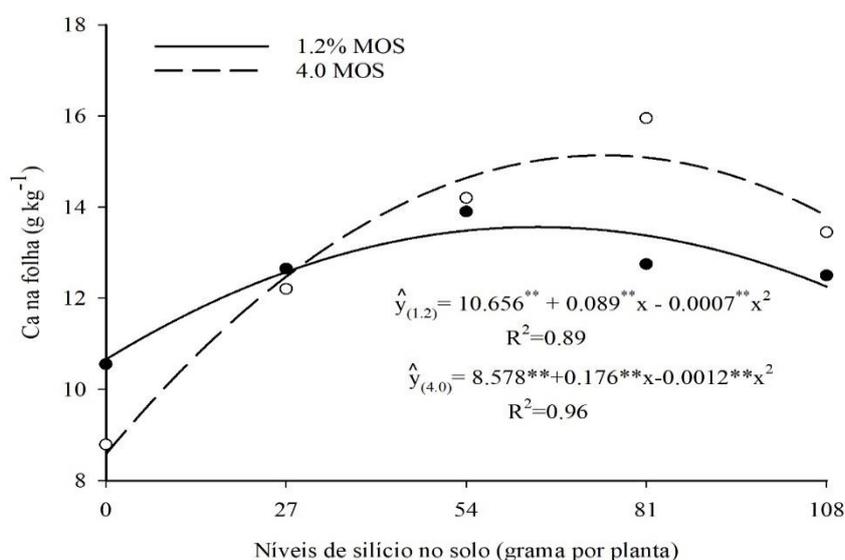
Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

Para Santos et al. (2021), o Si aliviou o estresse por deficiência de K nas plantas de milho, pois melhorou as variáveis nutricionais, fisiológicas e de crescimento da planta. Em outro estudo, Rea et al. (2022), o silício aumenta a disponibilidade e o acúmulo de macronutrientes (nitrogênio, potássio, cálcio e enxofre) e micronutrientes (ferro e manganês). Para Sarah et al. (2021), o Si aplicado na raiz e nas folhas de plantas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) atenuou os efeitos da deficiência de K, pois aumentou o conteúdo de clorofilas e carotenóides, a atividade fotossintética, a eficiência do uso da água e o crescimento vegetativo. Isso indica o efeito benéfico do Si na melhoria da absorção de K e a eficiência do uso do Si, contribuindo para nutrição mineral do maracujazeiro amarelo.

O teor de potássio nas folhas de maracujazeiro amarelo foi elevado com a adição de matéria orgânica, sendo superior em 24,61% àquelas que não receberam o do insumo orgânico, cujos valores foram de 18,58 g kg⁻¹ e 14,91 g kg⁻¹, respectivamente (Figura 21 B). Conforme, Stockdale et al. (2006), a adição de MOS melhora a estrutura, a textura e a porosidade, o que, conseqüentemente, aumenta a capacidade de retenção de água do solo, resultando em plantas nutricionalmente mais equilibrada. Mantiovani et al. (2017) observaram aumento do teor de potássio no solo com adubação orgânica devido à menor adsorção do nutriente aos componentes minerais da fase sólida, especialmente sesquióxidos de Fe e Al, e à maior contribuição das formas orgânicas e inorgânicas de Potássio do esterco para a fração disponível para as plantas (P-Mehlich).

A aplicação de silício via solo, em ambas as situações de esterco bovino (com e sem), influenciou os teores foliares de cálcio do maracujazeiro- amarelo, com incrementos até as doses estimadas de 73 e 64 g por planta de silício, alcançado teores máximos de 15,03 e 13,48 g kg⁻¹, respectivamente (Figura 22). Os resultados são indicativos de que o pomar estava, no início do florescimento, adequadamente supridos em Ca, com adubação orgânica e deficiente em cálcio, quando não se aplicou o insumo orgânico, uma vez que os teores exigidos pela cultura se situam na amplitude de 15 a 20 g kg⁻¹ (Malavolta et al., 1997) e Oliveira (2002) varia de 15 – 25 g kg⁻¹ de matéria seca foliar.

Figura 22. Teores de cálcio nas folhas de plantas de maracujazeiro amarelo em função das doses de silício via solo e adubação orgânica. * e ** são significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F



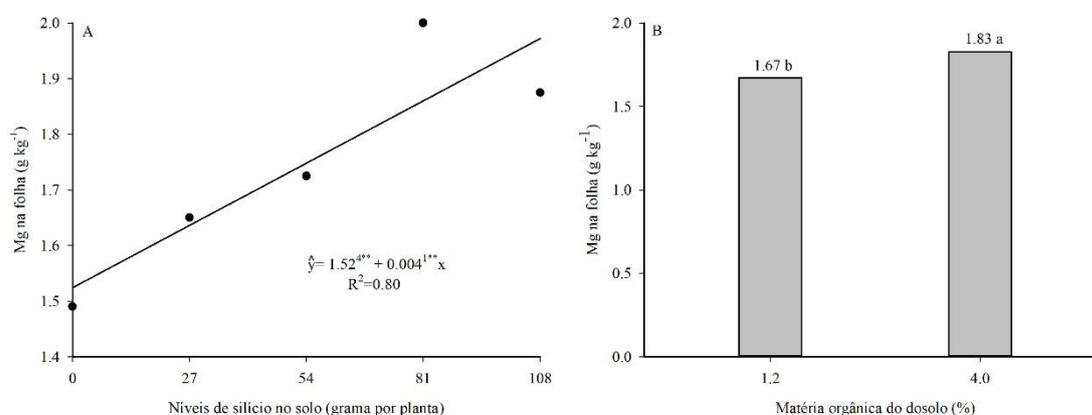
Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

Resultado semelhante foi observado por Alonso et al. (2020), ao aplicar via pulverizações foliares com silicato de sódio (0,2 g L⁻¹ de Si) em plantas de tomates (*Solanum lycopersicum*), menos sensíveis à deficiência de Ca. Assim, o Si pode aliviar a deficiência de Ca, que é comum na agricultura, pois aumenta a massa seca acumulada da parte aérea das culturas, devido à maior eficiência no uso desse nutriente (BUHELDT et al., (2020). Em outra pesquisa, Li et al. (2018), verificaram que a aplicação de Si pode melhorar a absorção da maioria dos nutrientes em condições de deficiência, mas restringe a absorção excessiva quando eles são fornecidos em quantidades excedentes. Outra pesquisa, conduzida por Gomes et al. (2019), demonstrou que a aplicação de 4 e 8 g L⁻¹

de silício e 15 g L⁻¹ de cálcio na cultura da uva (*Vitis vinifera*), representou uma possível estratégia alternativa de fertilização, com reflexos positivos na produtividade da planta sem prejudicar as características fotoquímicas da fruta e seus derivados. Assim, o Si pode melhorar o crescimento das raízes sob deficiência de Ca, por exemplo, por meio da comunicação entre raiz e a parte aérea, melhorando a eficiência do uso de Ca.

O teor de magnésio, na matéria seca foliar das plantas de maracujazeiro amarelo aumentaram em 1,53 g kg⁻¹ para cada unitário da dose de silício até o valor máximo de 1,95 g kg⁻¹ no nível de 108 g por planta (Figura 23 A). Por outro lado, a adição do adubo orgânico proporcionou incremento de 9,58% em comparação àquelas plantas cultivadas sem o insumo orgânico, cujos valores foram de 1,83 e 1,67 g kg⁻¹, respectivamente (Figura 23 B).

Figura 23. Teores de Magnésio nas folhas de plantas de maracujazeiro amarelo em função de doses de silício via solo e esterco bovino. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ** significativos a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

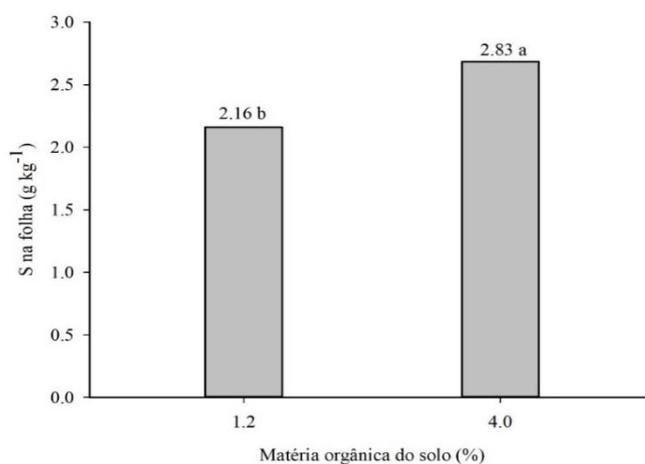
Greger et al. (2018) relataram que a adição de Si aumentou a absorção e o acúmulo de Mg nos brotos de várias espécies cultivadas em solução com suprimento ideal de nutrientes. Outro estudo, Buchelt et al. (2020) relataram o alívio mediado por Si do estresse de Mg em culturas forrageiras, mas atribuíram isso ao aumento da eficiência do uso de Mg. Hosseini et al. (2019) revelaram o papel vital do Si sob a deficiência de Mg, regulando o metabolismo primário da planta e as mudanças hormonais.

Pelos valores, nota-se que no início da frutificação, as plantas estavam com teores ligeiramente abaixo da faixa de suficiência em Mg para o maracujazeiro-amarelo. Segundo Malavolta et al. (1997) e Oliveira (2002), que a faixa adequada de Mg na amplitude de 2,0 – 2,5 g kg⁻¹, Os teores de Mg estavam inferiores às constatações de Silva

Junior et al. (2013), que obtiveram teor médio de $2,21 \text{ g kg}^{-1}$ de Mg nas folhas de maracujazeiro-amarelo.

Com relação ao teor de enxofre em folhas de maracujazeiro amarelo, as plantas do solo com adição de matéria orgânica do solo apresentaram teores superiores em 314% àquelas cultivadas sem o insumo orgânico, cujos os teores de enxofre foram de $2,83 \text{ g kg}^{-1}$ e $2,16 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente (Figura 24). Os referidos teores se apresentam inferiores à faixa de 3 a 4 g kg^{-1} do macronutriente admitido como adequado à cultura (Malavolta et al., 1997 e Oliveira, 2002).

Figura 24. Teores de enxofre nas folhas de plantas de maracujazeiro amarelo em função de doses de silício e esterco bovino. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste F.



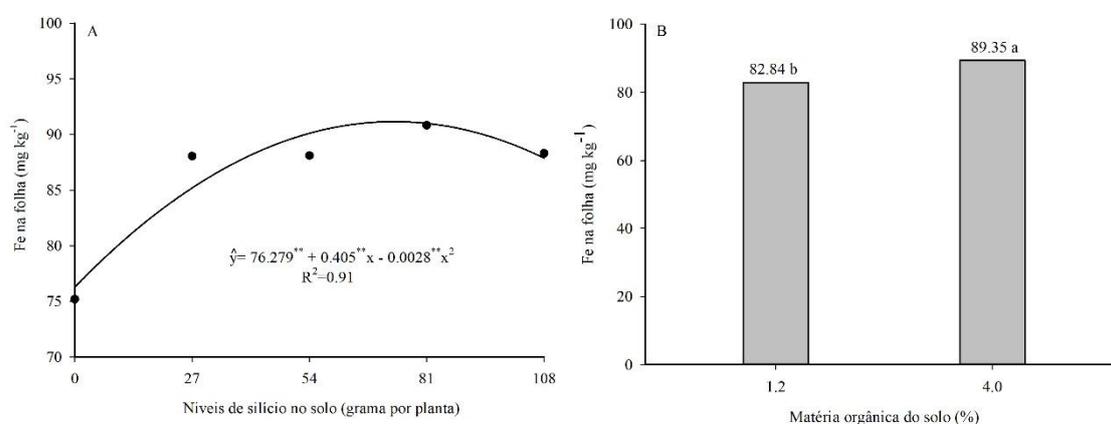
Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

O enxofre é um dos nutrientes essenciais necessários para o crescimento e desenvolvimento adequado das plantas, inclusive do maracujazeiro amarelo. A superioridade dos tratamentos com adubação orgânica está correlacionada, já que a maioria do enxofre do solo está presente na matéria orgânica, (Tipping et al. 2016), MOS de solos contém N, P e S em sua composição química. Ainda, aproximadamente 95% do enxofre total nos solos é encontrado na matéria orgânica. À medida que a matéria orgânica do solo se decompõe, o S na forma orgânica se mineraliza em sulfato-enxofre, (SO_4^-) a única forma que as raízes das plantas podem absorver. Para Bhattt et al. (2019), os fertilizantes orgânicos melhoram as atividades físico-química e biológicas do solo, melhorando a fertilidade natural dos solos. Por fim, com fonte de nitrogênio foi utilizada ureia (44% de N) e sulfato de amônio (21% de N e 24% de S, como fonte de potássio foi utilizado sulfato de potássio (48% de K_2O e 18% de S). Assim, aplicação adequada de fertilizantes inorgânicos juntamente com adubos orgânicos aumenta a fertilidade do solo.

do que os valores obtidos pelos fertilizantes orgânicos ou inorgânicos separadamente. A aplicação dos níveis de Si via solo teve efeito quadrático no teor de Fe nas folhas do maracujazeiro amarelo com teor máximo de 90,54 mg kg⁻¹, até a dose de 71 gramas por planta de Fe (Figura 25). Resultado semelhante foi constatado por Rea et al. (2022), a aplicação de Si aumentar a disponibilidade e o acúmulo de Fe. No entanto, vale a pena mencionar que os efeitos do Si sobre o rendimento, a disponibilidade e o acúmulo de nutrientes variaram entre as culturas e as diferentes condições ambientais do solo. o Si reduziu a deficiência de Fe nas plantas de sorgo (*Sorghum bicolor L*), aumentando a concentração de pigmentos fotossintéticos, reduzindo a peroxidação lipídica, melhorando a eficiência da translocação e utilização do Fe e resultando em maior acúmulo de massa seca. (TEIXEIRA, et. al, 2020).

Em comparação, as plantas de maracujazeiro amarelo cultivadas com adição de esterco bovino (4% MOS) sobressaíram àquelas formas sem adição do insumo (1,2% MOS), cujos teores foram de 89,35 e 82,44 mg kg⁻¹, equivalente à superioridade de 8,38% (Figura 23 B). Para Malavolta et al. (1997) e Oliveira (2002), plantas de maracujazeiro-amarelo, nutricionalmente, equilibradas devem conter na matéria seca foliar, entre 120 e 200 mg kg⁻¹ de ferro. Assim, as plantas no início do florescimento estavam deficientes em Fe.

Figura 25. Teores de ferro nas folhas de plantas de maracujazeiro amarelo em função de doses de silício via solo e esterco bovino. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ** significativos a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

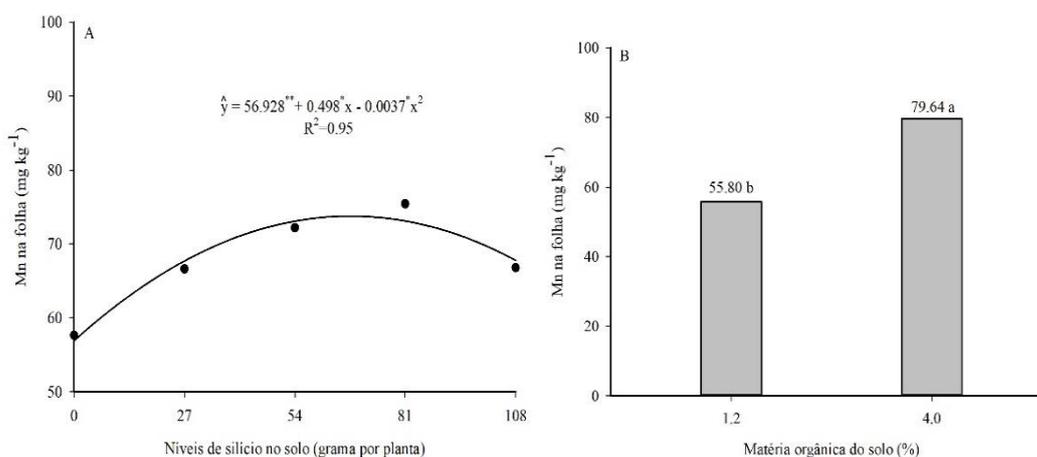


Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

A acumulação de manganês nas folhas de plantas de maracujazeiro amarelo foi estimulada pelo aumento nas doses de Si no solo (Figura 26). As plantas que receberam 76 g por planta de Si obtiveram maior teor de manganês na matéria seca da folha, com

valor de 73,68 mg kg⁻¹. Esse comportamento é destacado por Rea et al. (2022), na qual o silício aumenta a disponibilidade e o acúmulo de macronutrientes (nitrogênio, potássio, cálcio e enxofre) e micronutrientes (ferro e manganês).

Figura 26. Teores de manganês nas folhas de plantas de maracujazeiro amarelo em função de doses de silício via solo (A) e esterco bovino (B). Médias seguidas de mesma letra não deferem entre si, * e ** são significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

A adição de esterco bovino nas covas para elevar o teor de MO para 4% elevou o teor de manganês foliar de 55,80 para 79.64 mg kg⁻¹, proporcionando uma superioridade de 42,72% (Figura 24 B). A superioridade está correlacionada, os adubos orgânicos associados com a aplicação de MnSO₄ (50 mg kg⁻¹) aumentaram o Mn total, o teor de Mn extraível por DTPA e as frações de Mn, resultando maior Mn disponível para plantas (MITTAL et, al, 2023).

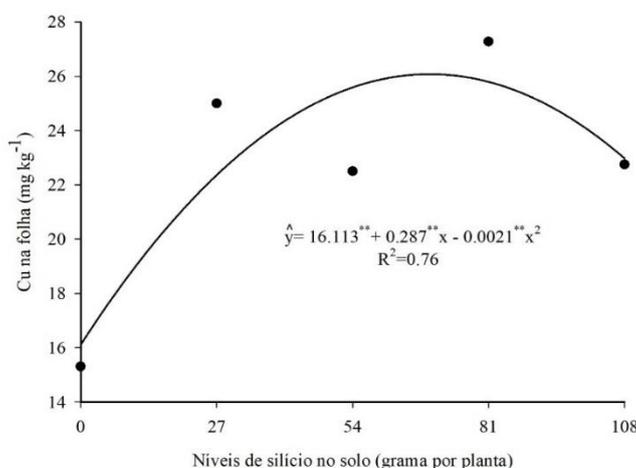
Apesar do aumento do teor de manganês, em ambas as situações, (doses de silício e matéria orgânica aplicadas de forma isolada) as plantas de maracujazeiro amarelo estavam deficientes conforme verificado por Malavolta et al. (1997) e nutricionalmente equilibrada de acordo com Oliveira (2002). As plantas de maracujazeiro amarelo nutricionalmente equilibradas em manganês, no início da floração do pomar, devem acumular entre 400 e 600 mg kg⁻¹ e 40 a 250 mg kg⁻¹ do micronutriente na matéria seca foliar das plantas, respectivamente. Esse micronutriente participa da síntese de clorofila, na ativação de enzimas e no fotossistema II, que é responsável pela fotólise da água (TAIZ e ZEIGER, 2017), estando sujeito a grandes variações, sem apresentar sintomas de deficiência, inclusive no maracujá-amarelo. No maracujazeiro amarelo, a absorção de Fe

e Mn parecem estar ligados, corroborando, assim, com as afirmações de Cointry e Very (2019). O Mn, juntamente com o Fe e outros metais, compartilham rotas de entrada comuns no sistema radicular. Esses elementos competem pela absorção da raiz por meio de transportadores de elemento de ampla especificidade, cuja posição e abundância parecem ser reguladas pela planta para manter uma homeostase.

O teor de cobre na matéria seca foliar de maracujazeiro amarelo atingiu maior valor igual a 25,42 mg kg⁻¹ com a utilização de silício via solo na forma de ácido silícico, no nível de 68 g por planta (Figura 27). Em contraparte, níveis de Si acima do nível estimado promoveu diminuição de absorção de Cu pelas plantas maracujá-amarelo, diminuindo, possível toxidez, causando pelo consumo de luxo desse micronutriente. Fato reportado por Beltagi et al. (2020), ao constatarem que o Si diminuiu a absorção e o transporte de Cu para a parte aérea das plantas de linho (*Linum usitatissimum* L.), atributos de produção e sistemas de defesa antioxidante, reduzindo o acúmulo de Cu, a peroxidação lipídica e a geração de H₂O₂.

Esses valores expressam que as plantas estavam com teor Cu acima na faixa considerada adequada desse. A faixa admitida como adequada de cobre ao maracujazeiro-amarelo se situa na amplitude de 10 a 20 mg kg⁻¹ (Malavolta et al., 1997) e 10 a 15 mg kg⁻¹ (OLIVEIRA, 2002).

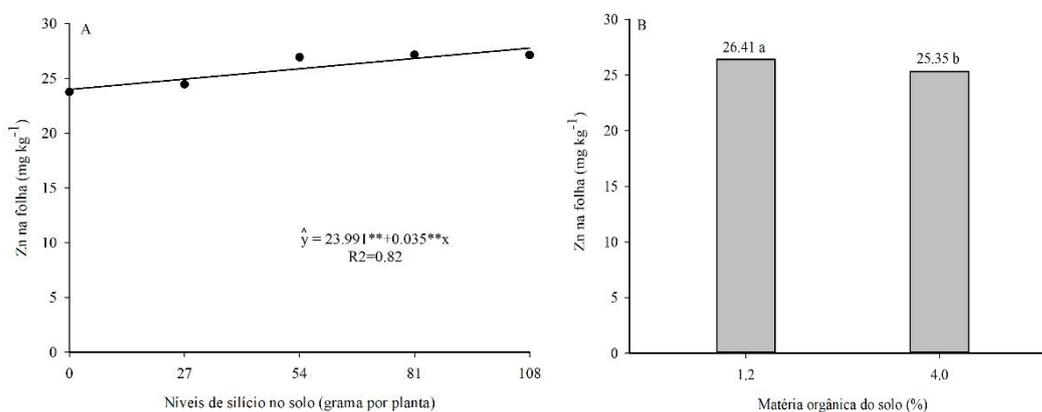
Figura 27. Teores de cobre (Cu) nas folhas de plantas de maracujazeiro amarelo em função de níveis de silício via solo. * e ** são significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

Pelos resultados da Figura 28 A, o teor de zinco (Zn) foliar no maracujazeiro amarelo foi elevado em $0,035 \text{ mg kg}^{-1}$ no teor de Cu na matéria seca de folhas para cada aumento unitário da dose de Si via solo. O teor de Cu variou de $23,99 \text{ mg kg}^{-1}$ para $27,77 \text{ mg kg}^{-1}$ entre as plantas sem e com 108 g por planta de silício, correspondente uma superioridade de $15,75\%$. Para Kumari et al. (2022), o teor adequado de Zn regula a permeabilidade da membrana, a atividade de substâncias antioxidantes e aumenta a eficiência fotossintética e o uso da água, condição primordial em regiões semiáridas, a exemplo, da microrregião de Catolé do Rocha-PB.

Figura 28. Teores de Zinco nas folhas de plantas de maracujazeiro amarelo em função das doses de silício via solo e esterco bovino. Médias seguidas de mesma letra não deferem entre si, ** significativos a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

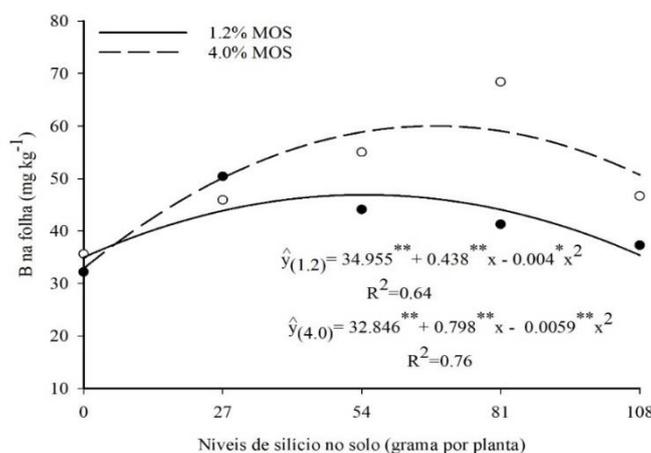
Comparativamente, o teor de Zn nas plantas sem adição de matéria orgânica ao solo sobressaiu àquelas formadas com adição do insumo orgânico, cujos valores foram de $26,41 \text{ mg kg}^{-1}$ e $25,31 \text{ mg kg}^{-1}$ (Figura 28 B). Apesar da matéria orgânica do solo melhorar a estrutura, a aeração, a retenção de umidade, disponibilidade de macronutrientes e alguns micronutrientes, a fração húmica da MOS retém 56% do Zn e a flúvica 12% . Assim, a decomposição da MOS pode reduzir a disponibilidade de Zn para plantas, fato ocorrido na presente pesquisa, corroborando com Santos e Rodella (2007), na qual descrevem que a adição de materiais orgânicos no solo reduziu os teores de Zn extraíveis do solo e na parte aérea de plantas de mostarda (*Brassica juncea*). Ainda, conforme Rizwan et al. (2019), a eficiência e a absorção de Zn pelas plantas são muito importantes para o crescimento das plantas e seu conteúdo total no solo, que é influenciado por várias propriedades do solo, como pH, CaCO_3 , teor e tipo de matéria orgânica do solo, tipo de cultura e interações de nutrientes no solo.

Pelos resultados, no início do florescimento, as plantas estavam nutricionalmente equilibradas em zinco, que exigem, em média, de 25 a 40 mg kg⁻¹ (Malavolta et al., 1997) e 25 a 60 mg kg⁻¹ (Oliveira, 2002) do micronutriente na matéria seca das folhas.

Os maiores teores foliares de boro no maracujazeiro amarelo foi de 59,83 e 46,95 mg kg⁻¹ nas dosagens de 68 e 55 g de silício por planta, respectivamente, no solo com e sem esterco bovino (Figura 29). Assim, o Si é principalmente, se não exclusivamente, absorvido pelo sistema radicular e tal absorção pelas raízes é necessária para um efeito no crescimento e na nutrição mineral das plantas.

Comparativamente, o teor de B das plantas cultivadas com Si e adição do insumo orgânico foi superior 23,63% às plantas formadas sem adição do insumo orgânico. A aplicação simultaneamente de Si e MOS em melhorar a eficiência do uso de água e nutrientes do solo pelas plantas, mantendo, assim, melhores relações água-solo-planta (SHI et al., 2016). Pelos valores, nota-se que no início do florescimento as plantas estavam com teores adequados de boro ao maracujazeiro-amarelo, conforme Malavolta et al. (1997) entre 40 e 50 mg kg⁻¹ e nutricionalmente equilibrada de acordo com Oliveira (2002) 40 a 100 mg kg⁻¹. Com isso, Kamuri et al. (2022), plantas nutricionalmente equilibrada em B demonstraram maior resistência déficit hídrico e à maior absorção de água do solo da rizosfera pelo crescimento de mais pelos radiculares e micorrizas. Essas condições são essências para a microrregião de Catolé do Rocha-PB com uma pluviosidade média de 800 mm/ano e uma evaporação de referência de 2000 mm/ano.

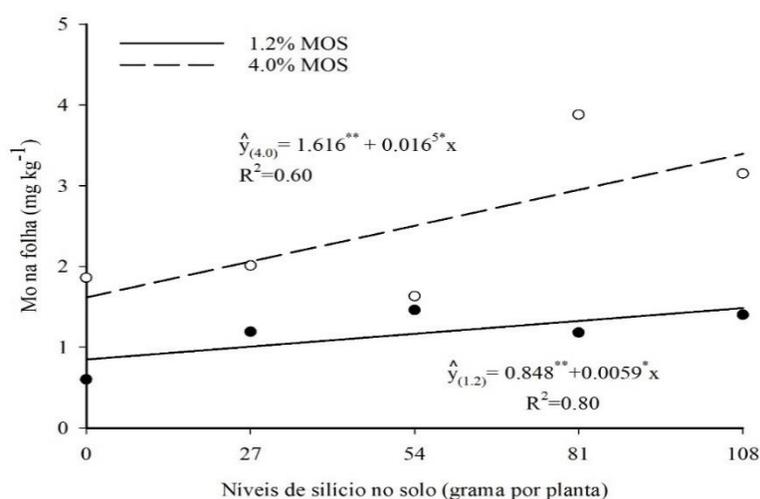
Figura 29. Teores de boro nas folhas de plantas de maracujazeiro amarelo em função de doses de silício via solo e esterco bovino. * e ** são significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.



Fonte: Elaborada pela autora, 2024

Os teores de molibdênio em folhas de plantas de maracujazeiro amarelo, respectivamente, no solo sem e com matéria orgânica no solo aumentaram linearmente os teores de Mo para 0,848 e 1,616 mg kg⁻¹ para cada g de Si aplicado via solo, alcançando teores máximos de 2,89 e 3,35 mg kg⁻¹ no nível de 108 g por planta (Figura 30).

Figura 30. Molibdênio nas folhas de plantas de maracujá-amarelo em função de doses de silício via solo e esterco bovino. * e ** são significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

Assim, tanto o Si quanto a matéria orgânica exercem efeitos benéficos na nutrição mineral em molibdênio do maracujazeiro amarelo. Korndörfer e Lepsch, (2001), relatam que o Si do solo é continuamente perdido como resultado do processo de lixiviação e geralmente os solos das regiões subtropicais e tropicais são pobres em Si disponível para as plantas e beneficiariam da fertilização com Si; sendo, necessário a adubação alternativa com Si e adubação orgânica, haja vista, que o solo possui 10 mg kg⁻¹ e 1,2% de matéria orgânica do solo (Tabela 1).

Comparativamente, as plantas formadas com adição de matéria orgânica sobressaíram na ordem de 15,92% àquelas cultivadas sem adição do insumo orgânico. Com isso, a interação Si e adubação orgânica aumenta o crescimento a condutância hidráulica da raiz, permitindo que as plantas de maracujazeiro amarelo aumentem a capacidade de exploração das raízes na solução do solo, conseqüentemente, maior absorção de Molibdênio e outros nutrientes essenciais às plantas.

Fato também reportado por Chakma et al. (2023), o Si aumentou a matéria seca e a condutância hidráulica da raiz em plantas de tomate e uva, aumentando a capacidade de tolerância ao déficit hídrico.

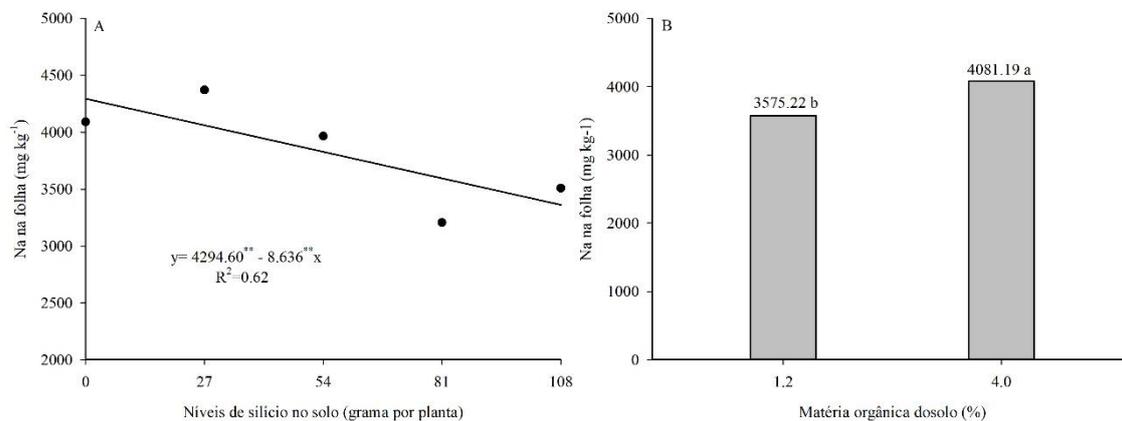
Nossos resultados também concordaram com Abdelrasheed et al. (2021), que constataram que as aplicações de várias fontes de Si aumentaram a produção de exsudatos radiculares e superfícies radiculares, resultando em maior absorção de macronutrientes essenciais. Outro resultado, Rizwan et al. (2023), a aplicação de fontes abiogênicas de Si, especialmente NPs-Si, aumentou o crescimento, o rendimento e a fisiologia da planta, a disponibilidade de nutrientes e reduzir o estresse salino na primeira safra de *Zea mays*.

As plantas cultivadas com adição de esterco bovino apresentaram maior teor de sódio de 4081,19 mg kg⁻¹ em folhas de maracujá-amarelo em comparação a ausência de insumo orgânico com teor de 3575,22 mg kg⁻¹, equivalente à superioridade de 14,15% (Figura 31 B). Essa superioridade pode ser resposta do aumento de sódio no solo (Tabela 1) promovido pelo teor do elemento (5,59 g kg⁻¹) contido no esterco bovino adicionado ao solo por ocasião do preparo das covas e no início do florescimento para elevar o valor para 4% de MOS (Tabela 3) e da adição de sódio pela água de irrigação (Tabela 2), com restrições, moderada (6,00 mmolc L⁻¹ = 0,6 cmolc dm⁻³) e a adição diária durante a estiagem deve ter contribuído para o seu incremento no solo. Os resultados formam superiores às constatações de Cavalcante et al. (2015), os teores de sódio em folhas de plantas de maracujazeiro amarelo foram de 827,60 e 917,60 mg kg⁻¹

O sódio, apesar de não ser elemento essencial, foi mais acumulado nas plantas que todos os micronutrientes e os macronutrientes fósforo, magnésio e enxofre, como inclusive constataram também Cavalcante et al. (2005) em goiabeira (*Psidium guajava*) cultivar Paluma, Mesquita et al. (2010) em mamoeiro Baixinho de Santa Amália (*Carica papaya*) e Gondim et al. (2009) e Cavalcante et al. (2015) em maracujazeiro amarelo, que constataram o teor sódio superior aos micronutrientes todos cultivados em solo não salino e irrigados com água sem restrição salina à agricultura.

Ao considerar a ausência de sintomas típicos de injúrias foliares pelo excesso de sódio durante todo o período experimental, possivelmente o sódio, exerça no maracujazeiro amarelo a função de elemento essencial como constatado por Cavalcante et al. (2015).

Figura 31. Sódio nas folhas de plantas de maracujazeiro amarelo em função de doses de silício via solo e esterco bovino. * e ** são significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

Quanto ao silício, com e sem adubação orgânica, os teores foliares ajustaram ao modelo polinomial e linear crescente, com superioridade para as plantas formadas com adição de esterco bovino em comparação àquelas plantas cultivadas a ausência de insumo orgânico (Figura 32 A e B). Os dados aumentaram até os valores de 4.496,63 mg kg⁻¹ com nível máximo estimado de 113 g por planta de silício via solo, quando o teor de matéria orgânica do solo foi elevado para 4%. Já para as plantas formadas sem adição de matéria orgânica do solo (valor existente 1,2%), o teor de silício em folhas de maracujazeiro amarelo aumentou 15,631 mg kg⁻¹ para cada incremento unitário de ácido silícico via solo, alcançando teor máximo de 3918,13 mg kg⁻¹ no nível de 108 g por planta. Assim, aplicação de silício via solo proporcionou maior concentração de Si na solução do solo, que foi absorvido pelas plantas, conforme o Klotzbücher et al. (2020), na qual o Si está presente principalmente na forma de ácido monossilícico dissolvido e, em menor escala, na forma polimérica. Outra pesquisa, Rajput et al. (2021), o Si está presente no solo e sua absorção e transporte nas plantas dependem da composição química e das raízes das plantas, sendo absorvido pelas raízes das plantas como ácido monossilícico e transportado para a aérea.

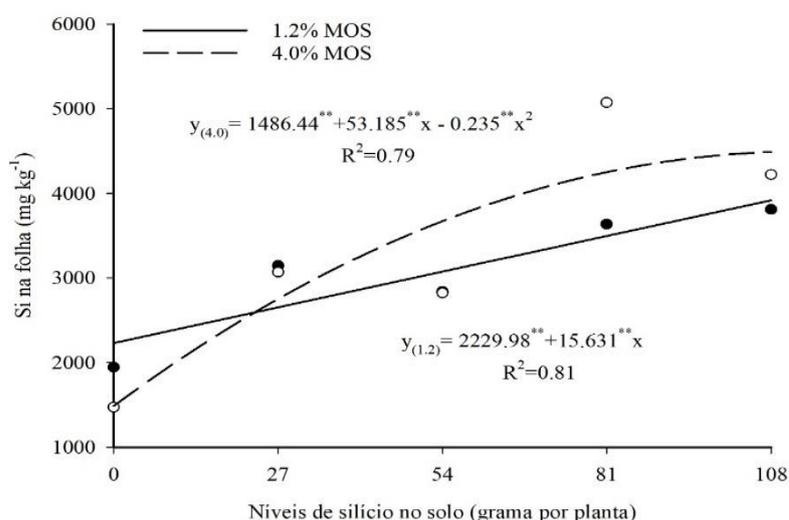
Em contraparte, o aumento de silício no em folhas de maracujá inibiu a absorção de Na⁺ pelas folhas (Figura 30), ou seja, tem uma relação de antagonismo, a presença de um inibe a absorção e vice-versa. Para Abreu et al. (2021), o silicato pode trazer benefícios à produção de maracujá. Resultado semelhante foi Hurtado et al. (2019), em

que a aplicação de Si via solo e foliar aliviou o estresse salino pela diminuição da absorção de Na^+ e aumentou a eficiência nutricional, favorecendo assim o peso seco total da planta no sorgo em 27% e no girassol (*Helianthus annuus*) em 41%. Outra pesquisa, Singhal et al. (2023), a aplicação de fertilizante de silício (silicato solúvel ou escória básica) no solo pode aumentar o rendimento de 10 a 25% de muitas culturas.

Por outro lado, em plantas de maracujazeiro-amarelo, a importância do Si fornecido por meio de aplicação via solo foi evidente, com o Si atenuando os efeitos deletérios do estresse por salinidade ao diminuir o acúmulo de Na^+ nas folhas e ao aumentar a eficiência de absorção de todos os nutrientes. Portanto, essa nova descoberta indica que, em plantas que não acumulam Si, como o maracujá-amarelo, a aplicação via solo é um método viável para reduzir os danos induzidos pela salinidade em regiões semiáridas.

Na média dos tratamentos, o acúmulo de nutrientes e elementos na matéria seca de folhas das plantas de maracujazeiro amarelo obedeceu à seguinte ordem decrescente: $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Si} > \text{Na} > \text{S} > \text{P} > \text{Mg} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Mo}$.

Figura 32. Silício nas folhas de plantas de maracujazeiro amarelo em função de doses de silício via solo e esterco bovino. * e ** são significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste.

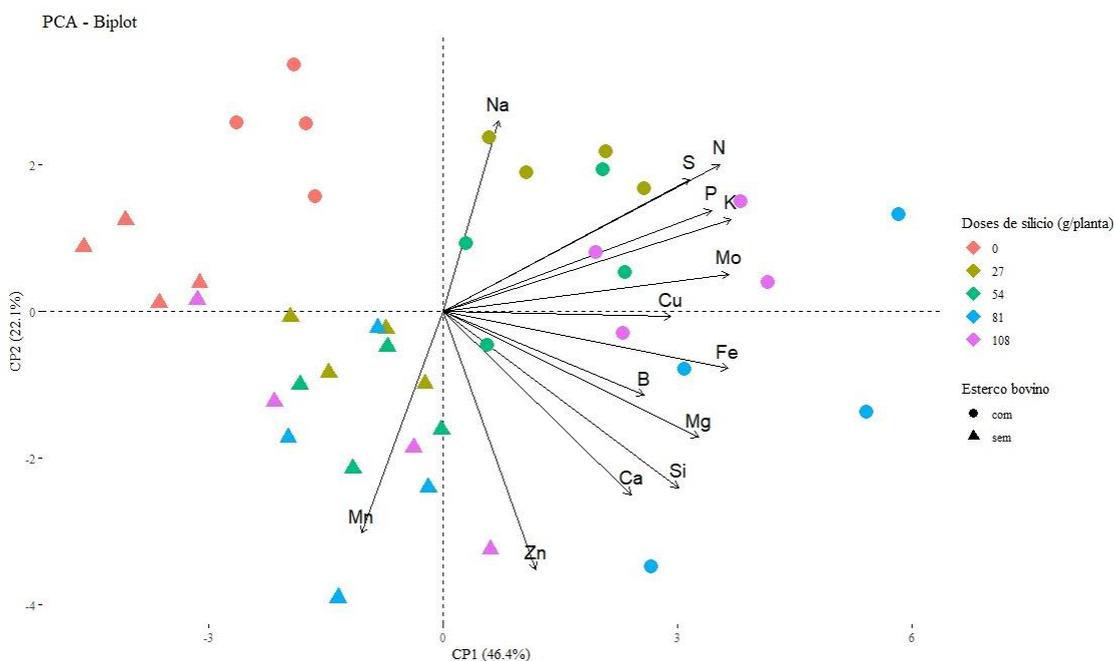


Fonte: Elaborada pela autora, 2024

4.4 Componentes principais das variáveis nutricionais do maracujazeiro-azedo

Conforme apresentado na análise de componentes principais (PCA) das variáveis da composição mineral foliar de frutos do maracujazeiro-azedo (Figura 33), verifica-se que os auto vetores do PCA1 e PCA2 foram responsáveis por explicar 44,2% e 21,9% da variância, respectivamente, que corresponde à 66,1% dos auto vetores do total da variância de dados. As variáveis foram pouco influenciadas pelas doses de silício quando não associada ao esterco bovino ou da aplicação do insumo orgânico sem a adubação silicatada. O maracujazeiro-azedo apresentou maiores teores foliares de nutrientes, principalmente, P, K, Ca, Mg, B, Mo, Cu, Fe e Si e baixos teores de Na^+ foliar com a aplicação de esterco bovino em doses elevadas de Si ($\geq 81 \text{ g planta}^{-1}$). Além disso, a presença de silício nos tecidos foliares apresenta correlação positiva com a absorção de Ca e Mg, além de apresentar antagonismo com o sódio.

Figura 33. Análise de componentes principais das variáveis nutricionais do maracujazeiro-azedo em função das doses de silício e esterco bovino no solo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

5. CONCLUSÕES

A aplicação de doses acima de 82 g planta⁻¹ de Si associado com aplicação de matéria orgânica promove maior nutrição mineral do maracujazeiro-azedo e fertilidade do solo em macronutrientes, micronutrientes e silício, promovendo maior produtividade de frutos.

Os níveis de Si via solo diminuíram os teores de sódio na composição mineral do maracujá-amarelo e no solo.

Os níveis de Si via solo diminuíram os valores da condutividade elétrica do solo, independente da fonte variação.

O esterco bovino aplicado ao solo elevou os teores de matéria orgânica do solo.

REFERÊNCIAS

- ABDELGAWAD, H.; ZINTA, G.; HEGAB, M.M.; PANDEY, R.; ASARD, H.; ABUELSOUD, W. High salinity induces different oxidative stress and antioxidant responses in maize seedlings organs. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 276, 2016.
- ABREU, R.A.A.; ASSIS, F. A.; SOUZA, B.H.S.; NASCIMENTO, A.M.; LATINI, A.O.; PIO, L.A.S. Effects of silicon application on the biochemistry of passion fruit and performance of *Dione juno juno* (Lepidoptera: Nymphalidae). **Arthropod-Plant Interactions**, v. 15, p. 417-429, 2021.
- AHIRE, M.I.; MUNDADA, P.S.; NIKAM, T.D.; BAPAT, V.A.; PENNA, S. Multifaceted roles of silicon in mitigating environmental stresses in plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 169, p. 291-310, 2021.
- AL-GHAMDI, A.A.M.; ASHRAM, A.M. Effect of silicon application on soil physical and chemical properties under drought stress. **Journal of Environmental Biology**, v. 42, n. 2, p. 280-284, 2021.
- ALMEIDA, R.F.; QUEIROZ, I.D.S.; MIKHAEL, J.E.R.; OLIVEIRA, R.C.; BORGES, E.N. Enriched animal manure as a source of phosphorus in sustainable agriculture. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 8, p. 203-210, 2019.
- ALMEIDA, W.A.; ARAÚJO NETO, S.E.; UCHÔA, T.L.; SOUZA, L. G.; SILVA, N. M.; FERREIRA, R.L.F.; TOMIO, D.B. Chemical soil and leaf properties in yellow passion fruit cultivation with organic fertilization. **Comunicata Scientiae**, v. 11, p. e3342-e3342, 2020.
- ALONSO, T.A.S.; BARRETO, R.F.; PRADO, R.M.; SOUZA, J.P.; CARVALHO, R.F. Silicon spraying alleviates calcium deficiency in tomato plants, but Ca-EDTA is toxic. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 183, n. 6, p. 659-664, 2020.
- ALVES, D.M.R.; DE MELLO PRADO, R.; BARRETO, R.F. Silicon and sodium attenuate potassium deficiency in *Eruca sativa Mill.* **Food Chemistry**, v. 432, p. 137225, 2024.
- ANTUNES, L.F.S.; VAZ, A.F.S.; MARTELLETO, A.P.; LEAL, M.A.A.; ALVES, R.S.; FERREIRA, T.S.; RUMJANEK, N.G.; CORREIA, M.E.F.; ROSA, R.C.C.; GUERRA, J.G.M. Sustainable organic substrate production using millicompost in combination with different plant residues for the cultivation of *Passiflora edulis seedlings*. **Environmental Technology & Innovation**, v. 28, p. 1 -13, 2022.
- ANWAAR, S. A.; ALI, S., ALI, S.; ISHAQUE, W.; FARID, M.; FAROOQ, M. A.; SHARIF, M. Silicon (Si) alleviates cotton (*Gossypium hirsutum L.*) from zinc (Zn) toxicity stress by limiting Zn uptake and oxidative damage. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, p. 3441-3450, 2015.

ANWAR, S.A.; MAMADOU, O.; DIALLO, I.; SYLLA, M.B. On the influence of vegetation cover changes and vegetation-runoff systems on the simulated summer potential evapotranspiration of tropical Africa using RegCM4. **Earth Systems and Environment**, v.5p. 883-897, 2021

ÁVILA, F.W.; BALIZA, D.P. FAQUIN, V.; ARAÚJO, J.L.;RAMOS, S.J. Interação entre silício e nitrogênio em arroz cultivado sob solução nutritiva. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 184-190, 2010.

AYRES, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999.

BEIER, S.; MARELLA, N.C.; YVIN, J.C.; HOSSEINI, S.A.; VON WIREN, N. Silicon mitigates potassium deficiency by enhanced remobilization and modulated potassium transporter regulation. **Environmental and Experimental Botany**, v. 198, p. 104849, 2022.

BLAISE, D.; SINGH, J.V.; BONDE, A.N.; TEKALE, K.U. & MAYEE, C.D. Effects of farmyard manure and fertilizers on yield, fibre quality and nutrient balance of rainfed cotton (*Gossipium hirsutum*). **Biores. Technol.**, 96:345-349, 2005

BHATT, M.K.; LABANYA, R.; JOSHI, H.C. Influence of long-term chemical fertilizers and organic manures on soil fertility-A review. **Universal Journal of AGRICULTURAL RESEARCH**, V. 7, N. 5, P. 177-188, 2019.

BITYUTSKII, N.P.; YAKKONEN, K.L.; PETROVA, A.I.; LUKINA, K.A.; SHAVARDA, A. L. Silicon ameliorates iron deficiency of cucumber in a pH-dependent manner. **Journal of plant physiology**, v. 231, p. 364-373, 2018.

BUHELDT, A.C.; TEIXEIRA, G.C.M.; OLIVEIRA, K.S.; ROCHA, A.M.S.; MELLO, R. P.; CAIONE, G. Silicon contribution via nutrient solution in forage plants to mitigate nitrogen, potassium, calcium, magnesium, and sulfur deficiency. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, p. 1532-1548, 2020.

CARMO, J.F.; GARCIA, K.G.V.; MENDES FILHO, P.F.; ARAÚJO PEREIRA, A.P.; PINHEIRO, J.I. Silicon application and mycorrhiza inoculation promoted *Leucaena leucocephala* growth in a soil highly contaminated by manganese. **Nativa**, v. 10, n. 3, p. 410-416, 2022.

CAVALCANTE, I. H. L.; CAVALCANTE, L. F.; OLIVEIRA, F. A.; ARAÚJO, F. A. R. Produção, exportação de nutrientes e composição mineral em dois genótipos de goiabeira. **Científica**, v. 33, n. 2, p. 112-119, 2005.

CAVALCANTE, L.F.; MESQUITA, F.D.O.; NUNES, J.C.; DINIZ, A.A.; LIMA NETO, A.D SOUTO, A.G.L.; SOUZA, J.D. Produção e composição mineral do maracujazeiro amarelo com adubação foliar de cálcio após poda-segunda safra. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 36, p. 35-49, 2015.

CHAKMA, R., ULLAH, H.; SONPROM, J.; BISWAS, A.; HIMANSHU, S.K.; DATTA, A. Effects of silicon and organic manure on growth, fruit yield, and quality of grape tomato under water-deficit stress. **Silicon**, v. 15, n. 2, p. 763-774, 2023.

CHAKRABORTY, K.; BHADURI, D.; MEENA, H.N.; KALARIYA, K. EXTERNAL POTASSIUM (K⁺) application improves salinity tolerance by promoting Na⁺-exclusion, K⁺-accumulation and osmotic adjustment in contrasting peanut cultivars- **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 103, 2016.

COINTRY, V.; VERT, G. The bifunctional transporter-receptor IRT 1 at the heart of metal sensing and signalling. **New Phytologist**, v. 223, n. 3, p. 1173-1178, 2019.

COSTA, B.N.S.; COSTA, I.J.S.; DIAS, G.M.G.; ASSIS, F.A.; PIO, L.A.S.; SOARES, J.D.R., Pasqual, M. Morpho-anatomical and physiological alterations of passion fruit fertilized with silicon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.53, p. 163-171, 2018.

CUNHA, P.V.; NASCIMENTO, W.A.; SILVA, A.J. Silicon alleviates the toxicity of cadmium and zinc for maize (*Zea mays* L.) grown on a contaminated soil. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 171, n. 6, p. 849-853, 2008.

DEY, A.; SRIVASTAVA, P.C.; PACHAURI, S.P.; SHUKLA, A.K. **Effect of application of some organic amendments on soil properties, extractable micronutrients and their chemical fractions in a sandy loam soil.** Polish Journal of Soil Science, v. 2, p.181–198, 2020.

EMBRAPA, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/producao/correcao-e-adubacao/diagnose-das-necessidades-nutricionais/recomendacao-de-correcao-e-adubacao/adubacao-organica>. Acesso em: 20/04/2024.

EL-BELTAGI, H.S.; SOFY, M. R.; ALDAEJ, M.I.; MOHAMED, H.I. Silicon alleviates copper toxicity in flax plants by up-regulating antioxidant defense and secondary metabolites and decreasing oxidative damage. **Sustainability**, v. 12, n. 11, p. 4732, 2020.

ETESAMI, H.; JEONG, B.R. Silicon (Si): Review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 147, p. 881-896, 2018.

FINK, J.R.; INDA, A.V.; TIECHER, T.; BARRÓN, V. Iron oxides and organic matter on soil phosphorus availability. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 40, p. 369-379, 2016.

FISCHEL, M.H.; CLARKE, C.E.; SPARKS, D.L. Synchrotron resolved microscale and bulk mineralogy in manganese-rich soils and associated pedogenic concretions. **Geoderma**, v. 430, p. 116305, 2023.

FLORA, C.; KHANDEKAR, S.; BOLDT, J.; LEISNER, S. Silicon alleviates long-term copper toxicity and influences gene expression in *Nicotiana tabacum*. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, n. 8, p. 864-878, 2019.

GOMES, T.M.; MAZON, L.F.; PANCERI, C.P.; MACHADO, B.D.; BRIGHENTI, A.; BURIN, V.M.; BORDIGNON-LUIZ, M.T. Changes in vineyard productive attributes and phytochemical composition of sauvignon blanc grape and wine induced by the application of silicon and calcium. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 4, p. 1547-1557, 2020.

GONDIM, S. C.; CAVALCANTE, L. F.; CAMPOS, V. B.; MESQUITA, E. F.; GONDIM, P. C. Produção e composição foliar do maracujazeiro amarelo sob lâminas de irrigação. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 4, p. 100-107, 2009.

GREGER, M.; LANDBERG, T.; VACULÍK, M. Silicon influences soil availability and accumulation of mineral nutrients in various plant species. **Plants**, v. 7, n. 2, p. 41, 2018.

GUIMARÃES JÚNIOR, M.P.A.; SANTOS, A.C; ARAÚJO, A.S.; OLIVEIRA, L.B.T.; RODRIGUES, M.O.D.; MARTINS, A.D. Relação Ca:Mg do corretivo da acidez do solo e as características agrônômicas de plantas forrageiras. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.14, n.3, p.460-471, 2013.

HOSSEINI, S.A.; NASERI RAD, S.; ALI, N.; YVIN, J.C. The ameliorative effect of silicon on maize plants grown in Mg-deficient conditions. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 4, p. 969, 2019.

IBGE. Produção Brasileira de maracujá em 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/maracuja/br>. Acesso em 20/04/2024.

IMTIAZ, M.; RIZWAN, M.S.; MUSHTAQ, M.A.; ASHRAF, M.; SHAHZAD, S.M.; YOUSAF, B.; TU, S. Silicon occurrence, uptake, transport and mechanisms of heavy metals, minerals and salinity enhanced tolerance in plants with future prospects: a review. **Journal of environmental management**, v. 183, p. 521-529, 2016.

JAM, B.J, SHEKARI, F., ANDALIBI, B.; FOTOVAT, R., JAFARIAN, V.; DOLATABADIAN, A. The Effects of Salicylic Acid and Silicon on Safflower Seed Yield, Oil Content, and Fatty Acids Composition under Salinity Stress. **Silicon**, p. 1-14, 2023.

KADYAMPAKENI, D.; SOUZA JÚNIOR, J.P. Silicon Mitigates the Effects of Boron Deficiency and Toxicity in Plants. In: **Benefits of Silicon in the Nutrition of Plants**. Cham: Springer International Publishing, p. 149-165, 2023.

KAYA, C.; TUNA, A. L.; SONMEZ, O.; INCE, F.; HIGGS, D. Mitigation effects of silicon on maize plants grown at high zinc. **Journal of Plant Nutrition**, v. 32, n. 10, p. 1788-1798, 2009.

KEILUWEIT, M.; BOUGOURE, J.J.; ZEGLIN, L.H.; MYROLD, D.D.; WEBER, P.K.; PETT-RIDGE, J. NICO, P.S. Nano-scale investigation of the association of microbial nitrogen residues with iron (hydr) oxides in a forest soil O-horizon. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 95, p. 213-226, 2012.

KHURANA, M.P.S.; SINGH, J.; CHHABRA, V.; SINGH, T.; TARKHA, A. Boron in Soil Plant System and Its Significance in Indian Agriculture. **Eco. Env. & Cons.**, v. 28, n. p 946-956, 2022.

KLEBER, M.; EUSTERHUES, K.; KEILUWEIT, M.; MIKUTTA, C.; MIKUTTA, R.; NICO, P.S. Mineral–organic associations: formation, properties, and relevance in soil environments. **Advances in Agronomy**, v. 130, p. 1-140, 2015

KLOTZBÜCHER, T.; TREPTOW, C.; KAISER, K.; KLOTZBÜCHER, A.; MIKUTTA, R. Competição de sorção com matéria orgânica natural como mecanismo de controle da mobilidade do silício no solo. **Representante Científico**, v. 10, n.1, p 1–11, 2020.

KORNDÖRFER, GH E LEPSCH, I. Effect of silicon on plant growth and crop yield. In: **Studies in plant science**. Elsevier, 2001. p. 133-147.

KUMARI, V.V.; BANERJEE, P.; VERMA, V.C.; SUKUMARAN, S.; CHANDRAN, M.A.S., GOPINATH, K.A.; AWASTHI, N.K. Plant nutrition: An effective way to alleviate abiotic stress in agricultural crops. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 15, p. 8519, 2022.

LI, J.; LEISNER, S.M.; FRANTZ, J. Alleviation of copper toxicity in *Arabidopsis thaliana* by silicon addition to hydroponic solutions. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 133, n. 5, p. 670-677, 2008.

LI, M.; WATANABE, S.; GAO, F.; DUBOS, C. Iron Nutrition in Plants: Towards a New Paradigm?. **Plants**, v. 12, n. 2, p. 384, 2023.

LI, Q.; ZHANG, D.; CHENG, H.; REN, L.; JIN, X.; FANG, W.; CAO, A. Organic fertilizers activate soil enzyme activities and promote the recovery of soil beneficial microorganisms after dazomet fumigation. **Journal of Environmental Management**, v. 309, p. 114666, 2022.

LI, Z.-C.; SONG, Z.-L.; YANG, X.-M.; SONG, A.-L.; YU, C.-X.; WANG, T.; XIA, S.; LIANG, Y.-C. Impacts of silicon on biogeochemical cycles of carbon and nutrients in croplands. **Journal of Integrative Agriculture**. v. 17, p. 2182–2195, 2018.

LIANG, Y.; NIKOLIC, M., BÉLANGER, R.; GONG, H.; SONG, A. Silicon-mediated tolerance to salt stress. In: LIANG, Y.; NIKOLIC, M.; BELANGER, R.; GONG, H.; ALIN, C. Silicon in Agriculture. Springer Science, p. 123-142, 2015.

LIU, S.; WANG, J.; PU, S.; BLAGODATSKAYA, E.; KUZYAKOV, Y.; RAZAVI, B.S. Impact of manure on soil biochemical properties: A global synthesis. *Science of The Total Environment*, v. 745, p. 141003, 2020.

MACHADO, D.L.; PEREIRA, M.G.; SANTOS, L.L.D.; DINIZ, A.R.; GUARESCHI, R. F. Organic matter and soil fertility in different successional stages of seasonal semidecidual forest. **Revista Caatinga**, v. 32, p. 179-188, 2019.

- MAHENDRAN, P.P.; GOWTHAMRAJ, K.; BALASUBRAMANIAM, P.; CHANDRAMANI, P.; YUVARAJ, M. Status and Distribution of Plant Available Silicon in Relation to Some Soil Properties and Response of Rice (*Oryza sativa* L.) to Silicon Nutrition in the Intensively Rice Growing Soils of Kanyakumari District, Tamil Nadu, India. *Silicon*, v.14p. 1519–1529, 2022.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira de Potassa e do Fósforo, 1997. 319 .
- MANTOVANI, J.R.; CARRERA, M., MOREIRA, J.L.A.; MARQUES, D.J.; SILVA, A.B.D. Fertility properties and leafy vegetable production in soils fertilized with cattle manure. *Revista Caatinga*, v. 30, p. 825-836, 2017.
- MEHRABANJOUBANI, P.; ABDOLZADEH, A.; SADEGHIPOUR, H.R., AGHDASI, M. Silicon affects transcellular and apoplastic uptake of some nutrients in plants. *Pedosphere*, v. 25, n. 2, p. 192-201, 2015.
- MENEZES, R.S.C.; SALCEDO, I.H. Mineralização de N após incorporação de adubos orgânicos em um Neossolo Regolítico cultivado com milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.361-367, 2007.
- MESQUITA, E. F.; CAVALCANTE, L. F.; GONDIM, S. C.; CAMPOS, V. B.; CAVALCANTE, I. H. L.; GONDIM, P. C. Teores foliares e exportação de nutrientes do mamoeiro baixinho de Santa Amália tratado com biofertilizantes. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 40, n. 1, p. 27-39, 2010.
- MIERZAALI, T.; ABDOLZADEH, A.; SADEGHIPOUR, H.R. Silicon ameliorates iron deficiency in sour orange seedlings grown under different pHs. *Scientia Horticulturae*, v. 323, p. 112489, 2024.
- MINAMI, K. e SALVADOR, E. D. **Substrato para plantas**. Piracicaba - SP: Editora Degaspari, 2010, 226 p
- MITTAL, S.; SAINI, S.P.; MEENA, H.M.; SINGH, P. Soil Manganese Dynamics and Performance of Wheat Cultivars in Relation to Soil and Foliar Manganese Application with and Without Manures in North-western, India. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, p. 1-14, 2023.
- MIYASAKA, S.; NAKAMURA, Y.; OKAMOTO, H. Agricultura natural. 2. ed. Cuiabá: SEBRAE/MT, 1997. 73 p. (Coleção agroindústria).
- MUHAMMAD, H.M.D.; ABBAS, A.; AHMAD, R. Fascinating role of silicon nanoparticles to mitigate adverse effects of salinity in fruit trees: A mechanistic approach. *Silicon*, p. 1-8, 2022.
- NATALE, W.; ROZANE, D.E. Análise de solo, folhas e adubação de frutíferas. 1st ed. Registro:Unesp. 2018.

OWINO-GERROH, C.; GASCHO, G.J. Effect of silicon on low pH soil phosphorus sorption and on uptake and growth of maize. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 35, n. 15-16, p. 2369-2378, 2004.

PATI, S., PAL, B.; BADOLE, S.; HAZRA, G.C.; MANDAL, B. Effect of silicon fertilization on growth, yield, and nutrient uptake of rice. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n. 3, p. 284-290, 2016.

PONTIGO, S.; RIBERA, A.; GIANFREDA, L.; LA LUZ MORA, M., NIKOLIC, M.; CARTES, P. Silicon in vascular plants: uptake, transport and its influence on mineral stress under acidic conditions. **Planta**, v. 242, p. 23-37, 2015.

POONIYAN, S.; KOUR, S., YADAV, K.K.; GORA, R.; CHADHA, D.; CHOUDHARY, S. Silicon Status in Soils and Their Benefits in Crop Production. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 54, n. 13, p. 1887-1895, 2023.

RAJPUT, V.D.; MINKINA, T.; FEIZI, M.; KUMARI, A.; KHAN, M.; MANDZHIEVA, S.; CHOUDHARY, R. Effects of silicon and silicon-based nanoparticles on rhizosphere microbiome, plant stress and growth. **Biology**, v. 10, n. 8, p. 791, 2021.

RAMOS, D.T.; DA LUZ, P.B.; MACHADO, M.D.; CASSIOLATO, M.E.; PAIVA SOBRINHO, S.; NEVES, L.G. Influência da adubação silicatada na produção de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 4, p. 543-547, 2012.

REA, R.S.; ISLAM, M.R.; RAHMAN, M.M.; NATH, B.; MIX, K. Growth, nutrient accumulation, and drought tolerance in crop plants with silicon application: A review. **Sustainability**, v. 14, n. 8, p. 4525, 2022.

REIS, A.S.; GONÇALVES, F.B.; LEITE, O.C, DA SILVA, R. R.; RIBEIRO, E. A.; LIMA, S.O. Cattle manure on soil nutrient availability and recovery. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 10, n. 3, p. 250-260, 2022.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. S. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

RICHARDS, L.A. **Diagnostico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos**. 6th ed. México: Limusa, 1973.

RIZWAN, A.; ZIA-UR-REHMAN, M.; RIZWAN, M.; USMAN, M.; ANAYATULLAH, S.; ALHARBY, H. F.; ALI, S. Effects of silicon nanoparticles and conventional Si amendments on growth and nutrient accumulation by maize (*Zea mays* L.) grown in saline-sodic soil. **Environmental Research**, v. 227, p. 115740, 2023.

RIZWAN, M.; ALI, S.; ALI, B.; ADREES, M.; ARSHAD, M.; HUSSAIN, A.; UR REHMAN, M.Z.; WARIS, A.A. Zinc and iron oxide nanoparticles improved the plant growth and reduced the oxidative stress and cadmium concentration in wheat. **Chemosphere**, v. 214, p. 269–277, 2019

- SANCENÓN, V.; PUIG, S., MIRA, H.; THIELE, D. J.; PEÑARRUBIA, L. Identification of a copper transporter family in *Arabidopsis thaliana*. **Plant molecular biology**, v. 51, p. 577-587, 2003.
- SANTOS SARAH, M.M.; DE MELLO PRADO, R.; TEIXEIRA, G.C.M.; DE SOUZA JÚNIOR, J.P., MEDEIROS, R.L.S.; BARRETO, R.F. Silicon supplied via roots or leaves relieves potassium deficiency in maize plants. **Silicon**, p. 1-10, 2021.
- SANTOS, G.C.G.D.; RODELLA, A.A. Efeito da adição de fontes de matéria orgânica como amenizantes do efeito tóxico de B, Zn, Cu, Mn e Pb no cultivo de *Brassica juncea*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 793-804, 2007.
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAUJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T. J. F.. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. ed. rev. e ampl. 2018, Brasília, DF: Embrapa. E-book: il. color. E-book, no formato ePub, convertido do livro impresso
- SCHALLER, J.; FAUCHERRE, S.; JOSS, H.; OBST, M.; GOECKEDE, M.; PLANER-FRIEDRICH, B.; ELBERLING, B. Silicon increases the phosphorus availability of Arctic soils. *Scientific reports*, v. 9, n. 1, p. 449, 2019.
- SCHALLER, J.; PUPPE, D. Heat improves silicon availability in mineral soils. **Geoderma**, v. 386, p. 114909, 2021.
- SHAFIQ, M.; RANJHA, A.M.; YASEEN, M.; MEHDI, S.M.; HANNAN, A. Comparison of freundlich and Langmuir adsorption equations for boron adsorption on calcareous soils. **Journal of Agricultural Research**, v. 46, p. 141-148, 2008
- SHI, Y.; ZHANG, Y.; HAN, W.; FENG, R.; HU, Y.; GUO, J.; GONG, H. Silicon enhances water stress tolerance by improving root hydraulic conductance in *Solanum lycopersicum* L. **Frontiers in plant science**, v. 196, 2016.
- SILVA JÚNIOR, G.B.; CAVALCANTE, Í.H.L.; ALBANO, F.G.; OSAJIMA, J.A. Estado nutricional e clorofila foliar do maracujazeiro-amarelo em função de biofertilizantes, calagem e adubação com N e K. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 163-173, 2013.
- TEAM, R.C. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.2020 <https://www.r-project.org/>.
- TEIXEIRA, G.C.M.; DE MELLO PRADO, R., OLIVEIRA, K. S., D'AMICO-DAMIÃO, V., & DA SILVEIRA SOUSA JUNIOR, G. Silicon increases leaf chlorophyll content and iron nutritional efficiency and reduces iron deficiency in sorghum plants. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, p. 1311-1320, 2020.
- TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3ª ed. 2017. Brasília: Embrapa.

TIPPING, E.; SOMERVILLE, C.J.; LUSTER, J. The C: N: P: S stoichiometry of soil organic matter. **Biogeochemistry**, v. 130, p. 117-131, 2016.

TUBAÑA, B.S.;HECKMAN, J.R. Silicon in soils and plants. **Silicon and plant diseases**, p. 7-51, 2015.

VALIPOUR, M. Calibration of mass transfer-based models to predict reference crop evapotranspiration. **Applied Water Science**, v.7, p. 628-635, 2017

VALIZADEH-RAD, K.; MOTESHAREZADEH, B.; ALIKHANI, H.A.; JALALI, M. Direct and residual effects of water deficit stress, different sources of silicon and plant-growth promoting bacteria on silicon fractions in the soil. **Silicon**, v. 14, n. 7, p. 3403-3415, 2022.

WANG, L.; ASHRAF, U.; CHANG, C.; ABRAR, M.; CHENG, X. Effects of silicon and phosphatic fertilization on rice yield and soil fertility. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, p. 557-565, 2020.

WU, W.L.; KANG, Y.L.; ZENG, S.M.; WANG, Z.H.; HU, X.X.; AN, X.R.; XU, Y.C. Effects of bio-organic fertilizer and silicon-potassium-calcium amendment on soil fertility and yield of pear orchard in acid red soil. **J Nanjing Agric Univ**, v. 44, n. 2, p. 305-314, 2021.

XIAO, J.; WEN, Y.; LI, H., HAO, J.; SHEN, Q., RAN, W.; YU, G. In situ visualisation and characterisation of the capacity of highly reactive minerals to preserve soil organic matter (SOM) in colloids at submicron scale. **Chemosphere**, v. 138, p. 225-232, 2015.

YANG, Y.; LI, J.; SHI, H.; KE, Y.; YUAN, J.; TANG, Z. Alleviation of silicon on low-P stressed maize (*Zea mays* L.) seedlings under hydroponic culture conditions. **World J Agric Sci**, v. 4, p.168–172, 2008

ZAJACZKOWSKA, A.; KORZENIOWSKA, J.; SIENKIEWICZ-CHOLEWA, U. Effect of soil and foliar silicon application on the reduction of zinc toxicity in wheat. **Agriculture**, v. 10, n. 11, p. 522, 2020.

ZHAO, K.; YANG, Y.; PENG, H., ZHANG, L.; ZHOU, Y., ZHANG, J.; LUO, L. Silicon fertilizers, humic acid and their impact on physicochemical properties, availability and distribution of heavy metals in soil and soil aggregates. *Science of the total environment*, v. 822, p. 153483, 20.

