



LUÍS CLÁUDIO PESSOA OLIVEIRA

**ADUBAÇÃO SILICATADA EM HORTALIÇAS NÃO
CONVENCIONAIS**

**LAVRAS - MG
2017**

LUÍS CLÁUDIO PESSOA OLIVEIRA

ADUBAÇÃO SILICATADA EM HORTALIÇAS NÃO CONVENCIONAIS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Profª. Dra. Luciane Vilela Resende
Orientadora

Profª. Dra. Maria Ligia de Souza Silva
Coorientadora

**LAVRAS - MG
2017**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha
Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados
informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Oliveira, Luís Cláudio Pessoa.

Adução silicatada em hortaliças não convencionais / Luís
Cláudio Pessoa Oliveira. – 2017.

61 p.: il.

Orientador(a): Luciane Vilela Resende.

Coorientador(a): Maria Ligia de Souza Silva.

Dissertação (mestrado acadêmico) – Universidade Federal
de Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Silício. 2. Plantas alimentícias não convencionais. 3.
Minerais. I. Resende, Luciane Vilela. II. Silva, Maria Ligia de
Souza. III. Título.

LUÍS CLÁUDIO PESSOA OLIVEIRA

ADUBAÇÃO SILICATADA EM HORTALIÇAS NÃO CONVENCIONAIS

SILICATE FERTILIZATION IN NON-CONVENTIONAL VEGETABLES

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 19 de julho de 2017.

Dr. Francisco Vilela Resende

EMBRAPA

Dr. Élberis Pereira Botrel

UFLA

Profª. Dra. Luciane Vilela Resende
Orientadora

LAVRAS - MG
2017

Aos meus pais, Francisco das Chagas Oliveira e Auricléia Pessoa Oliveira, pelo amor, torcida e orações.

À minha filha, Ana Beatriz e minha esposa, Lúcia, por tornarem minha vida mais florida e feliz, pelo apoio, companhia e, sobretudo, amor.

Aos meus irmãos, Raul e Artur, pelo apoio, amizade e companheirismo.

Aos meus avós maternos Antônia (in memoriam) e Vicente, e paternos Jovita (in memoriam) e Clodomiro (in memoriam), por tantos ensinamentos e amor.

Aos meus tios, primos e amigos, pelo apoio e amizade.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a DEUS, pelo dom da vida, pela saúde, por tantas pessoas boas que tem colocado em meu caminho e por ter permitido a minha entrada, permanência e a conclusão do Mestrado acadêmico.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo, orações e apoio em todos os momentos.

À minha filha linda, Ana Beatriz (Bibi), por me trazer tanta felicidade, por me fazer uma pessoa melhor e me proporcionar viver um amor tão diferente e grandioso, o amor de pai.

À minha esposa, Lúcia, pelo amor, apoio, paciência, companheirismo e torcida.

Aos meus irmãos, Raul e Artur, pelo amor, amizade, torcida e carinho.

À professora Luciane Vilela Resende, por ter recebido a mim e a minha família tão bem, por estar sempre à disposição para ajudar, pela orientação responsável, amizade, carinho e paciência. Sua forma humilde e carismática de nos tratar nos encanta e nos acalma nos momentos turbulentos. Parabéns pela pessoa e profissional que é!

Ao professor Wilson Magela, pela amizade, dicas, brincadeiras, puxões de orelha e, claro, os presentes divinos (queijos). Acho que desses não encontro mais!

À professora Maria Lígia de Souza Silva e ao Dr. Anderson Trevizam, por terem me recebido de braços abertos no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, pela orientação responsável, paciência e ajuda no desenvolvimento das análises.

Ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, pela estrutura física e equipamentos disponibilizados para a realização das avaliações.

Aos funcionários do Setor de Olericultura, hoje grandes amigos, Stéfany, Josemar (Jhose), Luís (Luisinho), pelo apoio, carinho e brincadeiras. Equipe sem igual!

Aos amigos da UFLA, João, Douglas, Ana Luísa, Osvaldo, Thiago Sampaio, Luis Felipe, Ramon, Gustavo Vaz, Gustavo Peron, João Paulo e Aline, pela amizade, ajuda quando foi necessária, pelas dicas, brincadeiras, enfim, por todo apoio ao longo desses dois anos. Sem dúvida, foram cruciais nessa jornada.

A todos os colegas de departamento, sobretudo aos orientandos da professora Luciane e os do Núcleo de Estudos em Olericultura que, de forma direta ou indireta, me apoiaram no decorrer do curso e tornaram-se meus amigos.

À coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, por sempre lutar por melhorias para nosso curso.

À Marli, secretária do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, pela paciência, ajuda e esclarecimentos ao longo do curso.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Agricultura, pela estrutura e condições que me foram dadas para que fosse possível concluir o mestrado.

Ao corpo docente do DAG e dos outros departamentos pelos quais passei, por prezarem o ensino de excelência e nos tornarem profissionais mais capacitados.

A todos os funcionários da UFLA, que lutam diariamente para que a “máquina” não pare, para que nós (discentes), possamos ver a UFLA como ela é, bela e aconchegante.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de Mestrado.

Aos amigos Francisco, Arijane, Klênio, Clíce, Marcos Chaves, Edilson, Carlos Alexandre, Tiago e Clayton Azevedo, Fábio Sales e Jorge Santos, entre tantos outros amigos, pelas mensagens, ligações, apoio, torcida e carinho.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

É inquestionável a importância das hortaliças não convencionais na dieta, na cultura e na economia de populações rurais tradicionais. Entretanto, são poucos os estudos sobre essas plantas no Brasil. Tendo em vista os efeitos benéficos do silício para a saúde humana, assim como para diversas culturas exploradas comercialmente, sendo pouco explorado em hortaliças, a realização de estudos relacionados à nutrição mineral de hortaliças não convencionais com este mineral não só indicará os efeitos da prática sobre o crescimento e a composição mineral dessas plantas, como também contribuirá para o resgate e, quem sabe, a reintrodução dessas espécies na dieta dos brasileiros. Dessa forma, objetivou-se, com o presente trabalho, identificar espécies de hortaliças não convencionais responsivas à adubação silicatada, bem como verificar o efeito dessa adubação no teor do mineral e de macronutrientes, bem como no crescimento das plantas. Foram realizados dois experimentos. No primeiro foi feito um estudo exploratório com nove espécies de hortaliças não convencionais (*Maranta arundinaceaea* L., *Rumex acetosa* L., *Amaranthus spinosus* L., *Amaranthus viridis* L., *Amaranthus retroflexus* L., *Amaranthus deflexus* L., *Amaranthus hybridus* L., *Stachys byzantina* e *Sonchus oleraceus* L.) combinadas com duas doses de Si (0 e 50 mg dm⁻³), sendo avaliados o teor de silício nas plantas e as massas fresca e seca. No segundo experimento foram avaliadas quatro espécies mais responsivas à adubação silicatada e de maior interesse para uso na dieta humana, selecionadas no primeiro estudo (*Rumex acetosa*, *Amaranthus retroflexus* L., *Sonchus oleraceus* L. e *Stachys byzantina*), combinadas com cinco doses de Si (0; 25; 50; 100 e 150 mg dm⁻³). Foram avaliados a arquitetura das plantas, o índice relativo de clorofila, as massas frescas e secas, o teor de silício e os macronutrientes. Os ensaios foram desenvolvidos em casa de vegetação no Setor de Olericultura da UFLA. Utilizou-se, em ambos os experimentos, o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições em esquema fatorial. As espécies *Amaranthus retroflexus* L., *Sonchus oleraceus* L. e *Stachys byzantina* apresentaram os maiores teores de Si; a aplicação de doses superiores a 100 mg dm⁻³ promoveu os maiores teores de silício estimados para as espécies em estudo; a adubação silicatada não influencia as matérias verde e seca; a adubação silicatada aumenta os teores de fósforo, cálcio, magnésio, potássio e clorofila; as espécies *Amaranthus retroflexus* L., *Rumex acetosa* L. e *Stachys byzantina* são classificadas como não acumuladoras de silício, enquanto a espécie *Sonchus oleraceus* L. é classificada como intermediária.

Palavras-chave: Silício. Plantas alimentícias não convencionais. Minerais.

ABSTRACT

The importance of unconventional vegetables in the diet, culture and economy of traditional rural populations is unquestionable. However, there are few studies on these plants in Brazil. Considering the silicon beneficial effects on human health, as well as for several commercially exploited crops, being little explored in vegetables, the studies related to the mineral nutrition of vegetables unconventional with the mineral, will not only indicate the effects on the growth practice and mineral composition of these plants, but also contribute to the rescue and who knows, reintroduction of these species in the diet of Brazilians. The objective of this study was to identify unconventional vegetable species responsive to silicate fertilization, as well as to verify the effect of this fertilization on mineral and macronutrient content and on plant growth. Two experiments were carried out. In the first experiment an exploratory study was carried out with 9 species of unconventional vegetables (*Maranta arundinaceaea* L., *Rumex acetosa* L., *Amaranthus spinosus* L., *Amaranthus viridis* L., *Amaranthus retroflexus* L., *Amaranthus deflexus* L., *Amaranthus hybridus* L., *Stachys byzantina* and *Sonchus oleraceus* L.), combined with 2 doses of Si (0 and 50 mg dm⁻³ of Si), being evaluated the silicon content in plants, fresh and dry mass. In the second experiment were evaluated four species more responsive to silicate fertilization and of greater interest for use in the human diet, selected in the first study (*Rumex acetosa*, *Amaranthus retroflexus* L., *Sonchus oleraceus* L. and *Stachys byzantina*), combined with 5 doses of Si (0, 25, 50, 100 and 150 mg dm⁻³ Si). Plant architecture, relative chlorophyll index, fresh and dry masses, silicon content and macronutrients were evaluated. The tests were carried out in a greenhouse belonging to the UFLA Olericulture Sector. The completely randomized design (DIC) with four replications in a factorial scheme was used in both experiments. The species *Amaranthus retroflexus* L., *Sonchus oleraceus* L. and *Stachys byzantina* presented the highest levels of Si; the application of doses higher than 100 mg dm⁻³ promoted the highest silicon contents estimated for the species under study; silicate fertilization does not influence green and dry matter; silicate fertilization increases the levels of phosphorus, calcium, magnesium, potassium and chlorophyll; the species, *Amaranthus retroflexus* L., *Rumex acetosa* L., and *Stachys byzantina*, are classified as non-silicon accumulators, while the species *Sonchus oleraceus* L. is classified as an intermediate.

Keywords: Silicon. Unconventional food plants. Minerals.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	Hortalças não convencionais.....	12
2.1.1	Araruta (<i>Maranta arundinaceae</i> L.).....	13
2.1.2	Azedinha (<i>Rumex acetosa</i> L.).....	14
2.1.3	Caruru (<i>Amaranthus</i> spp.)	15
2.1.4	Peixinho (<i>Stachys byzantina</i>)	16
2.1.5	Serralha (<i>Sonchus oleraceus</i> L.)	18
2.2	Silício no solo, adubação e benefícios	19
2.3	Silício em hortalças	20
3	MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1	Metodologia geral	22
3.1.1	Condução dos experimentos	22
3.2	Delineamento experimental	24
3.3	Tratamentos	24
3.4	Características avaliadas.....	24
3.4.1	Índice SPAD (índice relativo de clorofila)	25
3.4.2	Arquitetura das plantas.....	25
3.4.3	Massa fresca e massa seca	25
3.4.4	Teor, acúmulo e eficiência de absorção de silício e teor de macronutrientes.....	26
3.5	Análise estatística	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1	Experimento 1	27
4.1.1	Teor de Si, massas fresca e seca em hortalças não convencionais.....	27
4.2	Experimento 2	30
4.2.1	Efeito do silício sobre a arquitetura das plantas.....	31
4.2.2	Teor de silício, acúmulo e eficiência de absorção do silício aplicado	32
4.2.3	Teor de macronutrientes e aspectos agrônômicos em hortalças não convencionais submetidas à adubação com silício	39
4.2.3.1	Azedinha	40
4.2.3.2	Caruru.....	41
4.2.3.3	Peixinho.....	43
4.2.3.4	Serralha.....	44
5	CONCLUSÕES.....	48
	REFERÊNCIAS.....	49
	APÊNDICE.....	60

1 INTRODUÇÃO

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, atrás apenas do oxigênio. O teor médio de Si no solo varia de 25% a 35%, porém, em solos nos quais o processo de intemperismo é muito forte, como em latossolos, ele pode ser inferior a 1% (LIANG et al., 2015; LIMA FILHO, 2010). Apesar da abundância de Si na crosta terrestre, sua disponibilidade no solo é muito baixa devido à sua baixa disponibilidade (LINDSAY, 1979). A principal fonte de Si disponível para as plantas no solo está na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4) (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Apesar de o Si não ser caracterizado como essencial para as plantas, muitos estudos revelam que a performance de plantas crescendo em ambientes com Si disponível, embora em situação de estresse, é favorecida, e elas apresentam superioridade, em comparação com as que crescem em ambientes com pouca disponibilidade desse mineral. Esse fato é atribuído, principalmente, à capacidade do Si de promover tolerância aos estresses de natureza biótica e abiótica em plantas.

Outra característica importante do Si, e que tem despertado a curiosidade de pesquisadores, diz respeito à essencialidade do mineral e dos seus benefícios a saúde humana. Ele desempenha várias funções em nosso organismo, sendo a manutenção da saúde óssea, sem dúvida, a mais relevante e de maior interesse por estudiosos do assunto, principalmente em função da grande incidência e diversidade de doenças relacionadas em mulheres na pós-menopausa e idosos. Portanto, o Si é um mineral importante tanto para os vegetais como para humanos. As hortaliças podem ser favorecidas com a adubação silicatada, assim como podem constituir uma ótima fonte de Si para humanos.

As hortaliças são plantas fundamentais na dieta humana, fornecendo vitaminas, minerais e fibras, algumas delas servindo também como fonte de carboidratos e proteínas. Hortaliças e frutas silvestres caracterizadas como não convencionais geralmente apresentam teores de minerais superiores aos de plantas domesticadas (GUIL-GUERRERO et al., 1998; KINUPP, 2007; LETERME et al., 2006; ODHAV et al., 2007).

Apesar dos efeitos benéficos do Si em diversas culturas e de sua importância para a saúde humana, pouco se sabe sobre sua influência no crescimento e na composição mineral de hortaliças, principalmente aquelas caracterizadas como não convencionais, plantas que apresentam importante contribuição na dieta, na economia e na cultura de comunidades rurais tradicionais. Diante do exposto, objetivou-se, com este estudo, identificar hortaliças não

convencionais que respondam à adubação com Si e avaliar a resposta destas espécies a níveis crescentes de adubação silicatada na composição mineral e no crescimento dessas plantas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Hortaliças não convencionais

As hortaliças não convencionais são caracterizadas como aquelas com distribuição limitada e restrita a determinadas localidades rurais tradicionais, com grande importância na cultura, na economia e na alimentação, nessas localidades. No Brasil, o cultivo dessas plantas é realizado quase que exclusivamente por agricultores familiares que têm o conhecimento das técnicas de cultivo, consumo e usos medicinais, geralmente passadas de geração em geração (BRASIL, 2010).

A maioria das hortaliças não convencionais é considerada "planta invasora", pois são comumente espontâneas em áreas cultivadas, competindo, assim, com as espécies de maior interesse econômico. Entretanto, essas espécies não convencionais normalmente apresentam grande importância ambiental, cultural, socioeconômica e nutricional. Muitas dessas espécies são alimentícias, mesmo que atualmente sejam subutilizadas pela maior parte da população (KINUPP, 2007).

É reconhecida a importância de hortaliças como componentes na alimentação humana, pois, além da variedade de cores, sabores e textura que fornecem às refeições diárias, são fontes de nutrientes importantes, carboidratos e fibras (FAVELL, 1998; PRADHAN; MANIVANNAN; TAMANG, 2015).

Devido às suas qualidades nutricionais, as hortaliças não convencionais podem ajudar a superar a deficiência nutricional em dietas locais, sendo, inclusive, recomendadas como fitoterápicas. Algumas espécies de hortaliças não convencionais apresentam altos níveis de ácido ascórbico e de minerais, sendo recomendadas como ingredientes de dietas alimentares (OLIVEIRA et al., 2013; SILVA, 2015).

A grande extensão territorial do Brasil permite ampla diversidade climática e de solos, e, conseqüentemente, de recursos genéticos de hortaliças silvestres e variedades locais. Esses materiais (germoplasma) devem ser preservados pela coleta e resgate, evitando o processo de extinção, a exemplo de araruta, azedinha, peixinho e serralha, plantas quase desconhecidas, atualmente, pela população. Estudos a respeito das propriedades alimentícias e medicinais, bem como das demandas fitotécnicas dessas plantas, devem ser incentivados, a fim de que se mantenham esses materiais disponíveis para as futuras gerações (BRASIL, 2010).

2.1.1 Araruta (*Maranta arundinaceae* L.)

A araruta, pertencente à família Marantaceae, é uma planta herbácea, perene e originária de regiões tropicais da América do Sul, incluindo o Brasil Central (NEVES; COELHO; ALMEIDA, 2005). A planta desenvolve rizomas com alto teor de amido (17,2%-18,9%), sendo cultivada nas ilhas do Caribe, no sudeste da Ásia, na América do Sul, nas Filipinas e na Índia (ERDMAN; ERDMAN, 1984; ODEKU, 2013). A planta apresenta ampla faixa de distribuição no Brasil, podendo ser encontrada desde o nordeste ao sul do país (BRASIL, 2010).

No Brasil, as cultivares de araruta que apresentam maior importância são, pela ordem, a comum, a crioula e a banana. A de maior relevância é a cultivar comum, que tem fécula de melhor qualidade, tem plantas de porte baixo, em média 60 cm de altura, apresentando rizomas que podem atingir até 30 cm de comprimento, de cor clara, com formato cônico-alongado ou em forma de fuso. A espécie apresenta florescimento abundante nas condições tropicais, sem, contudo, haver formação de frutos e sementes (LEONEL; CEREDA, 2002; MONTEIRO; PERESSIN; CEREDA, 2002).

O amido de araruta apresenta baixa transição térmica, que é um fator relevante no processo industrial. O teor de amilose e as propriedades de inchamento do amido dessa espécie são mais elevados que o amido da mandioca, da batata, da banana e da achira, podendo ser utilizado na indústria alimentar interessada em amido que pode formar gel por arrefecimento ou em filme comestível ou biodegradável (MADINENI et al., 2012; VALENCIA et al., 2015).

O amido da araruta apresenta, em média, 11,9% de água, 0,58% de cinza, 25,9% de amilose, 0,14% de proteína, 0,84% de gordura, 8,7% de fibra dietética insolúvel e 5% de fibra dietética solúvel. Pessoas relatam que o consumo de araruta alivia dores de estômago, razão pela qual lojas especializadas na venda de produtos naturais têm investido em produtos derivados da araruta (KUMALASARI et al., 2012). Alguns estudos sugerem que a araruta é uma fonte potencial de prebióticos, com efeitos imunoestimuladores comprovados, tanto *in vivo* como *in vitro* (HARMAYANI; KUMALASARI; MARSONO, 2011; KUMALASARI et al., 2012).

O amido da araruta é utilizado na preparação de biscoitos, bolos, pudins e geleias. De acordo com Raja e Sindhu (2000), o amido é utilizado também como base para pós faciais e na preparação de colas especiais. Outras propriedades, como a atividade de suspensão do amido de araruta, já foram relatadas, sendo comparáveis às de carboximetilcelulose de sódio, tendo os autores concluído que o amido pode ser aplicado como agente de suspensão comercial em formulações farmacêuticas (PIRIYAPRASARTH et al., 2010).

2.1.2 Azedinha (*Rumex acetosa* L.)

A planta denominada azedinha é herbácea, perene, originária de áreas de clima temperado, entretanto, não se sabe ao certo sua origem. Esta espécie é encontrada em seu estado silvestre em regiões de clima ameno da Europa e da Ásia. No Brasil é cultivada em diferentes regiões, sendo comum nos estados do Rio Grande do Sul e de Minas Gerais (BRASIL, 2010).

A azedinha é caracterizada como uma espécie olerícola, consumida *in natura* em saladas. As plantas são consideradas rústicas, sendo, em algumas regiões, consideradas plantas daninhas. Em Sete Lagoas, MG, a espécie é cultivada, geralmente, em hortas familiares, sendo denominadas azedinha dos tipos I e II. Esses dois tipos de azedinha apresentam diferenças morfológicas e nutricionais. A azedinha do tipo I apresenta folhas maiores, de cor verde-amarelada e teor de macronutrientes significativamente maior do que os encontrados na do tipo II, que apresenta folhas menores, de cor verde intenso. Em função das diferenças entre esses dois tipos de azedinha, acredita-se que sejam duas cultivares distintas (SILVA et al., 2013).

As plantas do gênero *Rumex* são utilizadas como fitoterápicos desde a antiguidade, o que se deve à sua eficácia terapêutica contra diversas patologias humanas (BABULKA, 2004). Tanto as folhas como as raízes de algumas espécies pertencentes ao gênero são utilizadas como fitoterápicos para diferentes doenças (KULP et al., 2006). Wegiera et al. (2011) relatam que espécies do gênero *Rumex* apresentam ação antibacteriana e antifúngica.

De acordo com Porteka et al. (2016), extratos etanólicos derivados das folhas de azedinha apresentam alta atividade antioxidante, não têm efeito citotóxico, porém, demonstraram efeito protetor significativo nas células tumorais Hfl-1 e HeLa. Mas, de acordo com os autores, esses achados podem levar à aplicação terapêutica do extrato para proteger as células não cancerígenas contra os efeitos secundários induzidos pela quimioterapia. Lee et al. (2005) isolaram quatro antraquinonas das folhas de azedinha, sendo que essas substâncias possuem atividade antimutagênica. A azedinha tem alto teor de β -caroteno (VIANA et al., 2015), pigmento associado à proteção contra doenças cardiovasculares e o câncer (CARVALHO et al., 2006).

Em um estudo realizado por Zhou, Wang e Yang (2012), foi verificado que a azedinha tem potencial para a remoção de nitrogênio de águas poluídas. A azedinha afeta os principais parâmetros físico-químicos da água, estimula o crescimento de bactérias amonizantes, nitrificantes e nitrosificantes e absorve diretamente uma parte substancial do nitrogênio dissolvido. Resultados parecidos foram obtidos por Guifang (2010).

2.1.3 Caruru (*Amaranthus* spp.)

O amaranto ou caruru, como popularmente é conhecido, pertence ao gênero *Amaranthus*, que tem cerca de 70-75 espécies, das quais cerca de 40 são nativas da América, sendo as outras pertencentes a outros continentes (BAYÓN, 2015; COSTEA; DEMASON, 2001). Plantas do gênero *Amaranthus* apresentam folhas alternadas, flores pequenas, dispostas em inflorescências complexas, que podem ser encontradas nas axilas das folhas ou agregadas em uma estrutura alongada, terminal, denominada panícula (BAYÓN, 2015; PRATT; CLARK, 2001).

O caruru é uma cultura autógama, porém, ocorre uma pequena taxa de polinização cruzada, favorecendo a grande variação nos genótipos devido aos cruzamentos e às frequentes hibridações interespecíficas e intervarietais (MOSYAKIN; ROBERTSON, 1996; RAY; ROY, 2009). Sanchez-DelPino, Pratt e Flores-Olvera (2017) identificaram uma nova espécie endêmica de amaranto (*Amaranthus neei*), no Vale do México (sul de Hidalgo, Cidade do México). Além disso, os amarantos apresentam alta diversidade com relação à sua adaptabilidade a diferentes situações ecogeográficas (LEE et al., 2008).

Várias espécies de *Amaranthus* são consideradas plantas alimentares versáteis, tendo algumas delas potencial para a produção de grãos, e outras, para folhas comestíveis (ACHIGAN-DACO; SOGBOHOSSOU; MAUNDU, 2014). No continente africano, os amarantos estão entre os vegetais de folhas mais populares (MAUNDU; ACHIGAN-DAKO; MORIMOTO, 2009). Embora várias espécies de *Amaranthus* sejam frequentemente consideradas ervas daninhas, pessoas de todo o mundo as consideram vegetais folhosos, cereais e até plantas ornamentais (TRUCCO; TRANEL, 2011).

Em uma triagem fitoquímica, Kumar et al. (2012) identificaram, no extrato de *Amaranthus viridis* L., a presença de flavonoides, saponinas, glicosídeos, terpenoides, alcaloides, hidratos de carbono, compostos de amino e fenólicos, e proteínas. Esses componentes também foram identificados na espécie *Amaranthus lividus*, por Nehal, Mann e Gupta (2016).

De acordo com Silva (2015), as espécies *Amaranthus hybridus* e *Amaranthus viridis* apresentam altos teores de proteínas e minerais nas folhas. Krishnamurthy et al. (2011) concluíram que ratos submetidos ao tratamento com extrato de *Amaranthus viridis* L. tiveram o peso corporal aumentado, apresentaram menor índice glicêmico, colesterol e triglicerídeos,

tendo o colesterol de lipoproteína de alta densidade (HDL) aumentado significativamente nesses animais.

Em um estudo mais recente, Salvamani et al. (2016), em função das supostas propriedades medicinais do *Amaranthus viridis* L., avaliaram diferentes partes da espécie quanto ao potencial anti-HMG-CoA redutase (enzima da via do mevalonato, a via metabólica que produz o colesterol e outros isoprenoides), antioxidante e anti-inflamatório. Os resultados obtidos sugerem que o extrato das folhas da referida espécie é um potente antioxidante e anti-inflamatório e pode modular o metabolismo do colesterol pela inibição da HMG-CoA redutase. Al-Mamun et al. (2016), em um estudo com duas espécies de amarantos, sugerem que ambas apresentam forte atividade antioxidante, lectina e antiproliferativas de células cancerígenas.

O caruru, por não conter glúten, é recomendado pela Organização Mundial de Gastroenterologia para pessoas celíacas (pessoas com intolerância ao glúten). Além disso, o pseudocereal pode constituir um alimento básico para bebês como alternativa ao arroz (*Oryza sativa*), devido à sua baixa alergenicidade (WORLD GASTROENTEROLOGY ORGANISATION - WGO, 2012). De acordo com Mota et al. (2016), o amaranto é mais rico em aminoácidos do que o arroz. Ele apresenta, em média, 15% de teor proteico nos grãos, com digestibilidade em torno de 82% (BRESSANI et al., 1987).

De acordo Samartini (2015), o teor de proteína presente nas folhas das espécies *Amaranthus spinosus*, *Amaranthus viridis*, *Amaranthus deflexus*, *Amaranthus retroflexus* e *Amaranthus hybridus* é bem superior ao encontrado em hortaliças e frutas convencionais consumidas pelos brasileiros, sendo que a espécie *Amaranthus spinosus* apresenta alta atividade antioxidante, alto teor de vitamina C e compostos fenólicos. Segundo Akubugwo et al. (2007), as folhas da espécie *Amaranthus hybridus* L. contêm uma quantidade apreciável de nutrientes, vitaminas e aminoácidos.

2.1.4 Peixinho (*Stachys byzantina*)

O peixinho pertence ao gênero *Stachys* e à família Lamiaceae. A espécie é conhecida, em algumas regiões, como orelha-de-cordeiro e é utilizada como cobertura de solo, sendo suas flores valorizadas decorativamente (MURATA et al., 2008). O gênero *Stachys* L. (Lamiaceae) apresenta cerca de 300 espécies, distribuídas em regiões de clima temperado e tropical em todo o mundo, com exceção da Austrália e da Nova Zelândia (SALMAKI et al., 2012; TUNDIS; PERUZZI; MENICHINI, 2014).

No Brasil, o peixinho é cultivado em regiões de clima ameno, principalmente nas regiões sul, sudeste e centro-oeste. As folhas da espécie são consumidas fritas, empanadas ou à milanesa. Não se sabe ao certo sua origem, mas é encontrada em seu estado silvestre em regiões de clima ameno da Europa e da Ásia. É planta herbácea perene, que atinge cerca de 20 cm de altura e forma touceiras com dezenas de propágulos (BRASIL, 2010).

As plantas pertencentes ao gênero *Stachys* são utilizadas na medicina tradicional como anti-inflamatório, antiespasmódico, para dissolver muco, aliviar tosse, sintomas de asma, diminuir dores de ouvido, inibir o desenvolvimento de tumores genitais e úlceras cancerosas. Além disso, essas plantas são utilizadas no tratamento de feridas, dores abdominais, tonturas, febre e distúrbios menstruais (ASNAASHARI et al., 2010; NAGHIBI et al., 2010; PIOZZI et al., 1980; SARIKURKCU et al., 2016).

Mirza e Baher (2003) caracterizaram 34 compostos no óleo essencial obtido a partir das folhas de peixinho. Entre os componentes principais foram encontrados α -thujone (25,9%), α -humuleno (24,9%), β -cariofileno (12,6%) e viridiflorol (10,5%), substâncias com propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias.

De acordo com Sarikurkcu et al. (2016), a espécie *S. Iberica* subsp. *Iberica* var. *Densipilosa*, assim como *S. Byzantina* (peixinho), apresenta teores relevantes de fenóis, flavonoides e saponinas, sendo que o peixinho apresenta maior atividade antioxidante, o que foi também relatado por Silva (2015). Os autores enfatizam que os compostos encontrados nas espécies *S. Byzantina* e *S. Iberica* subsp. *Iberica* var. *Densipilosa* fornecem evidências para confirmar seus efeitos positivos na medicina tradicional no controle de doenças, como mal-de-alzheimer, doenças de pele e diabetes, entre outras.

Segundo Saeedi et al. (2008), extratos obtidos de cinco espécies do gênero *Stachys*, inclusive do peixinho, apresentam atividade antibacteriana, principalmente de bactérias gram-positivas, porém, essa atividade depende da concentração do extrato utilizado. Os autores não constataram atividade antifúngica dos extratos testados.

2.1.5 Serralha (*Sonchus oleraceus* L.)

A espécie *Sonchus oleraceus* L. pertence à mesma família da alface, Asteráceae. Dependendo da região em que se encontra, a espécie pode ser chamada de serralha, amargosa, serralha-lisa, serraia, ciúmo e chicória-brava. É uma espécie cosmopolita, muito comum no Brasil. É nativa da Europa e da África do Norte, e como “planta daninha” em muitos cultivos no Brasil (VIEIRA; BARRETO, 2006).

No sul de Minas Gerais, a serralha é uma hortaliça importante na dieta de populações rurais, sendo também fonte de renda para os agricultores, que as vendem a preço acessível para a comunidade (VILELA et al., 2009). A serralha é consumida também em países do Mediterrâneo (GUARRERA; SAVO, 2013; GUIL-GUERRERO et al., 1998) e na Austrália (LIU et al., 2002).

De acordo com Guil-Guerrero et al. (1998), algumas espécies pertencentes ao gênero *Sonchus* são plantas com grande potencial alimentício, principalmente por apresentarem bom desempenho nutricional. Em algumas regiões do Brasil a serralha é utilizada como medicamento natural, sendo comum o uso para tratar dores de estômago, hepatite, infecções, dores de cabeça, dores em geral e reumatismo, entre outros fins (AGRA et al., 2007). Além disso, já foram relatadas propriedades ansiolíticas e antinociceptivas da serralha (EL; KARAKAYA, 2004; VILELA et al., 2009).

Resultados de estudos sugerem que a serralha apresenta considerável ação anti-inflamatória, aliviando pataedema, reduzindo peritonite e resposta febril induzida pela lipopolissacarídeo, bem como diminuindo o crescimento do tecido granulomatoso (VILELA et al., 2009). De acordo com Li et al. (2017), as substâncias responsáveis pela ação anti-inflamatória da serralha são, respectivamente, ácido ferúlico, villosol, β -sitosterol e ácido ursólico.

Pesquisas realizadas com a serralha revelam que a espécie apresenta compostos químicos, principalmente polifenóis, com forte atividade antioxidante (MCDOWELL et al., 2011; SHABAN et al., 2016; XIA et al., 2011; YIN et al., 2008). De acordo com Mawalagedera et al. (2016), as folhas da serralha são especialmente ricas em compostos fenólicos e apresentam potententes antioxidantes extraíveis. Os autores afirmam que os compostos fenólicos presentes no extrato de folhas da serralha foram absorvidos por células humanas cultivadas *in vitro* e exerceram atividade antioxidante, mesmo depois do cozimento.

Recentemente, Shaban et al. (2016) descobriram que o extrato de folhas da serralha constitui um supressor potente da aromatase. A inibição da aromatase e, conseqüentemente, da

síntese de estrógenos, constitui uma estratégia com base racional sólida no tratamento de câncer de mama hormônio-dependente (SAAD et al., 2002). Huyan et al. (2016) também relatam a ação de compostos presentes em extratos obtidos a partir das folhas da serralha, como supressores do desenvolvimento de células tumorais.

De acordo com Gooma et al. (2014), o extrato aquoso de serralha apresenta efeito alelopático em algumas ervas daninhas. Análises fitoquímicas dos extratos revelaram que fenóis e alcaloides foram os compostos mais abundantes na matéria seca da serralha. Segundo os autores, os resultados obtidos com o estudo mostram a possibilidade de utilizar a espécie para o desenvolvimento de bioherbicidas.

2.2 Silício no solo, adubação e benefícios

As principais fontes de ácido monossilícico presentes na solução do solo são provenientes da decomposição de resíduos vegetais, dissociação do ácido silícico polimérico, liberação de Si dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, dissolução de minerais cristalinos e não cristalinos, adição de fertilizantes silicatados e a água de irrigação (SAVANT; DATNOFF; SNYDER, 1997).

As perdas de Si nos solos (dessilificação) são ocasionadas, principalmente, pela lixiviação, a precipitação em solução formando minerais, a polimerização do ácido silícico e a adsorção em óxidos e hidróxidos de Fe e Al. Geralmente, por terem sofrido maiores processos de intemperismo, solos tropicais e subtropicais apresentam baixos teores de Si disponível para as plantas e poderiam se beneficiar com a adubação utilizando este elemento (KORNDÖRFER; LEPSCH, 2001; PEREIRA; VITTI; KORNDORFER, 2003). Os solos compactados apresentam menor disponibilidade de Si para as plantas em função da formação de ácidos polissilícicos, diminuindo o teor de ácido monossilícico, que é a forma pela qual a planta absorve o Si (MATYCHENKOV; PINSKIY; BOCHARNIKOVA, 1995).

Quanto à adubação silicatada, os silicatos são as principais fontes de Si para a agricultura. Uma boa fonte de Si para fins agrícolas deve apresentar alta concentração de Si solúvel, boas propriedades físicas, facilidade para aplicação mecanizada, pronta disponibilidade para as plantas, boa relação e quantidades de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), baixa concentração de metais pesados e baixo custo (KORNDÖRFER; OLIVEIRA, 2010). Os silicatos têm efeito corretivo (ALCARDE, 1992). A aplicação de silicatos no solo torna o pH do meio mais básico, diminui os teores de Al^{+3} e aumenta a saturação por bases (KORNDÖRFER; OLIVEIRA, 2010).

Existe grande variedade de produtos utilizados como fonte de Si, encontrados tanto na forma sólida (granulado, pó) quanto na forma líquida. Escórias de siderúrgica e subprodutos da produção de fósforo elementar, de wollastonita, de silicato de cálcio, de silicato de sódio, de cimento, de termofosfato, de silicato de magnésio e de silicato de potássio são as principais fontes de silício para as plantas (KORNDÖRFER; OLIVEIRA, 2010).

Segundo Sommer et al. (2006), os efeitos benéficos do Si no solo incluem a conversão de elementos tóxicos de uma fração solúvel para uma fração insolúvel, diminuindo a disponibilidade desses elementos para as plantas. Isso pode ocorrer por processos de precipitação, humidificação e, ainda, reações de redução e adsorção. Com o aumento do pH do solo, ocasionado pelos ânions silicatados, ocorre redução da atividade dos elementos tóxicos, precipitando-os em compostos insolúveis, levando à polimerização de compostos silicatados ligados aos elementos tóxicos.

Os efeitos benéficos do Si já foram observados em uma grande variedade de espécies vegetais. O Si desempenha papel importante no aumento da resistência a estresses de natureza biótica e abiótica (MA, 2004; MA; TAKAHASHI, 2004; MA; YAMAJI, 2006). Em condições de estresses abióticos, como em solos salinos e com pouca disponibilidade hídrica, o Si atua como um promovedor de resistência, atuando na estabilidade e na integridade da membrana celular (ZUCCARINI, 2008).

A tolerância a pragas e doenças pelas plantas, mediada pelo Si, é atribuída à deposição de Si na epiderme foliar, formando uma barreira física (CARRÉ-MISSIO et al., 2012; KIM et al., 2002; POZZA et al., 2015), e por promover modificações nas propriedades fisiológicas e bioquímicas das plantas, como a produção de fitoalexinas e substâncias precursoras da lignina e suberina, entre outras (RODRIGUES et al., 2004).

2.3 Silício em hortaliças

Apesar da importância do Si como promotor de tolerância a estresses de natureza biótica e abiótica e no aumento da produtividade, entre outros fatores importantes, os estudos praticamente se restringem às gramíneas. No entanto, nos últimos anos, os efeitos da adubação silicatada em hortaliças têm despertado a curiosidade dos pesquisadores. Em um estudo com alface cultivada em sistema hidropônico, Galati et al. (2015) verificaram que a aplicação de Si na solução nutritiva proporciona maior firmeza das folhas das alfaces minimamente processadas, deixando-as mais túrgidas e aumentando o tempo de prateleira.

De acordo com Silva et al. (2013), a aplicação de Si, tanto via solo como foliar, na cultura do morangueiro, promove maior produção de frutos e aumenta os valores de acidez titulável e a concentração de antocianinas dos frutos. Figueiredo et al. (2010) concluíram que a aplicação de silicato de potássio em morangueiro via fertirrigação aumenta os teores de ácido cítrico e o pH, bem como os teores totais de açúcares nos frutos. O uso de silicato de sódio promove aumento de matéria fresca e seca, do teor de clorofila e da espessura dos tecidos do limbo foliar, além da deposição de cera epicuticular, e promove a formação de depósitos de Si em células de propágulos micropropagados de morangueiro (BRAGA et al., 2009).

Alguns estudos com Si na cultura do tomateiro têm sido desenvolvidos com o objetivo de promover a tolerância da cultura às suas principais pragas e doenças. Santos et al. (2015) verificaram que a aplicação de Si não altera a morfologia de larvas da traça-do-tomateiro (*Tuta absoluta*), porém, a adubação foliar com Si provocou alterações no intestino médio dos insetos, indicando um possível efeito tóxico do Si para estas larvas. Anjos et al. (2014) concluíram que a aplicação de silicato de potássio em tomateiro pode inibir o desenvolvimento da mancha bacteriana (*Xanthomonas* spp.) porque a aplicação do silicato de potássio inibiu o crescimento bacteriano *in vitro*, reduzindo o índice da doença.

A germinação de sementes de pepino (*Cucumis sativus* L.), de acordo com Qingfang e Chengcang (2002), é beneficiada quando há Si disponível no solo. Segundo os autores, o Si aumenta a atividade da protease e lipase, aumenta a respiração das sementes durante a germinação e o vigor é aumentado. A disponibilidade de Si em níveis adequados no solo pode aumentar a germinação de sementes de pepino.

Em batata (*Solanum tuberosum*), a aplicação de Si reduz a severidade da requeima (*Phytophthora infestans*) e a incidência de canela-preta (*Pectobacterium*), assim como promove o aumento da produtividade e o teor de matéria seca dos tubérculos. A aplicação de Si via foliar aumenta a produtividade de tubérculos, independentemente de seus efeitos sobre a incidência de doenças (SORATTO et al., 2012).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Metodologia geral

O estudo foi realizado no decorrer dos anos agrícolas de 2015 e 2016, em casa de vegetação no Setor de Olericultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizada no município de Lavras, Minas Gerais, (21°14' S, 45°00' W e altitude de 918 m). Foram realizados dois experimentos. No primeiro foi realizado um estudo exploratório com nove espécies de hortaliças não convencionais, sendo elas araruta (*Maranta arundinaceaea* L.), azedinha (*Rumex acetosa* L.), cinco espécies de caruru (*Amaranthus spinosus* L., *Amaranthus viridis* L., *Amaranthus retroflexus* L., *Amaranthus deflexus* L. e *Amaranthus hybridus* L.), peixinho (*Stachys byzantina*) e serralha (*Sonchus oleraceus* L.), no intuito de verificar se há resposta dessas plantas à adubação silicatada. Foram selecionadas quatro espécies de hortaliças não convencionais (*R. acetosa*, *A. retroflexus*, *S. oleraceus* e *S. byzantina*) que apresentaram melhor resposta à adubação com Si. No segundo experimento, as quatro espécies selecionadas para a etapa seguinte foram submetidas a um novo ensaio, para avaliar os seus comportamentos frente a cinco níveis de adubação silicatada.

3.1.1 Condução dos experimentos

As mudas das espécies caruru-de-mancha, caruru-gigante, caruru-de-espinho, caruru-rasteiro, caruru-roxo e serralha foram produzidas no Setor de Olericultura com sementes provenientes da coleção de germoplasma de hortaliças não convencionais da UFLA. Para a produção de mudas foram utilizadas bandejas plásticas de 200 células e substrato comercial à base de casca de pinus. Foram realizadas três adubações foliares nas mudas com o fertilizante foliar Vitan, fonte de macro e micronutrientes, na dosagem de 1 ml L⁻¹ de água. As mudas foram transplantadas para os vasos quando atingiram 8 cm de comprimento. As espécies azedinha, peixinho e araruta são comumente propagadas vegetativamente. Dessa forma, os propágulos foram transplantados diretamente nos vasos contendo substrato. Os propágulos de azedinha e peixinho consistem de um rebento, enquanto o da araruta é caracterizado como um rizoma. Para o estudo, foram utilizados rebentos e rizomas vigorosos e saudáveis.

Foram utilizados vasos plásticos com capacidade para 3 dm³ de solo, nos quais foi acondicionada uma única planta. O substrato utilizado consistia de um solo ainda não cultivado coletado na camada de 0 a 20 cm, no Setor de Olericultura da UFLA, classificado como

Latossolo Vermelho distroférico (SANTOS et al., 2013). Para a análise química do solo (Tabela 1) amostras foram coletadas no local e na profundidade de retirada do solo e enviadas ao laboratório.

Tabela 1 - Análise química do solo utilizado nos experimentos*.

Característica	Resultados
pH em água	5,4
K (mg/dm ⁻³)	70
P (mg/dm ⁻³)	2,91
Ca (cmol _c /dm ⁻³)	2,12
Mg (cmol _c /dm ⁻³)	0,74
Al (cmol _c /dm ⁻³)	0,1
H + Al (cmol _c /dm ⁻³)	3,35
SB (cmol _c /dm ⁻³)	3,04
t (cmol _c /dm ⁻³)	3,14
T (cmol _c /dm ⁻³)	6,39
V (%)	47,67
m (%)	3,18
M.O (dag/kg)	1,64
Classe textural	Argilo-arenoso

*Análises realizadas no Laboratório de Análise de Solos/DCS/UFLA.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Nos dois experimentos a correção do solo foi realizada por meio da aplicação de 2,4 g de calcário dolomítico por vaso, para elevar a saturação por bases a 70%. O solo foi incubado por 15 dias, com umidade a 60% da capacidade de retenção de água. Não há recomendação de adubação para as espécies utilizadas no estudo. Dessa forma, optou-se por realizar a adubação das espécies de acordo com recomendação proposta por Malavolta (1981) para cultivo de plantas em vaso. Todas as plantas receberam adubação com 900 mg de nitrogênio, 450 mg de potássio e 600 mg de fósforo por vaso. O nitrogênio e o potássio foram aplicados de forma parcelada (três vezes), sendo a primeira adubação realizada aos 5 dias após o transplante das mudas, e as demais com intervalos de 10 dias entre adubações. O fósforo foi aplicado em dose única quando as plantas estavam estabelecidas nos vasos. Utilizaram-se como fonte de nitrogênio, potássio e fósforo os fertilizantes ureia, cloreto de potássio e fosfato monoamônico (MAP), respectivamente.

Semanalmente foi realizada a capina manual nos vasos, para evitar competição com plantas daninhas. Em função da sanidade das plantas durante todo o tempo do período experimental, não foi necessária qualquer intervenção para o controle de pragas e doenças. A

irrigação foi feita por gotejamento, com aplicação média de 250 ml de água/planta/dia, parcelados entre o turno da manhã e tarde.

3.2 Delineamento experimental

Experimento 1: os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial 9x2 (9 espécies e 2 doses de Si), totalizando 18 tratamentos, com quatro repetições e uma planta por parcela experimental.

Experimento 2: seguiu um esquema fatorial 4x5 (4 espécies e 5 doses de Si), totalizando 20 tratamentos, com quatro repetições e uma planta por parcela experimental. Os ensaios foram conduzidos em casa de vegetação e, pressupondo condições experimentais homogêneas, foi empregado, nos dois experimentos, o delineamento inteiramente casualizado (DIC).

3.3 Tratamentos

Experimento 1: foram avaliadas nove espécies (araruta, azedinha, caruru-de-mancha, caruru-gigante, caruru-de-espinho, caruru-rasteiro, caruru-roxo, serralha e peixinho) combinadas com 2 doses de Si (0 e 50 mg dm⁻³ de Si).

Experimento 2: foram avaliadas quatro espécies selecionadas como as mais responsivas ao Si, a partir dos resultados obtidos no primeiro experimento (azedinha, caruru-gigante, serralha e peixinho), combinadas com cinco doses de Si (0; 25; 50; 100 e 150 mg dm⁻³). Nos dois experimentos utilizou-se o produto comercial AgriSil como fonte de Si, na concentração de 98% de SiO₂ e 6,5% de Si solúvel. As doses de Si foram aplicadas de uma única vez, diretamente no substrato, mediante incorporação superficial, sete dias antes do transplante das mudas, nos dois experimentos.

3.4 Características avaliadas

Com o propósito de avaliar o efeito da adubação silicatada em hortaliças não convencionais, bem como a performance dessa categoria de plantas frente à nutrição com esse mineral, foram avaliadas as características descritas abaixo.

3.4.1 Índice SPAD (índice relativo de clorofila)

A determinação do índice relativo de clorofila foi realizada apenas no segundo experimento, com auxílio de um clorofilômetro modelo SPAD-502. O método é caracterizado como não destrutivo, sendo realizado diretamente no campo. Esse equipamento mede o teor de clorofila por meio da transmissão de luz pela folha nos comprimentos de luz vermelha e radiação infravermelha. As medidas foram feitas aos 35 dias após o transplante (DAP), nas folhas completamente desenvolvidas do terço superior das plantas. A análise foi realizada próximo à colheita, em função do maior tempo de acúmulo do mineral nas plantas, quando seria possível identificar um possível efeito do Si no parâmetro.

3.4.2 Arquitetura das plantas

A avaliação da arquitetura das plantas foi realizada no segundo experimento, mediante acompanhamento visual diário e por meio de fotografias semanais, a partir da terceira semana após o transplante das mudas até a quinta semana, com o auxílio de uma câmera digital. Foram observados os ângulos das folhas em relação ao caule das plantas e se ocorriam plantas mais eretas em função da adubação silicatada.

3.4.3 Massa fresca e massa seca

Essas características foram avaliadas nos dois experimentos. As plantas de propagação sexuada foram colhidas quando atingiram o estágio reprodutivo (florescimento), período de maior demanda e acúmulo de minerais, enquanto as plantas de propagação assexuada foram colhidas quando se deu o início da senescência das primeiras folhas. Logo após a colheita, a parte aérea das plantas (folhas e ramos) foi pesada para aferimento da massa fresca. Em sequência, todas as plantas foram lavadas individualmente em água corrente e enxaguadas com água destilada e colocadas individualmente em sacos de papel devidamente identificados. Todos os materiais foram transferidos para estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 65 °C, onde permaneceram até que as plantas atingissem peso constante. Após a secagem foi determinada a massa seca de cada planta.

3.4.4 Teor, acúmulo e eficiência de absorção de silício e teor de macronutrientes

Para a determinação da concentração de Si nas plantas do primeiro e do segundo experimento e de macronutrientes apenas do segundo, a parte aérea das plantas desidratadas foi moída individualmente em moinho tipo Willey. As análises foram realizadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da UFLA. Os teores de Si das plantas foram determinados por meio da técnica de colorimetria, metodologia descrita por Korndörfer, Pereira e Nolla (2004). O acúmulo de Si foi obtido pela multiplicação da massa seca pelo teor de Si em cada planta. A eficiência de absorção do Si aplicado foi determinada pela subtração da média de acúmulo de Si na planta testemunha do acúmulo de Si em uma dose “x”. Na sequência divide-se o resultado obtido da subtração pela dose total “x” aplicada. Por meio da metodologia descrita por Silva (2009) foram determinados o teor de fósforo por colorimetria, o de potássio por fotometria de chama e o de cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica.

3.5 Análise estatística

Experimento 1: os dados foram submetidos à análise de variância e as variáveis que revelaram significância pelo teste F ($p \leq 0,05$) tiveram as médias agrupadas pelo teste de Scott Knott, com 5% de probabilidade.

Experimento 2: as variáveis que revelaram significância pelo teste F ($p \leq 0,05$) tiveram as médias comparadas pelo teste de Tukey, assim como foram ajustadas equações de regressão para teor de Si, acúmulo de Si e eficiência de absorção do Si aplicado. Pela derivada das equações estimaram-se as doses que proporcionaram maior teor e acúmulo de Si, bem como a maior eficiência de absorção do Si aplicado, com seus respectivos resultados. Adicionalmente, visando identificar as relações existentes entre o Si e as demais variáveis, foi realizada a análise fatorial exploratória. Os testes estatísticos foram realizados por meio do desenvolvimento de scripts no software R (R CORE TEAM, 2016) para uso público, por meio do pacote MVar.pt, versão 1.9,6 (OSSANI; CIRILO, 2017).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento 1

Os resultados obtidos no experimento 1 (estudo exploratório) permitiram identificar e selecionar espécies que responderam à adubação silicatada, assim como foi possível identificar espécies indiferentes à adubação com Si para as características avaliadas.

4.1.1 Teor de Si, massas fresca e seca em hortaliças não convencionais

De acordo com os resultados da análise de variância (APÊNDICE A), verifica-se que houve interação estatisticamente significativa ($p \leq 0,05$) entre as espécies de hortaliças não convencionais estudadas e as doses de Si para o teor de Si nas plantas, evidenciando a ação conjunta. Para as variáveis matéria fresca e matéria seca, não houve efeito significativo para o fator doses de Si isoladamente, porém, houve efeito significativo da interação, espécies x doses de Si.

No desdobramento da interação de espécies dentro das doses de Si e doses de Si dentro das espécies (Tabela 3), houve a formação de grupos de acordo com as médias obtidas para teor de Si, assim como dos efeitos das doses de Si sobre o teor do mineral em cada espécie. Na dose 0 mg dm⁻³, as espécies foram agrupadas em quatro grupos distintos. A araruta apresentou o maior teor de Si, constituindo o primeiro grupo; em sequência, o caruru-de-mancha e a azedinha, segundo grupo; caruru-gigante, caruru-de-espinho, peixinho e serralha, terceiro grupo e, com os menores teores de Si, as espécies caruru-roxo e caruru-rasteiro formaram o quarto grupo. Na dose de 50 mg dm⁻³ de Si, as espécies foram agrupadas em três grupos. A araruta apresentou maior teor de Si em resposta à adubação silicatada, sendo o primeiro grupo; peixinho, serralha, caruru-de-mancha, caruru-gigante, caruru-de-espinho e azedinha, segundo grupo, e caruru-roxo e caruru-rasteiro, terceiro grupo.

Com relação ao desdobramento de doses de Si dentro das espécies, com exceção das espécies azedinha, caruru-de-mancha e caruru-rasteiro, os teores de Si foram significativamente superiores na dose de 50 mg dm⁻³ de Si, apresentando maior resposta à adubação silicatada.

Tabela 2 - Teor de Si (g kg^{-1}) em nove espécies de hortaliças não convencionais submetidas a duas doses de silício.

Espécies	Doses de silício (mg dm^{-3})	
	0	50
Araruta	8,14 a B	9,63 a A
Azedinha	3,44 b A	4,03 b A
Caruru-de-mancha	3,95 b A	4,38 b A
Caruru-gigante	2,24 c B	4,19 b A
Caruru-de-espinho	2,47 c B	4,18 b A
Caruru-rasteiro	1,89 d A	2,10 c A
Caruru-roxo	1,27 d B	2,32 c A
Peixinho	2,71 c B	4,74 b A
Serralha	2,55 c B	4,58 b A

Médias agrupadas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúsculas nas linhas não diferem, pelo teste de Scott-Knott e teste F, a 5% de probabilidade, respectivamente.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

O aumento no teor de Si na maioria das espécies mediante aplicação de Si externo foi confirmado na pesquisa para a maioria das espécies, o que é reforçado com resultados obtidos em outras pesquisas. De acordo com Pilon, Soratto e Moreno (2013), a aplicação de Si no solo, bem como via foliar, promove maior teor de Si em plantas de batata. Em um estudo com gramíneas forrageiras submetidas a diferentes fontes de silicato via foliar foi observado que as aplicações de Si aumentaram linearmente a concentração média desse elemento na parte aérea das espécies estudadas (SÁVIO et al., 2011). Andrade et al. (2014) observaram que, na cultura do milho, os teores de Si sofrem variações de acordo com a cultivar e as condições de crescimento das plantas.

No desdobramento das doses dentro das espécies para matéria fresca (Tabela 4), com exceção da maior massa fresca das espécies azedinha e peixinho na dose de 0 mg dm^{-3} de Si, não houve diferenças significativas para as demais espécies, indicando nenhuma influência do Si sobre a massa fresca dessas plantas.

Tabela 3 - Massa fresca (g) em nove espécies de hortaliças não convencionais submetidas a duas doses de silício.

Espécies	Doses de silício (mg dm ⁻³)	
	0	50
Araruta	127,26 A	127,26A
Azedinha	113,20 A	93,77 B
Caruru-de-mancha	38,15 A	36,39 A
Caruru-gigante	35,10 A	37,23 A
Caruru-de-espinho	40,85 A	51,29 A
Caruru-rasteiro	33,97 A	31,44 A
Caruru-roxo	52,54 A	61,70 A
Peixinho	59,03 A	39,18 B
Serralha	35,26 A	35,18 A

Médias agrupadas pela mesma letra maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

No desdobramento das doses de Si dentro das espécies para massa seca (Tabela 5), verificou-se que a dose de 50 mg dm³ promoveu redução da massa seca na azedinha e no peixinho, enquanto no caruru-roxo o efeito foi positivo, ocorrendo aumento da massa seca. Nas demais espécies não foi verificado efeito significativo para a variável.

Tabela 4 - Massa seca (g) em nove espécies de hortaliças não convencionais submetidas a duas doses de silício.

Espécies	Doses de silício (mg dm ⁻³)	
	0	50
Araruta	16,23 A	15,05 A
Azedinha	11,45 A	8,93 B
Caruru-de-mancha	5,77 A	5,80 A
Caruru-gigante	4,82 A	5,68 A
Caruru-de-espinho	5,27 A	7,10 A
Caruru-rasteiro	7,79 A	6,93 A
Caruru-roxo	8,42 B	10,91 A
Peixinho	10,07 A	7,16 B
Serralha	4,34 A	4,11 A

Médias agrupadas pela mesma letra maiúscula nas linhas não diferem. pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Com relação às massas fresca e seca, o Si, de modo geral, não influencia de forma positiva o parâmetro, ocorrendo, inclusive, efeito antagônico em algumas espécies de hortaliças não convencionais, como foi observado nesse primeiro ensaio. Resultados semelhante foram obtidos por Gerrero, Borges e Fernandes (2011) na cultura da rúcula, em que a aplicação de 0; 0,075; 0,150; 0,225 e 0,300 ml/vaso de Si via foliar não exerceu influência sobre a massa fresca da cultura.

O Si pode interferir negativamente no crescimento das plantas, tornando sua expansão lenta e irregular, devido ao resultado do reforço mecânico provocado pelo Si, que diminui a plasticidade da parede das células das folhas (KAMENIDOU; CAVINS; MAREK, 2009). Outro aspecto a ser considerado diz respeito à influência dos depósitos de sílica nos tecidos foliares, que reduzem a taxa de transpiração (DAYANANDAN; KAUFMAN; FRANKLIN, 1983), podendo, conseqüentemente, ocorrer menor absorção de nutrientes, prejudicando o crescimento das plantas. Essas características podem explicar a menor matéria fresca e seca na dose de 50 mg dm⁻³ nas espécies peixinho e azedinha.

Estudos revelaram que muitas culturas apresentaram maiores produtividades quando submetidas à adubação silicatada. Por exemplo, em um estudo realizado por Zanão Júnior et al. (2013) com rosas cultivadas em vaso constatou-se que a aplicação de Si no substrato aumentou a produção e a melhora na qualidade das rosas, ocorrendo variação de acordo com as doses e as cultivares estudadas. Trabalhos com espécies de gramíneas apontam ganho de produtividade quando supridas adequadamente com Si. Dantas Júnior et al. (2013) verificaram que a produção de milho grão é influenciada positivamente pela aplicação de silicato de cálcio e magnésio, apresentando maiores índices de produtividade.

Como mencionado inicialmente, o primeiro experimento consistiu de estudo preliminar (triagem), com o objetivo de selecionar espécies de hortaliças não convencionais mais responsivas à adubação com Si e que apresentem maior aptidão para introdução/reintrodução na dieta humana, para a realização do segundo experimento. Dessa forma, foi selecionada a azedinha que, apesar de não ter apresentado resposta à adubação silicatada nesse primeiro momento, é uma espécie apreciada como hortaliça, em Minas Gerais. Portanto, optou-se por utilizá-la no experimento 2, assim como foram escolhidas as espécies caruru-gigante, peixinho e serralha, que foram mais responsivas à adubação silicatada para teor de Si. Apesar de a araruta ter apresentado maior teor de Si nas duas doses avaliadas, optou-se por não utilizá-la, pelo fato de a avaliação ter sido realizada nas folhas, parte não comestível da espécie. Não houve produção de rizoma em tempo hábil para a realização das avaliações.

4.2 Experimento 2

Com as espécies de hortaliças não convencionais selecionadas no experimento 1 realizou-se o segundo experimento, submetendo-as a doses crescentes de silício.

4.2.1 Efeito do silício sobre a arquitetura das plantas

Em nenhum momento do ciclo, do transplântio até a colheita, foi observada qualquer modificação na arquitetura das plantas (ângulo das folhas, direcionamento do crescimento) (Figura 1).

Figura 1 - Arquitetura da azedinha, serralha, caruru e peixinho, submetidas a diferentes doses de Si (A-0, B-25, C-50, D-100, E-150 mg dm⁻³, respectivamente), na 3^a semana após o transplântio das mudas.



*Valores nas etiquetas representam a dose total aplicada/vaso.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Em contraste com os resultados do ensaio, em algumas culturas, especialmente gramíneas, como o trigo e o arroz, o Si, quando em concentrações adequadas no solo, promove modificações na arquitetura dessas plantas, deixando-as mais eretas, diminuindo o ângulo foliar

e permitindo maior captação de energia luminosa (ÁVILA et al., 2010; GAO et al., 2005). No entanto, os efeitos do Si sobre a arquitetura das plantas não se restringem às gramíneas. Em um estudo com zinnia (*Zinnia elegans*), Kamenidou, Cavins e Marek (2009) observaram que plantas submetidas à adubação com silicato de potássio resultou em plantas mais curtas, compactas e com hastes eretas.

Não há estudos que expliquem, de forma concisa, o efeito do Si sobre a arquitetura das plantas. Porém, a deposição de Si nas raízes, caules e folhas das plantas aumenta a resistência e a rigidez das paredes celulares, bem como reduzem a transpiração, sendo essas características atribuídas às mudanças na arquitetura das plantas (MA; YAMAJI, 2006).

Kuai et al. (2017) concluíram que a colheita mecânica de alto rendimento da colza (*Brassica napus* L.) é favorecida pela aplicação de Si por reduzir a altura, evitar acamamento e quebra das plantas na operação da colheita. Essas características são atribuídas a maior resistência mecânica causada pela deposição de Si nas paredes celulares e ao aumento da biossíntese de lignina, devido à maior expressão do gene fenilalanina amônia liase (PAL), atribuída ao Si aplicado. A PAL é uma enzima chave da via fenilpropanoide que catalisa a desaminação de fenilalanina em ácido transcinâmico, um precursor para as vias da biossíntese de lignina e flavonoides (BAGAL et al., 2012).

4.2.2 Teor de silício, acúmulo e eficiência de absorção do silício aplicado

De acordo com o resumo da análise de variância, foi observado, para as espécies de hortaliças não convencionais, para as doses avaliadas, bem como a interação entre esses fatores, variabilidade quanto ao teor e ao acúmulo de Si, assim como para eficiência de absorção do Si aplicado (APÊNDICE B).

A análise de variância do desdobramento das espécies dentro de cada dose de Si revelou efeito significativo para espécies dentro de todas as doses de Si aplicadas para teor e acúmulo de Si. Para eficiência de absorção, o mesmo desdobramento foi significativo apenas nas doses de 25 e 50 mg dm⁻³ (APÊNDICE C).

Observa-se, na Tabela 5, que as espécies se comportaram de forma diferente quanto ao teor de Si, em função das diferentes doses. Na dose 0 mg dm⁻³, a serralha apresentou maior teor de Si, seguida pela azedinha. Nas doses maiores, a serralha continuou se destacando com relação ao teor de Si, porém, para as demais espécies, o teor de Si é variável conforme a dose aplicada.

Tabela 5 - Desempenho médio de quatro espécies de hortaliças não convencionais submetidas a cinco doses de silício com relação ao teor silício (TSi).

Espécies	Teor de Si (g kg ⁻¹)				
	-----Doses (mg dm ⁻³)-----				
	0	25	50	100	150
Azedinha	3,31 B	3,97 B	4,41 C	4,46 B	3,87 B
Caruru	2,29 D	2,89 C	4,55 BC	3,61 C	2,67 C
Peixinho	2,99 C	4,42 A	4,72 B	4,30 B	3,65 B
Serralha	3,88 A	4,52 A	5,29 A	5,38 A	5,05 A

Médias seguidas de letras distintas para cada parâmetro na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

As espécies apresentaram comportamento distinto dentro de cada dose de Si com relação à capacidade de acumular o mineral (Tabela 6). O peixinho apresentou maior acúmulo de Si em todas as doses de Si aplicadas. A azedinha apresentou capacidade de acúmulo inferior à do peixinho, porém, superior à dos demais. A serralha apresentou resultado intermediário em todas as doses, enquanto o caruru foi a espécie que apresentou menor acúmulo de Si. Plantas com maior volume de folhas, como a azedinha e o peixinho, apresentam maior capacidade de acumular Si.

Tabela 6 - Desempenho médio de quatro espécies de hortaliças não convencionais com relação ao acúmulo de Si (ASi), quando submetidas a cinco doses de silício.

Espécie	Acúmulo de silício (mg/planta)				
	-----Doses (mg dm ⁻³)-----				
	0	25	50	100	150
Azedinha	63,25 B	96,57 A	100,90 B	93,06 B	80,97 B
Caruru	44,08 C	60,63 C	87,19 C	66,62 D	52,40 C
Peixinho	86,85 A	91,72 A	110,99 A	105,96 A	91,59 A
Serralha	65,25 B	72,83 B	73,99 C	81,90 C	78,43 B

Médias seguidas de letras distintas para cada parâmetro na coluna diferem significativamente, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Para eficiência de absorção do Si aplicado (Tabela 7), houve diferença significativa entre as espécies apenas nas doses de 25 e 50 mg dm⁻³ de Si. Na dose de 25 mg dm⁻³, a espécie azedinha apresentou melhor desempenho, enquanto na dose de 50 mg dm⁻³ a azedinha e o caruru se sobressaíram, apresentando maior eficiência de absorção, não havendo diferença estatística entre ambas. A eficiência de absorção do silício aplicado diz respeito ao aproveitamento da dose aplicada.

Tabela 7 - Desempenho médio de quatro espécies de hortaliças não convencionais submetidas a cinco doses de silício, com relação à eficiência de absorção do Si aplicado (EASi).

Espécies	Eficiência de absorção do Si aplicado (%)				
	-----Doses (mg dm ⁻³)-----				
	0	25	50	100	150
Azedinha	-	44,42 A	25,09 A	9,93 A	3,94 A
Caruru	-	22,07 B	28,73 A	7,51 A	1,84 A
Peixinho	-	6,49 C	16,09 B	6,37 A	1,05 A
Serralha	-	10,09 C	5,82 C	5,55 A	2,92 A

Médias seguidas de letras distintas para cada parâmetro na coluna diferem significativamente, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A absorção e o acúmulo de Si pelas plantas dependem de uma série de fatores, entre eles a disponibilidade do Si no solo, a morfologia e a anatomia das plantas, bem como as características genéticas das espécies. Deshmukh et al. (2013) indentificaram os genes GmNIP2-1 e GmNIP2-2 na cultura da soja (*Glycine max*), responsáveis pelo transporte (influxo) de Si. O gene Lsi1 (CmLsi1) em abóbora foi o primeiro gene indentificado em dicotiledôneas envolvido no transporte de Si (MITANI et al., 2011). Esses estudos provam que há diferenças importantes no padrão genético das espécies, no que diz respeito aos genes associados à absorção de minerais.

Embora todas as plantas contenham Si, elas apresentam grande variação na capacidade de acúmulo desse mineral nos seus tecidos. Segundo Ma e Yamaji (2006), a diferença na acumulação de Si entre as espécies pode ser influenciada pela capacidade das raízes em interceptar o mineral. As concentrações de Si podem variar entre as espécies de 1 g kg⁻¹ a mais de 100 g kg⁻¹ do peso seco (EPSTEIN, 1994; MA; TAKAHASHI, 2002).

De acordo com Takahashi, Ma e Miyake (1990), as espécies são classificadas em três grupos: acumuladoras de Si, em geral monocotiledôneas com teor foliar de Si, podendo superar 10 g kg⁻¹ do mineral na matéria seca; não acumuladoras de Si, geralmente leguminosas, que apresentam teor de Si menor que 5 g kg⁻¹, e as intermediárias, que apresentam teor de Si superior a 5 g kg⁻¹, porém, inferior a 10 g kg⁻¹.

A variação no teor e na capacidade de absorção de Si dentro de cada espécie é influenciada pelo genótipo. Porém, essa variação é maior quando em espécies distintas (HODSON et al., 2005; LIANG et al., 2015). Takahashi, Ma e Miyake (1990) propuseram três mecanismos possíveis de absorção de Si pelas plantas. São eles: absorção ativa, em que a absorção do Si é rápida, subsidiada por transportadores de Si; absorção passiva, que ocorre a favor do fluxo transpiratório da planta, sendo a velocidade de absorção de Si igual à da água;

pode ocorrer também plantas exclusoras de Si, em que a absorção de Si é menor que a captação de água pelas plantas.

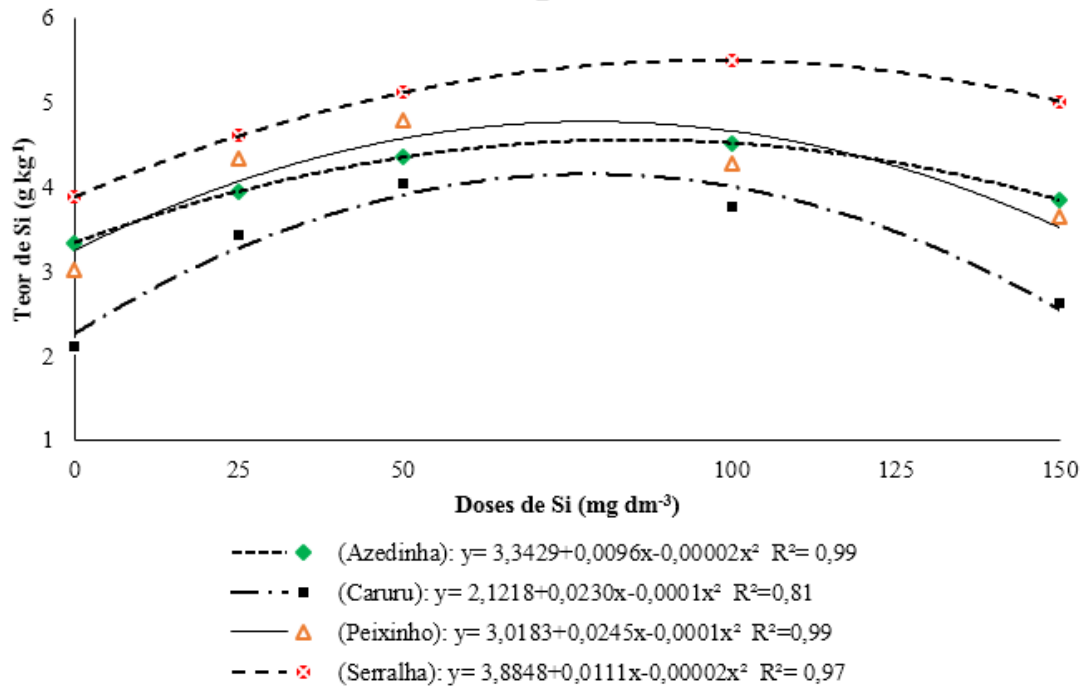
Em um estudo com arroz, pepino e tomate, Mitani e Ma (2005) demonstraram que o transporte radial de Si é mediado por um transportador de Si para as três culturas. No entanto, a velocidade máxima de absorção é diferente para as três culturas, com o arroz apresentando maior velocidade e maior teor de Si, seguido pelo pepino e o tomate, respectivamente. Os resultados do estudo sugerem que o transporte de Si é mediado por transportadores de Si com gasto de energia, ou por difusão, processo passivo de absorção do mineral. Não há relatos da presença de transportadores de Si em hortaliças não convencionais.

A presença ou a ausência de transportadores de Si, bem como a maior ou a menor densidade desses transportadores, podem explicar as diferenças existentes entre as espécies com relação à eficiência na absorção do Si. A taxa transpiratória das plantas é outro fator favorável à absorção do Si; quanto maior essa taxa, maior a eficiência de absorção e acúmulo do mineral (JONES; HANDRECK, 1967). Portanto, o incremento no teor de Si, acúmulo de Si, assim como a eficiência de absorção do Si aplicado nessas plantas mediante aplicação externa do mineral são influenciados por fatores morfológicos, anatômicos e genéticos.

O desdobramento das doses dentro de cada espécie para teor e acúmulo de Si, assim como para a eficiência de absorção do Si aplicado, apresentou efeito significativo nas três variáveis analisadas (APÊNDICE D).

Para teor de Si, quando os dados foram submetidos à análise de regressão, a equação de segundo grau foi a que apresentou o melhor ajuste para todas as espécies (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Teor médio de Si em quatro espécies de hortaliças não convencionais em função da aplicação de silício.

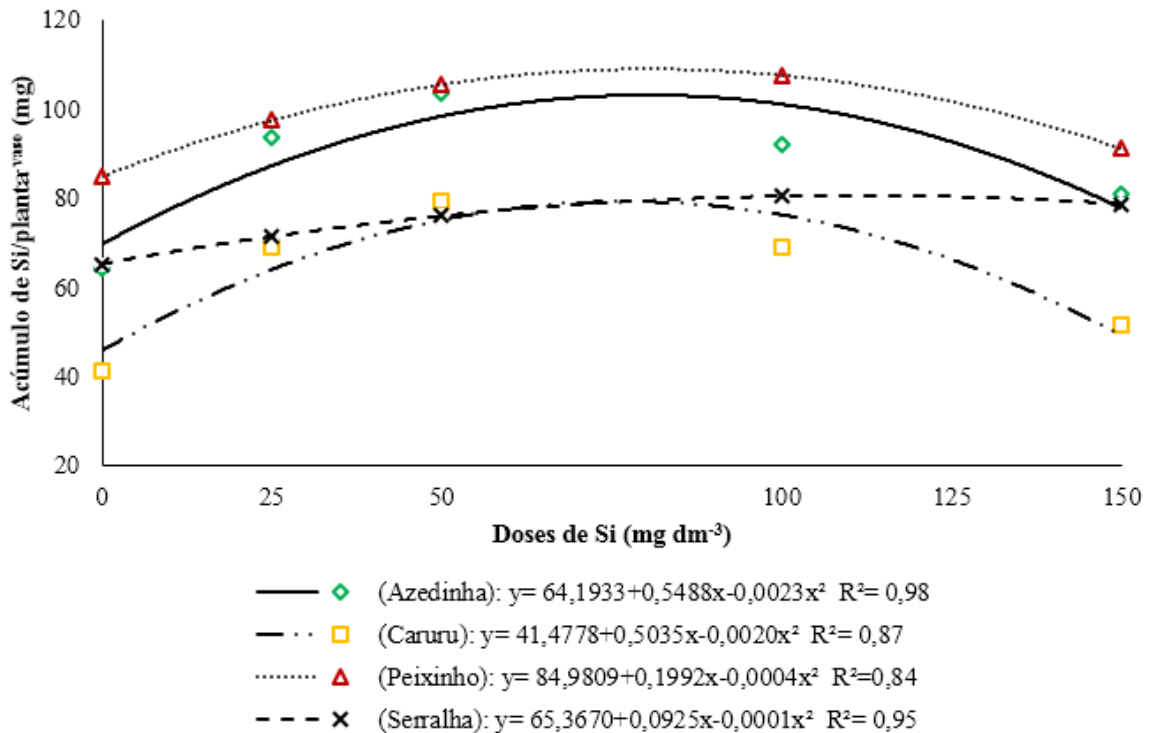


Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Por meio das derivadas das equações, calculou-se a dose de 240 mg dm⁻³ como aquela responsável pelo maior teor de Si estimado para a azedinha, de 4,5 g kg⁻¹ na matéria seca. Para o caruru, a aplicação de 115 mg dm⁻³ promoveria teor de Si de até 3,44 g kg⁻¹ na matéria seca. A aplicação de 122,50 mg dm⁻³ de Si no peixinho e de 277,50 mg dm⁻³ na serralha promoveria os teores máximos estimados de 4,52 e 5,43 g kg⁻¹ de Si nas massas secas das respectivas espécies.

Os dados referentes ao acúmulo de Si foram submetidos à análise de regressão e a equação de segundo grau foi a que apresentou o melhor ajuste para todas as espécies (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Acúmulo de Si em quatro espécies de hortaliças não convencionais, em função da aplicação de silício.

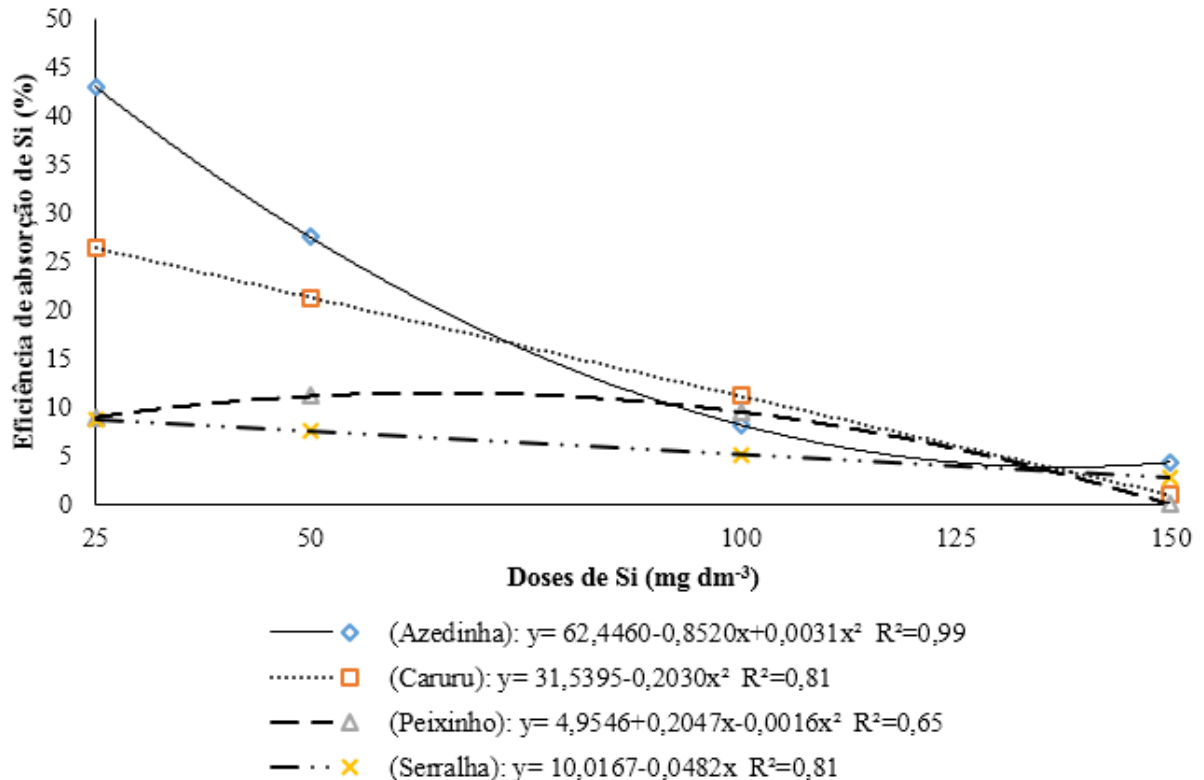


Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Da mesma forma como foi realizado para teor de Si, procedeu-se à derivação das equações para a determinação das doses que proporcionariam os melhores resultados estimados para acúmulo de Si. Portanto, com a aplicação de 119 mg dm⁻³, a azedinha teria acúmulo máximo de 96,94 mg de Si/planta. A dose de 125,88 mg dm⁻³ promoveria acúmulo máximo de 73,17 mg de Si/planta no caruru. Acúmulo de até 109,78 mg de Si/planta no peixinho seria possível com a aplicação de 249 mg dm⁻³ de Si. A aplicação de 462,5 mg dm⁻³ de Si promoveria maior acúmulo de Si na azedinha, porém, por se tratar de uma dose muito fora do intervalo das doses avaliadas, o cálculo foi realizado com a dose máxima de 150 mg dm⁻³, com plantas de serralha apresentando acúmulo de Si máximo estimado de 77 mg/planta.

Para a eficiência de absorção do Si aplicado, os dados, quando submetidos à análise de regressão, mostraram que a equação polinomial de segundo grau foi a que apresentou o melhor ajuste para as espécies azedinha, caruru e peixinho, enquanto, para a espécie serralha, verificase que a equação de primeiro grau foi a que apresentou melhor ajuste (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Eficiência de absorção do Si aplicado (%) em quatro espécies de hortaliças não convencionais, em função da aplicação de silício.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Para a variável em questão não foi realizada a derivação das equações, por não apresentarem ponto de máxima, assim como a equação de primeiro grau, que não é possível realizar tal procedimento. Portanto, a maior eficiência de absorção do Si aplicado mediante a aplicação das equações foi obtida com a aplicação de 25 mg dm⁻³ de Si, com exceção da espécie peixinho, que apresentou maior eficiência na dose de 50 mg dm⁻³ (16,09%). A azedinha absorveu, em média, 44,42% da dose; o caruru, 22,07% e a serralha, 10,10%. O aumento das doses de Si foi oposto ao aumento da eficiência de absorção das mesmas. Embora ocorra o decréscimo na eficiência de absorção das doses de Si aplicadas à medida que elas aumentam, o teor de Si na parte aérea das plantas não segue o mesmo padrão. O parâmetro pode auxiliar quando se deseja aumentar o teor de Si nas plantas, de forma a utilizar doses mais eficientes e economicamente viáveis.

As doses que proporcionaram maior/menor teor e acúmulo de Si foram diferentes de acordo com a espécie. Por serem espécies não acumuladoras de Si, supõe-se que a absorção do mineral se dá por meio de um processo passivo que depende da capacidade transpiratória das plantas, bem como da capacidade de interceptação radicular do Si de cada uma. De acordo com

Yamaji e Ma (2007), a absorção de Si é maior nas regiões basais das raízes, sendo o meristema apical e a zona de alongamento das raízes menos eficientes na absorção do Si.

Resultado semelhante foi obtido por D'Imperio et al. (2016) que promoveram aumento nos teores de Si em seis espécies de hortaliças folhosas cultivadas em sistema hidropônico, mediante a aplicação de 50 e 100 mg dm⁻³ de Si na solução nutritiva, não tendo havido diferença significativa entre as referidas doses no teor do mineral nas plantas estudadas. Os valores de biodisponibilidade quantificados pelos autores em um processo de digestão *in vitro* (simulação do que ocorre *in vivo* por meios artificiais) são bem superiores nas plantas que receberam Si via solução nutritiva, em relação ao tratamento controle (0 mg dm⁻³).

De acordo com Pati et al. (2016), a absorção de Si em plantas de arroz varia dependendo das doses de Si aplicadas. Jawahar e Vaiyapuri (2013) também expressaram que, embora o Si seja um elemento abundante no solo, o mineral disponível para as plantas geralmente se apresenta em baixas concentrações, e a sua absorção depende do fornecimento de externo.

O Si é absorvido pelas plantas na forma de ácido silícico (H₄SiO₄) (D'IMPERIO et al., 2016; EPSTEIN, 1994; MITANI; MA, 2005). A concentração de ácido silícico na solução do solo varia de 0,1 a 0,6 mM (BIRCHALL, 1995; EPSTEIN; BLOOM, 2006). A disponibilidade de Si para as plantas é fortemente influenciada pelo pH do solo (LIANG et al., 2015). Quanto maior o pH do solo, menor a disponibilidade do Si, sendo que a aplicação do mineral provoca aumento do pH.

O ácido silícico em pH próximo da neutralidade tem solubilidade em água (a 25 °C) de ~2mM (equivalente a 56 mg de Si dm⁻³). Acima desta concentração, a disponibilidade de ácido silícico para as plantas diminui por causa da policondensação do ácido, produzindo ácido silícico oligomérico e partículas coloidais de sílica hidratada (SiO₂. H₂O). Outro aspecto relevante são os processos de adsorção e dessorção do Si em materiais reativos do solo (principalmente sesquióxidos), diminuindo ou aumentando a disponibilidade do mineral no solo (JONES; HANDRECK, 1967).

4.2.3 Teor de macronutrientes e aspectos agronômicos em hortaliças não convencionais submetidas à adubação com silício

No intuito de verificar as relações e os efeitos do Si sobre outros minerais, assim como sobre parâmetros agronômicos, como produção de biomassa, procedeu-se à análise exploratória dos dados.

4.2.3.1 Azedinha

De acordo com a análise fatorial exploratória da espécie azedinha (Tabela 8), no primeiro fator, com exceção das variáveis K e Ca, que apresentaram correlação inversa com as demais, houve correlação positiva do Si com P, Mg, MF, MS e índice SPAD, ou seja, o aumento no teor de Si promove ganhos nas variáveis citadas e vice-versa. No segundo fator não se faz necessária a explicação das relações entre as variáveis, pois já foram explicadas no primeiro fator. As correlações entre as variáveis e os fatores são mais bem visualizadas no Gráfico 4. A explicação da variância total atribuída aos dois fatores foi de 84,53% (Tabela 12). A variável que menos foi explicada pelo modelo fatorial foi o fósforo (P), e a que mais foi explicada foi a matéria seca (MS). Esses resultados podem ser verificados tomando-se a comunalidade de cada variável. Comunalidade é o quanto da variância das variáveis é medida ou explicada pelos “f” fatores que foram extraídos. Os fatores são variáveis não observadas que se pretende medir a partir das variáveis observadas.

Tabela 8 - Análise fatorial exploratória considerando as variáveis fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), silício (Si), acúmulo de silício (planta^{-vaso}), massa fresca (MF), massa seca (MS) e índice SPAD, em função da adubação com silício na espécie azedinha.

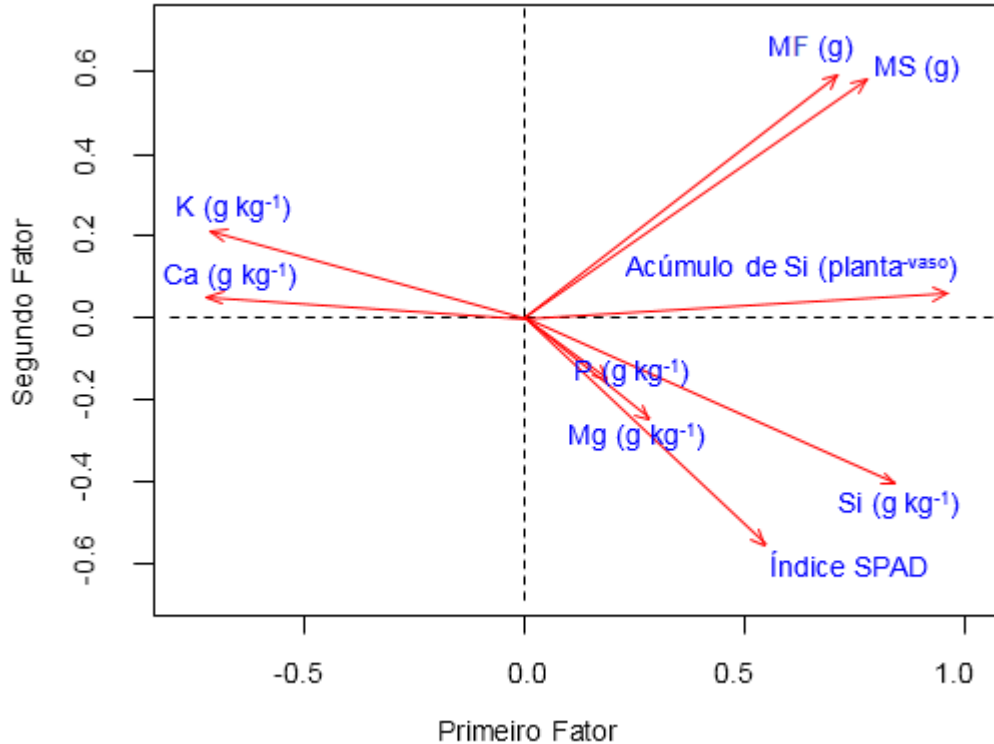
Fator	Azedinha									λ	% λ
	P	K	Ca	Mg	Si	Acúmulo de Si	MF	MS	Índice SPAD		
1	0,190	-0,708	-0,717	0,287	0,845	0,964	0,716	0,781	0,550	4,200	64,69
2	-0,148	0,212	0,054	-0,244	-0,407	0,061	0,590	0,581	-0,552	1,288	19,84
Com.*	0,058	0,546	0,517	0,142	0,879	0,932	0,860	0,947	0,607	5,488	84,53
V.E.**	0,942	0,454	0,483	0,858	0,121	0,068	0,140	0,053	0,393	-	-

* Comunalidade, ** Variâncias específicas, λ = Variância,

Coefficiente da carga fatorial: <0,3 (fraca carga fatorial); 0,3≤CF<0,5 (baixa carga fatorial); 0,5≤CF<0,7 (moderada carga fatorial); 0,7≤CF<0,9 (alta carga fatorial); 0,9≤CF<1,0 (forte carga fatorial).

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Gráfico 4 - Análise fatorial exploratória considerando as variáveis, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), silício (Si), acúmulo de silício (planta^{vaso}), massa fresca (MF), massa seca (MS) e índice SPAD, em função da adubação com silício na espécie azedinha.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

4.2.3.2 Caruru

No primeiro fator da análise fatorial para o caruru é possível identificar que o Ca e a MF são antagônicas entre si. O P promove ganhos no índice SPAD, porém, ambos causam redução no K e MS, e vice-versa. No segundo fator observa-se que há forte influência positiva do Si sobre o teor de Mg e vice-versa (Tabela 9). De modo geral, no caruru, o Si apresenta efeito positivo sobre o teor de P, Ca, Mg e índice SPAD. As correlações entre as variáveis são mais bem visualizadas no Gráfico 5.

A explicação da variância total atribuída aos dois fatores foi de 73,51%. A variável que menos foi explicada pelo modelo fatorial foi o P, e a que mais foi explicada foi o acúmulo de Si. Esses resultados podem ser facilmente verificados tomando-se a comunalidade de cada variável.

Tabela 9 - Análise fatorial exploratória considerando as variáveis, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), silício (Si), acúmulo de silício (planta^{vaso}), massa fresca (MF), massa seca (MS) e índice SPAD, em função da adubação com silício no caruru.

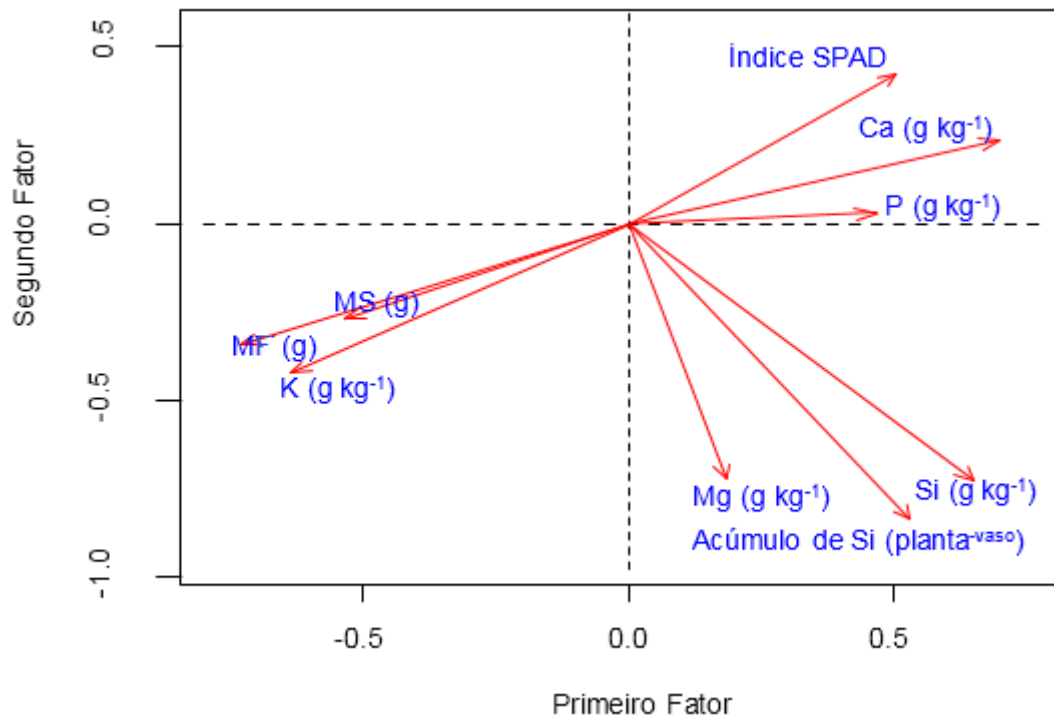
Fator	Caruru									λ	% λ
	P	K	Ca	Mg	Si	Acúmulo de Si	MF	MS	Índice SPAD		
1	0,467	-0,636	0,700	0,185	0,653	0,535	-0,730	-0,531	0,508	2,933	40,82
2	0,029	-0,422	0,237	-0,720	-0,727	-0,836	-0,341	-0,268	0,425	2,349	32,69
Com.*	0,219	0,582	0,546	0,553	0,955	0,984	0,649	0,354	0,439	5,282	73,51
V.E.**	0,781	0,418	0,454	0,447	0,045	0,016	0,351	0,646	0,561	-	-

* Comunalidade, ** Variâncias específicas, λ = Variância,

Coefficiente da carga fatorial: $<0,3$ (fraca carga fatorial); $0,3 \leq CF < 0,5$ (baixa carga fatorial); $0,5 \leq CF < 0,7$ (moderada carga fatorial); $0,7 \leq CF < 0,9$ (alta carga fatorial); $0,9 \leq CF < 1,0$ (forte carga fatorial).

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Gráfico 5 - Análise fatorial exploratória considerando as variáveis, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), silício (Si), acúmulo de silício (planta^{vaso}), massa fresca (MF), massa seca (MV) e índice SPAD, em função da adubação com silício no caruru.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

4.2.3.3 Peixinho

No primeiro fator é possível verificar que o Ca no peixinho promove aumentos na MF e MS, porém, com o Si, a correlação é inversa, indicando o seu efeito negativo sobre as variáveis citadas. No entanto, o Si apresentou efeito positivo sobre os teores de P e o índice SPAD. Com relação ao segundo fator observa-se moderada carga em módulo entre as variáveis Ca, Mg, Si e MS, mas já foram explicados no primeiro fator por apresentarem maior carga (Tabela 10). A correlação entre as variáveis é mais bem visualizada no Gráfico 6. A explicação da variância total atribuída aos dois fatores foi de 76,24%.

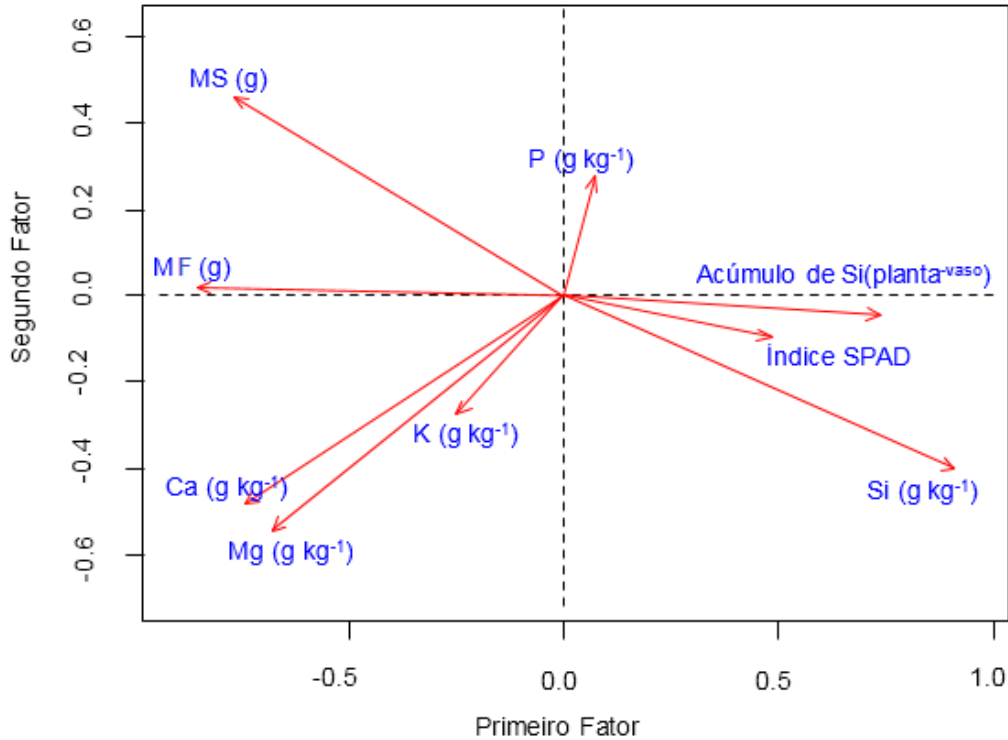
Tabela 10 - Análise fatorial exploratória considerando as variáveis, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), silício (Si), acúmulo de silício (planta^{-vaso}), massa fresca (MF), massa seca (MS) e índice SPAD, em função da adubação com silício no peixinho.

Fator	Peixinho									λ	% λ
	P	K	Ca	Mg	Si	Acúmulo de Si	MF	MS	Índice SPAD		
1	0,073	-0,248	-0,744	-0,681	0,911	0,737	-0,855	-0,769	0,483	4,012	60,11%
2	0,275	-0,279	-0,485	-0,546	-0,404	-0,046	0,019	0,463	-0,099	1,076	16,12%
Com.*	0,081	0,139	0,789	0,762	0,993	0,545	0,732	0,806	0,243	5,089	76,24%
V.E.**	0,919	0,861	0,211	0,238	0,007	0,455	0,268	0,194	0,757	-	-

* Comunalidade, ** Variâncias específicas, λ = Variância, Coeficiente da carga fatorial: <0,3 (fraca carga fatorial); $0,3 \leq CF < 0,5$ (baixa carga fatorial); $0,5 \leq CF < 0,7$ (moderada carga fatorial); $0,7 \leq CF < 0,9$ (alta carga fatorial); $0,9 \leq CF < 1,0$ (forte carga fatorial).

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Gráfico 6 - Análise fatorial exploratória considerando as variáveis, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), silício (Si), acúmulo de silício (planta^{-vaso}), matéria verde (MV), matéria seca (MV) e índice SPAD, em função da adubação com silício no peixinho.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

4.2.3.4 Serralha

Para a serralha, no primeiro fator foi verificado que o Si aumenta os teores de K, P, Ca e Mg, porém, reduz MF e MS. No segundo fator observa-se que o acúmulo de Si promove ganhos no índice SPAD (Tabela 11). As correlações entre os tratamentos e os fatores são mais bem visualizadas no Gráfico 7. A explicação da variância total atribuída aos dois fatores foi de 78,65%. A variável que menos foi explicada pelo modelo fatorial foi Mg e a que mais foi explicada foi MS. Esses resultados podem ser facilmente verificados tomando-se a comunalidade de cada variável.

Tabela 11 - Análise fatorial exploratória considerando as variáveis, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), silício (Si), acúmulo de silício (planta^{vaso}), massa fresca (MF), massa seca (MS) e índice SPAD, em função da adubação com silício na espécie serralha.

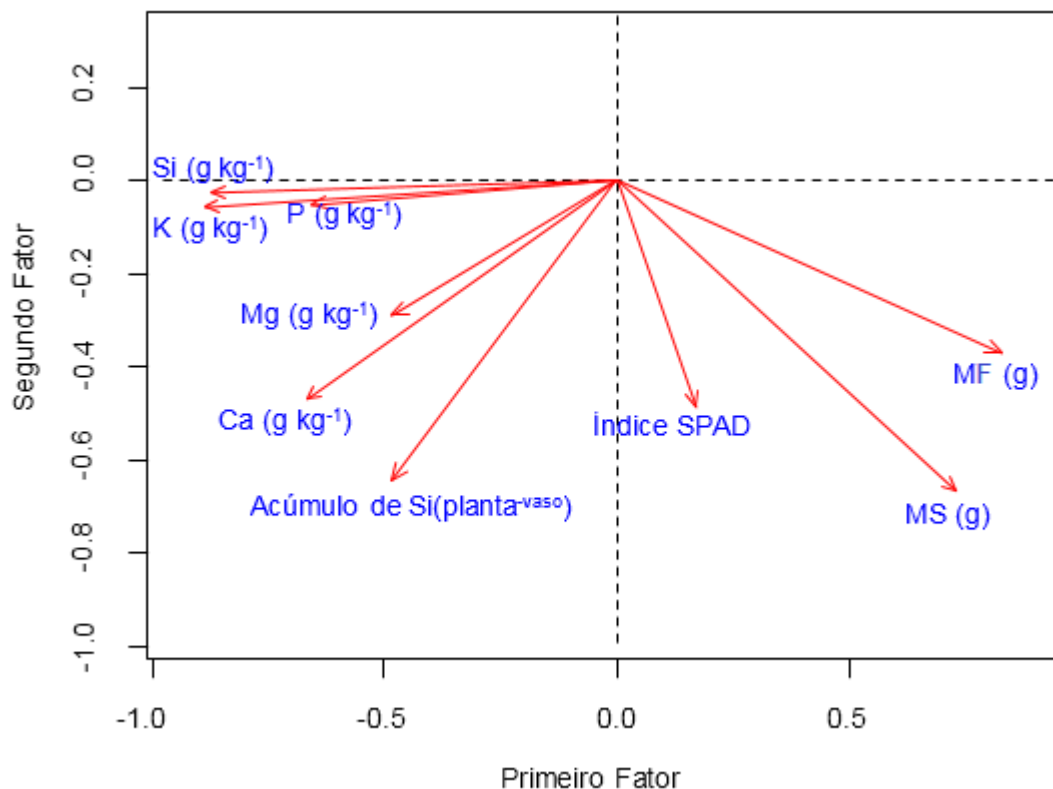
Fator	Serralha									λ	% λ
	P	K	Ca	Mg	Si	Acúmulo de Si	MF	MS	Índice SPAD		
1	-0,656	-0,888	-0,669	-0,483	-0,873	-0,484	0,824	0,727	0,169	4,133	57,37
2	-0,050	-0,058	-0,469	-0,290	-0,026	-0,640	-0,369	-0,665	-0,485	1,533	21,28
Com.*	0,433	0,792	0,668	0,317	0,762	0,643	0,816	0,971	0,264	5,666	78,65
V.E.**	0,567	0,208	0,332	0,683	0,238	0,357	0,184	0,029	0,736	-	-

* Comunalidade, ** Variâncias específicas, λ = Variância,

Coefficiente da carga fatorial: <0,3 (fraca carga fatorial); 0,3≤CF<0,5 (baixa carga fatorial); 0,5≤CF<0,7 (moderada carga fatorial); 0,7≤CF<0,9 (alta carga fatorial); 0,9≤CF<1,0 (forte carga fatorial).

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Gráfico 7 - Análise fatorial exploratória considerando as variáveis fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), silício (Si), acúmulo de silício (planta^{vaso}), massa fresca (MV), massa seca (MV) e índice SPAD, em função da adubação com silício na azedinha.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

O comportamento e as relações entre as variáveis Si, P, K, Ca, Mg, MV e MS foram diferentes de acordo com a espécie, mostrando que não só a aplicação de Si influenciou essas variáveis e que as relações existentes, principalmente com relação aos minerais, vão muito além das reações químicas ocorridas no solo, em detrimento da adubação com Si.

Alguns resultados de pesquisas anteriores explicam os resultados obtidos no presente estudo, principalmente com relação aos efeitos da adubação silicatada sobre outros minerais explorados na pesquisa. De acordo com Pati et al. (2016), a aplicação de Si, juntamente com fertilizantes completos na cultura do arroz, possibilita maior rendimento da cultura, bem como aumenta a absorção de macro e micronutrientes. Xu, Lu e Xie (2016) enfatizam que a adubação com Si na cultura do milho aumenta a absorção de minerais, aumenta o teor de açúcar solúvel total, amido e acúmulo de matéria seca.

O Si é considerado um nutriente funcional para várias culturas, especialmente para gramíneas como arroz e cana-de-açúcar, favorecendo o crescimento e o desenvolvimento dessas espécies (EPSTEIN, 1999; HODSON et al., 2005). Ele apresenta efeito sinérgico sobre outros minerais no solo. A aplicação do mineral aumenta a disponibilidade de N e proporciona maior eficiência de uso de fertilizantes fosfatados em até 10%, por reduzir a retenção do P no solo e aumentando os níveis de P solúvel (PATI et al., 2016; SINGH; SINGH; SINGH, 2005; SUBRAMANIAN; GOPALSWAMY, 1990).

O Si reduz a toxicidade do manganês (Mn) porque a relação P/Mn e P/Fe aumenta com o aumento da aplicação de Si (TAVAKKOLI; ENGLISH; GUPPY, 2011). Jongruk et al. (2002) relataram que a aplicação de fertilizantes NPK em combinação com Si aumentou significativamente a captação total de N, P e K do arroz. Singh, Singh e Singh (2005) afirmam que a aplicação de Si aumenta a captação de K no arroz.

Em um estudo com a cultura da alface, Kleiber, Calomme e Borowiak (2015) relataram que a nutrição com Si não alterou o conteúdo de Mn nas folhas da cultura, porém, causou um aumento significativo em relação ao controle nas concentrações de N, P, Na, Fe e Si, e diminuição simultânea dos níveis de Zn e Cu.

Em contraste com os resultados obtidos neste estudo, Lu et al. (2017) constataram que a biomassa do caruru-vermelho (*A. hypochondriacus* L.) aumentou de forma crescente à medida que aumentaram as doses de silicato de cálcio aplicadas ao solo. Contudo, em doses mais elevadas não houve mais efeito positivo sobre a biomassa. A aplicação de silicato de cálcio atenuou a toxicidade de Cd, possibilitando o crescimento satisfatório do caruru-vermelho em tal condição. Além disso, houve aumento no teor de clorofila, melhorando a fotossíntese substancialmente.

Os efeitos positivos do Si sobre o rendimento e a qualidade de várias culturas têm sido amplamente relatados. Em gramíneas como arroz, milho, cana-de-açúcar, milho e sorgo, entre outras (LIANG et al., 2015), por serem caracterizadas como acumuladoras de Si, o efeito é mais evidente. Os efeitos benéficos desse mineral para as dicotiledôneas, como algodão, soja, pepino e algumas frutíferas, têm sido comprovados e cada vez mais investigados.

Wang, Wang e Wang (2016) afirmam que o rendimento de maçãs foi significativamente aumentado em detrimento da aplicação de Si. Chagas et al. (2016), em um estudo com as culturas do arroz e milho cultivados no serrado brasileiro, relatam que a aplicação de Si aumenta a produtividade dessas culturas. Costa et al. (2015) relataram o aumento no diâmetro de mangas Palmer, associado à aplicação de Si. De acordo com os resultados dos estudos relatados até aqui, é possível afirmar que os efeitos do Si sobre as culturas são positivos, sendo, portanto, um mineral bastante promissor no aumento da produtividade, da qualidade, da sanidade e da qualidade nutricional de diversas espécies vegetais.

Em estudos realizados na última década foram confirmados os efeitos positivos do Si sobre a biossíntese de clorofila, sobretudo em plantas crescendo em condições de estresse. Por exemplo, a aplicação de Si + Cd provocou aumento no teor de clorofila a, b e conteúdo de carotenoides, em comparação ao tratamento em que foi aplicado somente Cd na cultura do milho (MIHALIČOVÁ MALČOVSKÁ et al., 2014). Na mesma cultura, Xu, Lu e Xie (2016) relataram que a adubação com Si aumenta o rendimento de grãos aumentando a fotossíntese e a atividade das enzimas antioxidantes, em trigo (HUSSAIN et al., 2015; RIZWAN et al., 2012), pepino (FENG et al., 2010) e arroz (NWUGO; HUERTA, 2008).

De acordo com Sattar et al. (2016), os pigmentos fotossintéticos são atributos importantes quando se fala em produção de biomassa pelas plantas. As plantas, quando submetidas a estresses, sofrem redução de clorofila, e a aplicação de Si atenua esses estresses, favorecendo o aumento da clorofila. Apesar de as espécies do presente estudo não terem sido submetidas a qualquer tipo de estresse induzido, houve efeito positivo da adubação silicatada sobre os teores de clorofila.

5 CONCLUSÕES

O caruru-gigante, o peixinho e a serralha apresentaram os maiores teores de silício entre as nove espécies estudadas, com destaque para a serralha, que apresentou o maior teor do mineral em todas as doses aplicadas.

A aplicação de 240, 115, 122,50 e 277,50 mg dm⁻³ proporcionou os maiores teores estimados de silício para as espécies, azedinha, caruru, peixinho e serralha, respectivamente.

A adubação com silício não apresenta efeito positivo sobre as matérias verde e seca de hortaliças não convencionais.

A adubação silicatada em hortaliças não convencionais melhora, de modo geral, os teores de fósforo, cálcio, potássio, magnésio e clorofila.

A azedinha, o caruru e o peixinho são classificados como não acumuladoras de Si, enquanto a espécie serralha caracteriza-se como intermediária.

Diante dos resultados, sugere-se o desenvolvimento de novas pesquisas no intuito de verificar a biodisponibilidade de Si em hortaliças não convencionais para humanos, seja *in vivo* ou *in vitro*.

REFERÊNCIAS

- ACHIGAN-DAKO, E. G.; SOGBOHOSSOU, O. E. D.; MAUNDU, P. Current knowledge on *Amaranthus* spp.: research avenues for improved nutritional value and yield in leafy amaranths in sub-Saharan Africa. **Euphytica**, Dordrecht, v. 197, n. 3, p. 303-317, 2014.
- AGRA, M. D. F. et al. Medicinal and poisonous diversity of the flora of “Cariri Paraibano”, Brazil. **Journal of Ethnopharmacology**, Pretoria, v. 111, n. 2, p. 383-395, 2007.
- AKUBUGWO, I. et al. Nutritional and chemical value of *Amaranthus hybridus* L. leaves from Afikpo, Nigeria. **African Journal of Biotechnology**, Bowie, v. 6, n. 24, p. 2833-2839, 2007.
- AL-MAMUN, M. A. et al. Assessment of antioxidant, anticancer and antimicrobial activity of two vegetable species of *Amaranthus* in Bangladesh. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, London, v. 16, n. 31, p. 2833-2839, 2016.
- ALCARDE, J. C. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas**. 2. ed. São Paulo: ANDA, 1992. 26 p. (Boletim Técnico, 6).
- ANDRADE, F. A. et al. Accumulation of silicon and arrangement and shapes of silica bodies in corn leaves. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 13, n. 1, p. 1690-1696, 2014.
- ANJOS, T. V. dos et al. Silicate sources for the control of tomato bacterial spot (*Xanthomonas* spp.). **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 40, n. 4, p. 365-367, 2014.
- ASNAASHARI, S. et al. Chemical composition, free-radical-scavenging and insecticidal activities of the aerial parts of *Stachys byzantina*. **Archives of Biological Sciences**, Belgrade, v. 62, n. 3, p. 653-662, 2010.
- ÁVILA, F. W. et al. Silicon-nitrogen interaction in rice cultivated under nutrient solution. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 184-190, 2010.
- BABULKA, P. Les rumex, de l’ethnobotanique à la phytothérapie moderne (*Rumex* spp.). **Phytothérapie**, Berlin, v. 2, n. 5, p. 153-156, 2004.
- BAGAL, U. R. et al. The phenylalanine ammonia lyase (PAL) gene family shows a gymnosperm-specific lineage. **BMC Genomics**, London, v. 13, n. 3, p. S1, 2012.
- BAYÓN, N. D. Revisión taxonómica de las especies monoicas de *Amaranthus* L. (*Amaranthaceae*): *Amaranthus* subg. *Amaranthus* y *Amaranthus* subg. *Albersia* 1. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, Washington, v. 101, n. 2, p. 261-383, 2015.
- BIRCHALL, J. D. The essentiality of silicon in biology. **Chemical Society Reviews**, Ottawa, v. 24, n. 5, p. 351-357, 1995.
- BRAGA, F. T. et al. Anatomical characteristics of the strawberry seedlings micropropagated using different sources of silicon. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 2, p. 128-132, fev. 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Hortalças não-convencionais (tradicionalis)**. Brasília, DF, 2010. 52 p.

BRESSANI, R. et al. Yield, selected chemical composition and nutritive value of 14 selections of amaranth grain representing four species. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 38, n. 4, p. 347-356, 1987.

CARRÉ-MISSIO, V. et al. Epidemiological components of coffee rust affected by foliar application of potassium silicate. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, DF, v. 37, n. 1, p. 50-56, 2012.

CARVALHO, P. G. de et al. Vegetable crops as functional food. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 24, n. 4, p. 397-404, 2006.

CHAGAS, R. D. S. et al. Silicon fertilization improve yield and quality of rice and pearl millet in cerrado soils. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 32, n. 4, p. 899-907, 2016.

COSTA, I. J. S. et al. Influence of silicon fertilization on 'Palmer' mango tree cultivation. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 1075, p. 229-234, 2015.

COSTEA, M.; DEMASON, D. A. Stem morphology and anatomy in *Amaranthus L.* (Amaranthaceae), taxonomic significance. **Journal of the Torrey Botanical Society**, Lawrence, v. 128, n. 3, p. 254-281, 2001.

D'IMPERIO, M. et al. Silicon biofortification of leafy vegetables and its bioaccessibility in the edible parts. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 96, n. 3, p. 751-756, 2016.

DANTAS JÚNIOR, E. E. et al. Silicate fertilizer and irrigation depth in corn production. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 60, n. 4, p. 563-568, 2013.

DAYANANDAN, P.; KAUFMAN, P. B.; FRANKLIN, C. I. Detection of silica in plants. **American Journal of Botany**, Saint Louis, v. 70, n. 7, p. 1079-1084, 1983.

DESHMUKH, R. K. et al. Identification and functional characterization of silicon transporters in soybean using comparative genomics of major intrinsic proteins in *Arabidopsis* and rice. **Plant Molecular Biology**, Zurich, v. 83, n. 4/5, p. 303-315, 2013.

EL, S. N.; KARAKAYA, S. Radical scavenging and iron-chelating activities of some greens used as traditional dishes in Mediterranean diet. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, Parma, v. 55, n. 1, p. 67-74, 2004.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 91, n. 1, p. 11-17, 1994.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Biology**, Danvers, v. 50, p. 641-664, 1999.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Planta, 2006.

- ERDMAN, M. D.; ERDMAN, B. A. Arrowroot (Maranta-Arundinacea), food, feed, fuel, and fiber resource. **Economic Botany**, New York, v. 38, n. 3, p. 332-341, 1984.
- FAVELL, D. J. A comparison of the vitamin C content of fresh and frozen vegetables. **Food Chemistry**, London, v. 62, n. 1, p. 59-64, 1998.
- FENG, J. et al. Silicon supplementation ameliorated the inhibition of photosynthesis and nitrate metabolism by cadmium (Cd) toxicity in *Cucumis sativus* L. **Scientia Horticulturae**, Ottawa, v. 123, n. 4, p. 521-530, 2010.
- FIGUEIREDO, F. C. et al. Leaf spraying and fertirrigation with silicon on the physicochemical attributes of quality and coloration indices of strawberry. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 5, p. 1306-1311, set./out. 2010.
- GALATI, V. C. et al. Silicon, in hydroponics, in postharvest American 'Lucy Brown' lettuce minimally processed. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 11, p. 1932-1938, 2015.
- GAO, X. et al. Silicon improves water use efficiency in maize plants. **Journal of Plant Nutrition**, Georgia, v. 27, n. 8, p. 1457-1470, 2005.
- GERRERO, A. C.; BORGES, L. S.; FERNANDES, D. M. Effect of foliar application of silicon in rocket grown in two types of soil. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 4, p. 591-596, 2011.
- GOMAA, N. H. et al. Allelopathic effects of *Sonchus oleraceus* L. on the germination and seedling growth of crop and weed species. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 28, n. 3, p. 408-416, 2014.
- GUARRERA, P. M.; SAVO, V. Perceived health properties of wild and cultivated food plants in local and popular traditions of Italy: a review. **Journal of Ethnopharmacology**, Pretoria, v. 146, n. 3, p. 659-680, 2013.
- GUIFANG, X. Study on purified efficiency of phosphorus and nitrogen from eutrophicated landscape water by four floating ornamental plants. **Chinese Agricultural Science Bulletin**, Beijing, v. 7, p. 67-73, 2010.
- GUIL-GUERRERO, J. L. et al. Nutritional composition of *Sonchus* species (*S. asper* L, *S. oleraceus* L and *S. tenerrimus* L). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 76, n. 4, p. 628-632, 1998.
- HARMAYANI, E.; KUMALASARI, I.; MARSONO, Y. Effect of arrowroot (*Maranta arundinacea* L.) diet on the selected bacterial population and chemical properties of caecal digesta of Sprague Dawley rats. **International Research Journals Microbiol**, Istanbul, v. 2, n. 7, p. 278-284, 2011.
- HODSON, M. J. et al. Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. **Annals of Botany**, London, v. 96, n. 6, p. 1027-1046, 2005.

HUSSAIN, I. et al. Exogenous application of silicon at the boot stage decreases accumulation of cadmium in wheat (*Triticum aestivum* L.) grains. **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo, v. 38, n. 2, p. 223-234, 2015.

HUYAN, T. et al. Anti-tumor effect of hot aqueous extracts from *Sonchus oleraceus* (L.) L. and *Juniperus sabina* L.: two traditional medicinal plants in China. **Journal of Ethnopharmacology**, Pretoria, v. 185, p. 289-299, June 2016.

JAWAHAR, S.; VAIYAPURI, V. Effect of sulphur and silicon fertilization on yield, nutrient uptake and economics of rice. **International Research Journal Chemistry**, Saviano, v. 3, n. 1, p. 35-43, 2013.

JONES, L.; HANDRECK, K. Silica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, Newark, v. 19, p. 107-149, 1967.

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, Newark, v. 19, p. 107-149, 1967.

JONGRUK, C. et al. Effect of application of chemical fertilizer in combination with silicon on yield and nutrient uptake of rice in an acid sulfate soils. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 17., 2002, Bangkok. **Proceedings...** Bangkok, 2002. p. 14-21.

KAMENIDOU, S.; CAVINS, T. J.; MAREK, S. Evaluation of silicon as a nutritional supplement for greenhouse zinnia production. **Scientia Horticulturae**, Ottawa, v. 119, n. 3, p. 297-301, 2009.

KIM, S. G. et al. Silicon-induced cell wall fortification of rice leaves: a possible cellular mechanism of enhanced host resistance to blast. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 92, n. 10, p. 1095-1103, 2002.

KINUPP, V. F. **Plantas alimentícias não-convencionais da região metropolitana de Porto Alegre, RS**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2007.

KLEIBER, T.; CALOMME, M.; BOROWIAK, K. The effect of choline-stabilized orthosilicic acid on microelements and silicon concentration, photosynthesis activity and yield of tomato grown under Mn stress. **Plant Physiology Biochemistry**, Bari, v. 96, n. 7, p. 180-188, 2015.

KORNDÖRFER, G. H.; LEPSCH, I. Chapter 7 effect of silicon on plant growth and crop yield. **Studies in Plant Science**, Amsterdam, v. 8, p. 133-147, 2001.

KORNDÖRFER, G. H.; OLIVEIRA, L. A. Uso do silício em culturas comerciais. In: RODRIGUES, F. A. (Ed.). **Silício na agricultura**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2010. p. 3-25.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, 2004. 34 p. (Boletim Técnico, 2).

KRISHNAMURTHY, G. et al. Antihyperglycemic and hypolipidemic activity of methanolic extract of *Amaranthus viridis* leaves in experimental diabetes. **Indian Journal of Pharmacology**, Chandigarh, v. 43, n. 4, p. 450-454, 2011.

- KUAI, J. et al. Root-applied silicon in the early bud stage increases the rapeseed yield and optimizes the mechanical harvesting characteristics. **Field Crops Research**, Aberdeenshire, v. 200, n. 2, p. 88-97, 2017.
- KULP, K. S. et al. Essiac® and Flor-Essence® herbal tonics stimulate the in vitro growth of human breast cancer cells. **Breast Cancer Research and Treatment**, Miami, v. 98, n. 3, p. 249-259, 2006.
- KUMALASARI, I. D. et al. Evaluation of immunostimulatory effect of the arrowroot (*Maranta arundinacea*. L) in vitro and in vivo. **Cytotechnology**, Lawrenceville, v. 64, n. 2, p. 131-137, Mar. 2012.
- KUMAR, B. S. A. et al. Antidiabetic, antihyperlipidemic and antioxidant activities of methanolic extract of *Amaranthus viridis* Linn in alloxan induced diabetic rats. **Experimental and Toxicologic Pathology**, Berlin, v. 64, n. 1/2, p. 75-79, 2012.
- LEE, J. R. et al. Characterization of microsatellite loci developed for *Amaranthus hypochondriacus* and their cross-amplifications in wild species. **Conservation Genetics**, Cardiff, v. 9, n. 1, p. 243-246, 2008.
- LEE, N. J. et al. Antimutagenicity and cytotoxicity of the constituents from the aerial parts of *Rumex acetosa*. **Biological and Pharmaceutical Bulletin**, Tokyo, v. 28, n. 11, p. 2158-2161, 2005.
- LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Physicochemical characterization of some starchy tubers. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 65-69, 2002.
- LETERME, P. et al. Mineral content of tropical fruits and unconventional foods of the Andes and the rain forest of Colombia. **Food Chemistry**, London, v. 95, n. 4, p. 644-652, 2006.
- LI, Q. et al. The anti-inflammatory effect of *Sonchus oleraceus* aqueous extract on lipopolysaccharide stimulated RAW 264.7 cells and mice. **Pharmaceutical Biology**, Brooklyn, v. 55, n. 1, p. 799-809, 2017.
- LIANG, Y. et al. **Silicon in agriculture: from theory to practice**. 2015. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84943239224&partnerID=40&md5=31bca0d03709ce75824aa1e20f1519d6>>. Acesso em: 13 abr. 2017.
- LIMA FILHO, O. F. de. Aspectos gerais sobre o silício em solos, plantas e animais. In: RODRIGUES, F. A. (Ed.). **Silício na agricultura**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2010. p. 47-60.
- LINDSAY, W. L. **Chemical equilibria in soils**. New York: J. Wiley, 1979.
- LIU, L. X. et al. Fatty acid profiles of leaves of nine edible wild plants: an Australian study. **Journal of Food Lipids**, Medford, v. 9, n. 1, p. 65-71, 2002.

- LU, H. P. et al. Influences of calcium silicate on chemical forms and subcellular distribution of cadmium in *Amaranthus hypochondriacus* L. **Scientific Reports**, London, v. 7, n. 11, Jan. 2017. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/srep40583>>. Acesso em: 15 abr. 2017.
- MA, J. F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 50, n. 1, p. 11-18, 2004.
- MA, J. F.; TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan**. New York: Elsevier, 2002.
- MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends Plant Science**, Cambridge, v. 11, n. 8, p. 392-397, 2006.
- MADINENI, M. N. et al. Morphological, structural, and functional properties of maranta (*Maranta arundinacea* L) starch. **Food Science and Biotechnology**, New York, v. 21, n. 3, p. 747-752, 2012.
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo: Ceres, 1981.
- MATYCHENKOV, V.; PINSKIY, D.; BOCHARNIKOVA, Y. A. Influence of mechanical compaction of soils on the state and form of available silicon. **Eurasian Soil Science**, Moscow, v. 27, n. 12, p. 58-67, 1995.
- MAUNDU, P.; ACHIGAN-DAKO, E.; MORIMOTO, Y. Biodiversity of African vegetables. In: CHARLIE, M. S.; MARGARET, W. P.; AXEL, W. D. (Ed.). **African indigenous vegetables in urban agriculture**. London: Earthscan, 2009. p. 65-104.
- MAWALAGEDERA, S. et al. Effects of boiling and in vitro gastrointestinal digestion on the antioxidant activity of *Sonchus oleraceus* leaves. **Food & Function**, Burlington, v. 7, n. 3, p. 1515-1522, 2016.
- MCDOWELL, A. et al. Antioxidant activity of Puhā (*Sonchus oleraceus* L.) as assessed by the Cellular Antioxidant Activity (CAA) assay. **Phytotherapy Research**, Kingdom, v. 25, n. 12, p. 1876-1882, 2011.
- MIHALIČOVÁ MALČOVSKÁ, S. et al. Effect of silicon on growth, photosynthesis, oxidative status and phenolic compounds of maize (*Zea mays* L.) grown in cadmium excess. **Water, Air, & Soil Pollution**, Ottawa, v. 225, n. 8, p. 2056-2014.
- MIRZA, M.; BAHER, Z. F. Essential Oil of *Stachys lanata* Jacq from Iran. **Journal of Essential Oil Research**, Messina, v. 15, n. 1, p. 46-47, 2003.
- MITANI, N. et al. Isolation and functional characterization of an influx silicon transporter in two pumpkin cultivars contrasting in silicon accumulation. **Plant Journal**, Colchester, v. 66, n. 2, p. 231-40, 2011.
- MITANI, N.; MA, J. F. Uptake system of silicon in different plant species. **Journal of Experimental Botany**, Medford, v. 56, n. 414, p. 1255-1261, 2005.

- MONTEIRO, D.; PERESSIN, V.; CEREDA, M. Cultura da araruta. **Agricultura: Tuberosas Amiláceas Latino Americanas**, São Paulo, v. 2, p. 440-447, 2002.
- MOSYAKIN, S. L.; ROBERTSON, K. R. New infrageneric taxa and combinations in *Amaranthus* (Amaranthaceae). **Annales Botanici Fennici**, Richmond, v. 33, n. 4, p. 275-281, 1996.
- MOTA, C. et al. The effect of cooking methods on the mineral content of quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus* sp.) and buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 49, n. 10, p. 57-64, June 2016.
- MURATA, T. et al. Iridoid glycoside constituents of *Stachys lanata*. **Journal of Natural Products**, Columbus, v. 71, n. 10, p. 1768-1770, 2008.
- NAGHIBI, F. et al. Labiatae family in folk medicine in Iran: from ethnobotany to pharmacology. **Iranian Journal of Pharmaceutical Research**, Tehran, v. 4, n. 2, p. 63-79, 2010.
- NEHAL, N.; MANN, S.; GUPTA, R. K. Nutritional and phytochemical evaluation of *A. lividus* L. syn. *Amaranthus blitum* subsp. *oleraceus* (L.) Costea leaves. **Indian Journal of Traditional Knowledge**, New Delhi, v. 15, n. 4, p. 669-674, 2016.
- NEVES, M. C. P.; COELHO, I. S.; ALMEIDA, D. L. **Araruta**: resgate de um cultivo tradicional. Seropédica: EMBRAPA, 2005. 4 p. (EMBRAPA Comunicado Técnico, 79).
- NWUGO, C. C.; HUERTA, A. J. Effects of silicon nutrition on cadmium uptake, growth and photosynthesis of rice plants exposed to low-level cadmium. **Plant and Soil**, The Hague, v. 311, n. 1, p. 73-86, 2008.
- ODEKU, O. A. Potentials of tropical starches as pharmaceutical excipients: a review. **Starch - Stärke**, Weinheim, v. 65, n. 1/2, p. 89-106, 2013.
- ODHAV, B. et al. Preliminary assessment of nutritional value of traditional leafy vegetables in KwaZulu-Natal, South Africa. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 20, n. 5, p. 430-435, 2007.
- OLIVEIRA, D. D. D. et al. Mineral composition and ascorbic acid content in four non-conventional leafy vegetables species. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, n. 3, p. 472-475, 2013.
- OSSANI, P. C.; CIRILLO, M. A. **MVar.pt**: análise multivariada. R Package Version 1.9.6. 2017. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/MVar.pt/index.html>>. Acesso em: 10 mar. 2017.
- PATI, S. et al. Effect of silicon fertilization on growth, yield, and nutrient uptake of rice. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Georgia, v. 47, n. 3, p. 284-290, Feb. 2016.

PEREIRA, H.; VITTI, G.; KORNDORFER, G. Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 101-108, 2003.

PILON, C.; SORATTO, R. P.; MORENO, L. A. Effects of soil and foliar application of soluble silicon on mineral nutrition, gas exchange, and growth of potato plants. **Crop Science**, Madison, v. 53, n. 4, p. 1605-1614, 2013.

PIOZZI, F.; SAVONA, G.; HANSON, J. R. Kaurenoid diterpenes from *Stachys lanata*. **Phytochemistry**, Saint Paul, v. 19, n. 6, p. 1237-1238, 1980.

PIRIYAPRASARTH, S. et al. Evaluation of Yam (*Dioscorea* sp.) Starch and Arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch as suspending agent in suspension. In: SUTTIRUENGWONG, S.; SRICHARUSSIN, W. (Ed.). **Functionalized and sensing materials**. Zurich: Softcover, 2010. p. 362-365. (Advanced Materials Research).

PORTEKA, B. et al. Selective protective effect of antioxidant-rich *rumex acetosa* extracts. **Revista de Chimie**, Bucuresti, v. 67, n. 5, p. 833-837, 2016.

POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; BOTELHO, D. M. dos S. Silicon in plant disease control. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 62, n. 3, p. 323-331, 2015.

PRADHAN, S.; MANIVANNAN, S.; TAMANG, J. P. Proximate, mineral composition and antioxidant properties of some wild leafy vegetables. **Journal of Scientific & Industrial Research**, New Delhi, v. 74, n. 3, p. 155-159, 2015.

PRATT, D. B.; CLARK, L. G. *Amaranthus rudis* and *A. tuberculatus*, one species or two? **The Journal of the Torrey Botanical Society**, Lawrence, v. 128, n. 3, p. 282-296, 2001.

QINGFANG, L.; CHENGCANG, M. Effect of available silicon in soil on cucumber seed germination and seedling growth metabolism. **Acta Horticulturae Sinica**, Beijing, v. 29, n. 5, p. 433-437, 2002.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2016. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 10 out. 2016.

RAJA, M. K. C.; SINDHU, P. Properties of steam-treated arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch. **Starch - Starke**, Weinheim, v. 52, n. 12, p. 471-476, 2000.

RAY, T.; ROY, S. C. Genetic diversity of *Amaranthus* species from the Indo-Gangetic plains revealed by RAPD analysis leading to the development of ecotype-specific SCAR marker. **Journal of Heredity**, Texas, v. 100, n. 3, p. 338-347, 2009.

RIZWAN, M. et al. Effect of silicon on reducing cadmium toxicity in durum wheat (*Triticum turgidum* L. cv. Claudio W.) grown in a soil with aged contamination. **Journal of Hazardous Materials**, New York, v. 209/210, p. 326-334, 2012.

- RODRIGUES, F. Á. et al. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: a potential mechanism for blast resistance. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 94, n. 2, p. 177-183, 2004.
- SAAD, E. D. et al. Inibidores da aromatase no câncer de mama: da doença metastática ao tratamento adjuvante. **Revista Brasileira de Cancerologia**, São Paulo, v. 48, n. 4, p. 555-557, 2002.
- SAEEDI, M. et al. Antimicrobial studies on extracts of four species of stachys. **Indian Journal of Pharmaceutical Sciences**, Bengaluru, v. 70, n. 3, p. 403-429, 2008.
- SALMAKI, Y. et al. A taxonomic revision of the genus *Stachys* (Lamiaceae: Lamioideae) in Iran. **Botanical Journal of the Linnean Society**, Malden, v. 170, n. 4, p. 573-617, 2012.
- SALVAMANI, S. et al. Anti-HMG-CoA reductase, antioxidant, and anti-inflammatory activities of *Amaranthus viridis* leaf extract as a potential treatment for hypercholesterolemia. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, Cairo, v. 16, p. 809-841, 2016.
- SAMARTINI, C. Q. **Conteúdo de DNA, número cromossômico e alguns compostos de interesse nutricional em *amaranthus* spp.** Lavras: Ed. UFLA, 2015.
- SANCHEZ-DEL PINO, I.; PRATT, D.; FLORES-OLVERA, H. A new species of *Amaranthus* (Amaranthaceae) from Mexico. **Phytotaxa**, Auckland, v. 291, n. 3, p. 201-208, 2017.
- SANTOS, H. G. dos et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013.
- SANTOS, M. C. dos et al. Effect of silicon on the morphology of the midgut and mandible of tomato leafminer *tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) larvae. **Invertebrate Survival Journal**, Modena, v. 12, p. 158-165, 2015.
- SARIKURKCU, C. et al. Potential sources for the management global health problems and oxidative stress: *stachys byzantina* and *S. iberica* subsp *iberica* var. *densipilosa*. **European Journal of Integrative Medicine**, London, v. 8, n. 5, p. 631-637, 2016.
- SATTAR, A. et al. Silicon mediates the changes in water relations, photosynthetic pigments, enzymatic antioxidants activity and nutrient uptake in maize seedling under salt stress. **Grassland Science**, Medford, v. 62, n. 4, p. 262-269, 2016.
- SAVANT, N. K.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Depletion of plant-available silicon in soils: a possible cause of declining rice yields. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Georgia, v. 28, n. 13/14, p. 1245-1252, 1997.
- SÁVIO, F. L. et al. Biomass production and silicon content in forages under different sources of silicate. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 103-110, 2011.

SHABAN, N. Z. et al. Potential effect of *Olea europea* leaves, *Sonchus oleraceus* leaves and *Mangifera indica* peel extracts on aromatase activity in human placental microsomes and CYP19A1 expression in MCF-7 cell line: comparative study. **Cellular and Molecular Biology**, Poitiers, v. 62, n. 9, p. 11-19, 2016.

SILVA, E. C. da et al. Characterization of two types of azedinha in the region of Sete Lagoas, Brazil. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, n. 2, p. 328-331, 2013.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2009.

SILVA, L. F. L. **Hortaliças não convencionais: quantificação do DNA, contagem cromossômica, caracterização nutricional e fitotécnica**. Lavras: Ed. UFLA, 2015.

SILVA, M. L. de S. et al. Influence of silicon on production and fruit quality of strawberry. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 3411-3424, 2013. Supplement 1.

SINGH, A.; SINGH, R.; SINGH, K. Growth, yield and economics of rice (*Oryza sativa*) as influenced by level and time of silicon application. **Indian Journal of Agronomy**, New Delhi, v. 50, n. 3, p. 190-193, 2005.

SOMMER, M. et al. Silicon pools and fluxes in soils and landscapes: a review. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science-Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde**, Landau, v. 169, n. 3, p. 310-329, 2006.

SORATTO, R. P. et al. Yield, tuber quality, and disease incidence on potato crop as affected by silicon leaf application. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 7, p. 1000-1006, jul. 2012.

SUBRAMANIAN, S.; GOPALSWAMY, A. Influence of silicate and phosphate materials on availability and uptake of silicon and phosphorus in acid soil. **Oryza**, Madurai, v. 27, n. 3, p. 267-273, 1990.

TAKAHASHI, E.; MA, J. F.; MIYAKE, Y. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. **Comments on Agricultural and Food Chemistry**, Durham, v. 2, n. 2, p. 99-102, 1990.

TAVAKKOLI, E.; ENGLISH, P.; GUPPY, C. N. Interaction of Silicon and Phosphorus mitigate manganese toxicity in rice in a highly weathered soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Georgia, v. 42, n. 5, p. 503-513, 2011.

TRUCCO, F.; TRANEL, P. J. *Amaranthus*. In: _____. **Wild crop relatives: genomic and breeding resources**. New York: Springer, 2011. p. 11-21.

TUNDIS, R.; PERUZZI, L.; MENICHINI, F. Phytochemical and biological studies of *Stachys* species in relation to chemotaxonomy: a review. **Phytochemistry**, Nantes, v. 102, p. 7-39, 2014.

VALENCIA, G. A. et al. Physicochemical properties of maranta (*Maranta arundinacea* L.) Starch. **International Journal of Food Properties**, Muscat, v. 18, n. 9, p. 1990-2001, 2015.

- VIANA, M. M. S. et al. Phytochemical composition and antioxidant potential of unconventional vegetables. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, n. 4, p. 504-509, 2015.
- VIEIRA, B.; BARRETO, R. First record of *Bremia lactucae* infecting *Sonchus oleraceus* and *Sonchus asper* in Brazil and its infectivity to lettuce. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 154, n. 2, p. 84-87, 2006.
- VILELA, F. C. et al. Evaluation of the antinociceptive activity of extracts of *Sonchus oleraceus* L. in mice. **Journal of Ethnopharmacology**, Pretoria, v. 124, n. 2, p. 306-310, 2009.
- WANG, M.; WANG, X. D.; WANG, J. J. Effect of silicon application on silicon contents in "Fuji" Apple in Loess Plateau. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Georgia, v. 47, n. 20, p. 2325-2333, 2016.
- WEGIERA, M. et al. Antimicrobial activity of the extracts from fruits of *Rumex* L. species. **Central European Journal of Biology**, London, v. 6, n. 6, p. 1036-1043, 2011.
- WORLD GASTROENTEROLOGY ORGANISATION. **Celiac disease**: global guidelines. 2012. Disponível em: <<http://www.worldgastroenterology.org/ceeliac-disease.html>>. Acesso em: 17 fev. 2017.
- XIA, D. Z. et al. Antioxidant and antibacterial activity of six edible wild plants (*Sonchus* spp.) in China. **Natural Product Research**, Roma, v. 25, n. 20, p. 1893-1901, 2011.
- XU, H. W.; LU, Y.; XIE, Z. M. Effects of silicon on maize photosynthesis and grain yield in black soils. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, Abu Dhabi, v. 28, n. 11, p. 779-785, 2016.
- YAMAJI, N.; MA, J. F. Spatial distribution and temporal variation of the rice silicon transporter *Lsi1*. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 143, n. 3, p. 1306-1313, 2007.
- YIN, J. et al. Antioxidant activity of fractions from 70% methanolic extract of *Sonchus oleraceus* L. **Food Science and Biotechnology**, New York, v. 17, n. 6, p. 1299-1304, 2008.
- ZANÃO JÚNIOR, L. A. et al. Rose production affected by silicon rates applied to substrate. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 6, p. 1611-1619, 2013.
- ZHOU, X. H.; WANG, G. X.; YANG, F. Nitrogen removal from eutrophic river waters by using *Rumex acetosa* cultivated in ecological floating beds. **Fresenius Environmental Bulletin**, Freising, v. 21, n. 7A, p. 1920-1928, 2012.
- ZUCCARINI, P. Effects of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of *Phaseolus vulgaris* under NaCl stress. **Biologia Plantarum**, Copenhagen, v. 52, n. 1, p. 157-160, 2008.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Análise de variância para teor de silício (TSi), massa fresca (MF) e massa seca (MS) em espécies de hortaliças não convencionais submetidas a duas doses de adubação silicatada.

Fontes de variação	GL	TSi ¹	MF ²	MS ³
		-----Quadrados médios-----		
Espécies	8	25,43*	6864,71*	72,44*
DSi	1	21,97*	80,10 ^{ns}	1,04 ^{ns}
E x DSi	8	0,78*	173,46*	4,98*
Resíduo	36	0,18	53,14	1,57
CV		11,37	12,51	15,48
Médias		3,82	58,27	8,10

GL: Graus de liberdade; E: Espécies; DSi: Doses de silício; ^{ns}, *, Não significativo e significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F (P<0,05); ¹ g kg⁻¹; ^{2,3} g.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

APÊNDICE B - Resumo da análise de variância para teor de silício (TSi), acúmulo de silício (ASi) e eficiência de absorção de silício (EASi) em espécies de hortaliças não convencionais submetidas a diferentes doses de silício.

Fontes de variação	GL	TSi ¹	ASi ²	EASi ³	GL ³
		-----Quadrados médios-----			
Espécie	3	8,78*	4663,41*	757,57*	3
Doses de Si	4	6,24*	1879,04*	1266,83*	3
E x DSi	12	0,44*	235,86*	284,62*	9
Resíduo	60	0,02	15,30	6,87	48
CV		3,56	4,87	21,19	
Médias Gerais		4,01	80,26	12,37	

* Significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F (P<0,05)

¹ g kg⁻¹; ² mg vaso⁻¹; ³%; GL³ - Grau de liberdade para eficiência de absorção.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

APÊNDICE C - Resumo da análise de variância do desdobramento das espécies dentro de cada dose de silício referente a teor de silício (TSi), acúmulo de silício (ASi) e eficiência de absorção do silício aplicado (EASi) em espécies de hortaliças não convencionais, em função da aplicação de silício.

Fontes de variação	GL	TSi ¹	ASi ²	EASi ³	GL ³
		-----Quadrados médios-----			
Espécie: 0	3	1,75*	1224,14*		
Espécie: 25	3	2,23*	1116,72*	1171,69*	3
Espécie: 50	3	0,60*	1041,66*	418,86*	3
Espécie: 100	3	2,12*	1116,81*	14,53	3
Espécie: 150	3	3,83*	1107,55*	6,35	3
Resíduo	60	0,02	15,30	6,87	48
CV		3,56	4,87	21,19	
Média		4,01	80,26	12,37	

* Significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F (P<0,05)

¹ g kg⁻¹; ² mg vaso⁻¹; ³%; GL³ - Grau de liberdade para eficiência de absorção.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

APÊNDICE D - Resumo da análise de variância do desdobramento das doses de silício dentro de cada espécie, referente a teor de silício (TSi), acúmulo de silício (ASi) e eficiência de absorção do Si aplicado (EASi) em espécies de hortaliças não convencionais, em função da aplicação de silício.

Fontes de variação	GL	TSi ¹	ASi ²	EASi ³	GL ³
		-----Quadrados médios-----			
Doses de Si: azedinha	4	0,86*	921,75*	1304,89*	3
Doses de Si: caruru	4	3,20*	1070,76*	623,66*	3
Doses de Si: peixinho	4	1,92*	435,34*	156,91*	3
Doses de Si: serralha	4	1,56*	158,78*	35,23*	3
Resíduo	60	0,02	15,31	6,87	48
CV		3,56	4,87	21,19	
Média		4,02	80,26	12,37	

* Significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F (P<0,05)

¹ g kg⁻¹; ² mg vaso⁻¹; ³%; GL³ - Grau de liberdade para eficiência de absorção.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).