



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
SERTÃO PERNAMBUCANO
CAMPUS PETROLINA ZONA RURAL

CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

**APLICAÇÃO FOLIAR DE SILÍCIO EM VIDEIRA 'ARRA SWEETIES'
EM PETROLINA-PE**

ELSON MENDES DURAES JUNIOR

PETROLINA – PE
2025

ELSON MENDES DURAES JUNIOR

**APLICAÇÃO FOLIAR DE SILÍCIO EM VIDEIRA 'ARRA SWEETIES'
EM PETROLINA-PE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao IFSertãoPE *Campus*
Petrolina Zona Rural, exigido para a obtenção
do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Ma. Ana Rita Leandro dos Santos

PETROLINA – PE
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

D948 Duraes Junior, Elson Mendes.

Aplicação foliar de silício em videira 'ARRA Sweeties' em Petrolina-PE / Elson Mendes Duraes Junior. - Petrolina, 2025.
49 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) -Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina Zona Rural, 2025.

Orientação: Profª. Msc. Ana Rita Leandro dos Santos.

1. Ciências Agrárias. 2. Mitigação de estresses. 3. Elemento benéfico. 4. Adubação foliar. 5. Uva de mesa. I. Título.

CDD 630

ELSON MENDES DURAES JUNIOR

APLICAÇÃO FOLIAR DE SILÍCIO EM VIDEIRA 'ARRA SWEETIES' EM PETROLINA-PE

Trabalho de Conclusão do Curso
apresentado ao IFSertãoPE *Campus*
Petrolina Zona Rural, exigido para a
obtenção de título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovada em: 20 de Dezembro de 2024.

Ana Rita Leandro dos
Santos:25935682591

Assinado de forma digital por Ana
Rita Leandro dos
Santos:25935682591
Dados: 2024.12.23 21:58:36 -03'00'

Prof^a. Mestre Ana Rita Leandro dos Santos (Orientador)
IFSertãoPE – *Campus* Petrolina Zona Rural

Documento assinado digitalmente



RAPHAEL REIS DA SILVA
Data: 24/12/2024 14:49:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Doutor Raphael Reis da Silva (2º Examinador)
CCA - UNIVASF

Luciana Souza
de Oliveira

Assinado de forma digital por
Luciana Souza de Oliveira
Dados: 2024.12.30 18:50:43 -03'00'

Prof^a Doutora Luciana Souza de Oliveira (3º Examinador)
IFSertãoPE - *Campus* Petrolina Zona Rural

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, que me guiou, deu forças e permitiu que tudo acontecesse no seu tempo.

A minha família, que não mediu esforços para me ajudar na realização dos meus objetivos e sonhos, dia após dia.

A minha orientadora professora Ana Rita Leandro dos Santos, por me orientar durante o curso e durante todo o trabalho, agradeço a ajuda, apoio, incentivo e por todos os ensinamentos.

Agradeço ao Doutor Raphael Reis da Silva e à Professora Doutora Luciana Souza de Oliveira por gentilmente aceitarem o convite para compor a banca avaliadora do meu Trabalho de Conclusão de Curso. Obrigado por enriquecerem este momento tão importante com suas valiosas perspectivas.

A minha amiga Daniela Ferreira pela parceria e dedicação ao longo de todo o processo de desenvolvimento deste trabalho. Sua ajuda foi indispensável, tanto nas atividades de campo, com a coleta e organização dos dados, quanto na etapa de redação, com revisões e sugestões valiosas. Muito obrigado por todo o apoio e amizade nessa jornada.

Ao Grupo de Estudos sobre Ecofisiologia e Estresse de Plantas (GEESP), e todos quantos fazem parte dele, no qual sou integrante e que foi decisivo no meu crescimento acadêmico, pessoal e profissional.

Às empresas Andermatt e Focus Agronegócios, representadas pelas pessoas de Danilo Silva e Rafael Veras, meu sincero agradecimento pelo apoio concedido a este projeto.

A meu amigo Guilherme Santiago pelo apoio durante o desenvolvimento da pesquisa de campo.

A Lubarino Consultoria & Assessoria, na pessoa do consultor Jandielton Lubarino, meu respeito, admiração e agradecimento pela confiança depositada.

A Fazenda Galdino e a todos da sua equipe, pela disposição de nos receber e confiar e colaborar no nosso trabalho, sem medir esforços.

Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano – Campus Petrolina Zona Rural, pela estrutura de laboratórios periodicamente utilizada e pelo suporte durante minha formação acadêmica.

Por fim, agradeço a todos aqueles que me ajudaram de forma direta ou indireta.

Entreguem todas as suas preocupações a Deus, pois ele cuida de vocês.

(Bíblia Sagrada - 1 Pedro 5:7)

RESUMO

O Vale do São Francisco (VSF) contribui com, aproximadamente, 28,10% da produção nacional de uvas e é a principal região exportadora do Brasil, responsável por 90% das exportações. Esse sucesso se deve ao clima favorável e à agricultura irrigada, permitindo a colheita de 2,5 safras por ano. No entanto, ao longo do seu ciclo de vida, essas plantas estão susceptíveis a fatores de estresses bióticos e abióticos que podem prejudicar de forma significativa a qualidade das uvas produzidas; portanto, faz-se necessário a adoção de estratégias de manejo que auxiliem as plantas a enfrentar essas situações adversas. O silício (Si) é um elemento benéfico para as culturas, ajudando a mitigar esses estresses ao fortalecer o sistema de defesa das plantas. Dessa forma, avaliou-se a eficiência da aplicação foliar de diferentes doses de silício na fisiologia da planta, com reflexos na produtividade e qualidade dos frutos de videiras cultivar 'ARRA Sweeties'. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 5 tratamentos e 10 repetições. Entre os tratamentos foi adotada uma bordadura com duas plantas e entre os blocos a bordadura foi uma linha de cultivo. Os tratamentos utilizados foram: controle (T1) - sem nenhuma fonte de silício; 750 g ha⁻¹ de terra de diatomáceas (TD) (T2); e tratamentos com 100, 200 e 300 mL ha⁻¹ de ácido monossilícico (AM), T3, T4 e T5, respectivamente. Analisou-se os seguintes parâmetros: área foliar (AF), quantificação dos teores de clorofila *a*, *b* e total (*a+b*), quantificação e atividade das enzimas antioxidantes e radicais livres, a saber: proteínas totais, peróxido de hidrogênio, superóxido dismutase, catalase e peroxidase, além de variáveis pós-colheita, como massa fresca e comprimento de cacho, massa fresca e comprimento de engajo, sólidos solúveis (SS) (°Brix), acidez titulável (AT), porcentagem degranada de bagas do cacho e produtividade. Observou-se que aplicação de Si proporcionou incremento significativo da área foliar das plantas, tanto para a dose de 750g de terra de diatomáceas (T2), como nas doses crescentes de ácido monossilícico. Os pigmentos fotossintéticos foram expressivamente alterados mediante as aplicações de Si, e o nível de resposta foi influenciado pela fase da videira. Os parâmetros pós-colheita massa fresca e comprimento de cacho, comprimento de engajo e ratio (SS/AT) apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Taxa de degrana, massa fresca de engajo, SS e AT não apresentaram diferença estatística. Não houve diferença significativa para as variáveis proteínas totais, peróxido de hidrogênio e enzima catalase. As enzimas superóxido dismutase e peroxidase diferiram estatisticamente ($p < 0,05$) entre os tratamentos avaliados. A aplicação de silício influenciou significativamente a produtividade, com destaque para os tratamentos T2 (750g/ha TD) e T4 (200 mL/ha AM), com incremento de 25% e 15%, respectivamente. Portanto, a utilização de fontes de Si mostrou potencial na mitigação de estresses oxidativos e no rendimento médio e qualidade dos frutos.

Palavras-chave – ERO; mitigação de estresses; elemento benéfico; adubação foliar; uva de mesa.

ABSTRACT

The São Francisco Valley (SFV) accounts for approximately 28.10% of Brazil's grape production and is the country's leading export region, responsible for 90% of grape exports. This success is attributed to favorable climatic conditions and irrigated agriculture, enabling 2.5 harvests per year. However, throughout their life cycle, these plants are susceptible to biotic and abiotic stress factors that can significantly affect the quality of the grapes produced. Therefore, the adoption of management strategies that help plants cope with these adverse conditions is necessary. Silicon (Si) is a beneficial element for crops, helping to mitigate these stresses by enhancing plant defense systems. Thus, this study evaluated the efficiency of foliar application of different Si doses on plant physiology, with effects on the productivity and quality of 'ARRA Sweeties' grapevines. The experiment was conducted in a randomized block design with five treatments and ten replications. A border consisting of two plants was placed between treatments, while a cultivation row served as a border between blocks. The treatments included a control (T1) with no silicon source, 750 g ha⁻¹ of diatomaceous earth (DE) (T2), and applications of monosilicic acid (MA) at doses of 100, 200, and 300 mL ha⁻¹ (T3, T4, and T5, respectively). The following parameters were analyzed: leaf area (LA), chlorophyll a, b, and total (a+b) content, quantification and activity of antioxidant enzymes and free radicals (total proteins, hydrogen peroxide, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase), and post-harvest variables such as fresh mass and cluster length, rachis fresh mass and length, total soluble solids (TSS) (°Brix), total titratable acidity (TTA), berry shattering percentage, and productivity. Si application significantly increased leaf area in plants treated with 750 g of DE (T2) and those subjected to increasing doses of MA. Photosynthetic pigments were markedly influenced by Si applications, with response levels varying according to the vine's phenological stage. Post-harvest parameters, such as fresh mass and cluster length, rachis length, and TSS/TTA ratio, showed significant differences among treatments. Berry shattering percentage, rachis fresh mass, TSS, and TTA did not exhibit statistical differences. No significant differences were found in total proteins, hydrogen peroxide, and catalase enzyme levels. However, superoxide dismutase and peroxidase enzymes differed significantly ($p < 0.05$) among treatments. Si application significantly affected productivity, with T2 (750 g ha⁻¹ DE) and T4 (200 mL ha⁻¹ MA) showing increases of 25% and 15%, respectively. Therefore, Si sources demonstrated potential in mitigating oxidative stresses, improving average yield and fruit quality.

Keywords – ROS; stress mitigation; beneficial element; foliar fertilization; table grapes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Dados climáticos para o período analisado: a) radiação solar global (MJ/cm ²) e temperatura do ar (°C); b) precipitação pluviométrica (mm) e umidade relativa do ar (%).	22
Figura 2 - Croqui do delineamento experimental.....	23
Figura 3 - Representação das fases fenológicas de plantas de videira utilizadas no estudo para aplicação de pulverizações.	24
Figura 4 - Preparo dos produtos com pulverizador costal: a) terra de diatomáceas; b) ácido monossilícico.	24
Figura 5 – Aplicação foliar de produtos à base de silício nos tratamentos utilizando pulverizador costal.	25
Figura 6 - Identificação dos tratamentos na área experimental.	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teores foliares de proteínas totais ($\mu\text{g g}^{-1}$ MF), peróxido de hidrogênio ($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \cdot \text{g}^{-1}$ MF), atividade das enzimas antioxidantes superóxido dismutase, catalase e peroxidase (U mg^{-1} de proteínas) em tecido vegetal.....	32
Tabela 2 - Variáveis biométricas de massa fresca de cacho (g), comprimento de cacho (cm), massa fresca de engaço (g), comprimento de engaço (cm) e porcentagem degranada (%)......	34
Tabela 3 – Variáveis de sólidos solúveis ($^{\circ}\text{brix}$) e acidez (g de ácido tartárico/100 mL).	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS.....	12
2.1 Objetivo geral	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
3.1 A viticultura no submédio do Vale do São Francisco.....	13
3.2 ‘ARRA Sweeties™’	14
3.3 Porta-Enxerto Paulsen 1103.....	14
3.4 Silício na agricultura	15
3.4.1 Silício via solo	15
3.4.2 Silício via foliar.....	16
3.5 Terra de diatomáceas como fonte de silício para as plantas	18
3.6 Ácido monossilícico e seu uso como fonte de silício para as plantas.....	19
3.7 Absorção e transporte de silício pelas plantas	19
3.8 Função do silício nos estresses bióticos e abióticos	21
4 MATERIAL E MÉTODOS	22
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
6 CONCLUSÕES	37
7 REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

A produção de frutas é uma atividade agrícola de grande importância no Submédio do Vale do São Francisco, desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento econômico e na criação de empregos em toda a área. Por meio do cultivo de plantas com alto rendimento, qualidade e demanda de mercado, especialmente uvas e mangas, a região atende de forma excepcional tanto aos mercados internos quanto externos (OLIVEIRA; LOPES; MOREIRA, 2011).

Entretanto, o clima do Sertão do São Francisco apresenta condições que podem ser estressantes para as plantas, afetando sua fisiologia e, conseqüentemente, impactando a produtividade e qualidade. Isso pode resultar em perdas consideráveis e prejuízos na comercialização, a menos que sejam adotadas práticas de manejo apropriadas e o uso de insumos de alto desempenho (TEIXEIRA; MOURA; ANGELOTTI, 2010).

Nesse contexto, uma maneira de mitigar os estresses enfrentados pelas plantas é através do uso de produtos que fortaleçam seus mecanismos de defesa, ao mesmo tempo em que melhorem os aspectos qualitativos e quantitativos da produção. Recentemente, tem havido um aumento na busca pelo uso de fontes de silício (Si) com esse propósito, pois o silício aumenta a capacidade das plantas de tolerar estresses bióticos e abióticos por meio de mudanças bioquímicas e fisiológicas. Essas mudanças incluem a deposição de silício na parede celular, criando uma camada de sílica, bem como o aumento na concentração de compostos fenólicos, fitoalexinas, ligninas, enzimas de defesa e antioxidantes (Santos *et. al.*, 2021).

No Submédio do Vale do São Francisco, a cultivar 'ARRA Sweeties' abrange uma área cultivada superior a 500 hectares (MAIA; RITSCHER; LAZZAROTTO, 2018). De acordo com Leão (2020), a 'ARRA Sweeties' é a principal cultivar de uva branca exportada, desempenhando um papel relevante no crescimento socioeconômico da região.

A produção de uvas da cultivar 'ARRA Sweeties', assim como de outras cultivares cultivadas no Vale do São Francisco, é afetada por uma combinação de fatores ambientais e práticas de manejo. Entre esses fatores, destacam-se os estresses causados por agentes bióticos, como fungos e bactérias, e abióticos, como temperatura, umidade, radiação solar e aspectos nutricionais (TEIXEIRA, 2010). Para

reduzir os efeitos adversos causados pela intensidade da luz e altas temperaturas, têm sido exploradas alternativas viáveis na agricultura. Nesse contexto, o uso de silício tem sido reconhecido como uma ferramenta eficaz para mitigar esses efeitos (Machado; Silva; Mello, 2024).

Uma das alternativas de baixo custo e de pouco impacto ambiental para fornecimento de Si para as plantas é o ácido monossilícico, que é a única forma de absorção pela planta e que tem elevada assimilação de silício pela planta, sendo mais ativo e eficiente do que outras fórmulas (por exemplo, silicato de potássio) (Faquin, 2005).

Diante dos benefícios relatados e considerando a escassez de estudos sobre essa tecnologia na cultura da uva de mesa, torna-se necessário investigar se o silício efetivamente promove impactos positivos no desempenho fisiológico, na produtividade das plantas e na qualidade dos frutos de videiras, além de influenciar na comercialização e no tempo de prateleira desses frutos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a eficiência da aplicação foliar do silício em parâmetros bioquímicos e de produtividade e qualidade dos frutos em videira 'ARRA Sweeties'.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar a área foliar (cm^2), com o auxílio de um software, da videira 'ARRA Sweeties', cultivada com terra de diatomáceas e ácido monossilícico.
- Quantificar os teores de clorofila *a*, *b* e total nas folhas das videiras, avaliados por meio de índice de clorofila Falker (ICF).
- Analisar a atividade bioquímica nas folhas das videiras, a saber: proteínas totais ($\mu\text{g g}^{-1}$ MF), peróxido de hidrogênio ($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \cdot \text{g}^{-1}$ MF), superóxido dismutase, catalase e peroxidase (U mg^{-1} de proteínas).
- Determinar parâmetros de produtividade (t/ha), incluindo massa fresca (g) e comprimento dos cachos e engaços (cm).
- Determinar a qualidade dos frutos por meio de sólidos solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$), teor de acidez (g de ácido tartárico/100 mL), e a porcentagem de bagas desgranadas (taxa de degrana - %).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A viticultura no submédio do Vale do São Francisco

O submédio do Vale do São Francisco, localizado entre as latitudes 9° e 10° sul, é um polo relevante na produção de uvas no Brasil. Seu clima tropical semiárido, classificado como BSw_h pelo sistema de Köppen, é caracterizado por alta insolação, temperaturas elevadas e precipitação média anual de 505 mm. Essas condições climáticas, aliadas à disponibilidade de irrigação, proporcionam um ambiente propício para a viticultura, permitindo colheitas escalonadas ao longo do ano e reduzindo a incidência de doenças nas plantas (Codevasf, 2022; Leão; Lima, 2009).

A produção de uvas da espécie *Vitis vinifera* no submédio do Vale do São Francisco é impulsionada por fatores climáticos e tecnológicos que a tornam singular no Brasil. Essa espécie é amplamente utilizada tanto para o consumo in natura quanto para a produção de vinhos e espumantes. O manejo produtivo envolve técnicas modernas, como poda e controle de irrigação por microaspersão ou gotejamento, que promovem o escalonamento da produção e possibilitam até cinco safras em dois anos, algo raro em outras regiões produtoras. Isso é potencializado pelo clima semiárido, que oferece alta insolação e reduz a incidência de doenças, conferindo qualidade superior aos frutos (Codevasf, 2022; IBGE, 2021).

Cultivares como 'BRS Vitória' e 'BRS Ísis', desenvolvidas pela Embrapa, vêm se destacando por sua adaptabilidade às condições locais e pela qualidade dos frutos, fortalecendo a competitividade dos produtores da região no mercado interno e internacional. Além disso, o reconhecimento de Indicação Geográfica para uvas finas de mesa, mangas e vinhos da região reforça a valorização dos produtos locais, posicionando o Vale do São Francisco como um dos principais polos frutícolas no cenário global (Ritschel, 2016; Ministério da Agricultura e Pecuária; Brasil, 2022).

Em termos de produção, o Brasil colheu aproximadamente 853 mil toneladas (t) de uvas em 2023, sendo o Nordeste responsável por cerca de 67% desse volume. O Vale do São Francisco contribuiu com cerca de 554 mil toneladas, o que representa um crescimento de 40% em relação ao volume produzido em 2022.

No quesito produtividade, a média anual da região Nordeste (43,9 t/ha) foi superior à média nacional (28,4 t/ha) em 2023. Pernambuco liderou com a maior

produtividade média do país (48,1 t/ha), seguido pela Bahia (28,2 t/ha) e São Paulo (18,9 t/ha). O setor vitícola gerou mais de 3,5 bilhões de reais em valor de produção no Brasil em 2023, dos quais aproximadamente dois terços (2,2 bilhões de reais) foram provenientes do Vale do São Francisco, consolidando a região como um importante polo econômico e produtivo (IBGE; Lima, 2024).

3.2 ‘ARRA Sweeties™’

A cultivar de videira ‘ARRA Sweeties’, também conhecida como ‘ARRA 15’, é uma cultivar criada pela parceria entre a GRAPA COMPANY e a Guimarra Vineyards Corporation, na Califórnia, no ano 2000. Resultado de um programa de aprimoramento genético da *Vitis vinifera*, essa cultivar surgiu do cruzamento entre a GAW5, uma uva sem sementes, de cor branca, alongada e extremamente crocante, e a GZW4, uma cultivar de uva verde escura em forma elipsoidal, com um teor médio de açúcar. Reconhecida por sua qualidade superior, a ‘ARRA Sweeties’ é resistente ao transporte e ao armazenamento, sendo classificada como uva de mesa. Suas características incluem bagas grandes e sem sementes, de coloração verde brilhante, cachos de tamanho médio a longo, além de possuir um sabor doce e uma textura firme e crocante (Karniel *et al*, 2016).

3.3 Porta-Enxerto Paulsen 1103

O porta-enxerto Paulsen 1103, resultante do cruzamento entre *Vitis berlandieri* e *Vitis rupestris*, destaca-se pela sua ampla utilização na viticultura, especialmente em regiões semiáridas. Esse porta-enxerto é conhecido por sua elevada tolerância à seca, vigor expressivo e boa compatibilidade com a maioria das variedades comerciais de uvas finas de mesa e vinhos (Leão; Borges, 2011). Além disso, o Paulsen 1103 apresenta uma destacada resistência a nematoides presentes no solo, fatores cruciais para a produção sustentável em áreas com condições edafoclimáticas limitantes, como o Vale do São Francisco. A combinação de suas características agronômicas torna-o uma escolha frequente para a viticultura tropical e irrigada, contribuindo significativamente para a produtividade e qualidade dos frutos (Guerra, 2001).

3.4 Silício na agricultura

O silício (Si) é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre, embora não seja considerado essencial para as plantas, pois não atende aos critérios diretos ou indiretos de essencialidade definidos para os nutrientes (Jones; Handreck, 1967 apud Menegale *et al.*, 2015).

Apesar disso, o Si é reconhecido como um elemento benéfico devido aos impactos positivos na interação entre solo e planta. Materiais ricos em silício contribuem para a neutralização de elementos tóxicos, como hidrogênio e alumínio, aumentam a disponibilidade de nutrientes no solo, especialmente fósforo, e promovem a absorção desses nutrientes pelas plantas. Além disso, a aplicação de silício pode corrigir a acidez do solo. Seus benefícios são particularmente evidentes em condições de estresse, sejam eles abióticos ou bióticos (Menegale *et al.*, 2015).

Sob condições de seca, o silício desempenha um papel fundamental ao aumentar a tolerância das plantas, promovendo o equilíbrio hídrico, melhorando a atividade fotossintética e fortalecendo a estrutura dos vasos condutores, especialmente do xilema, que é essencial para manter o fluxo hídrico em condições de alta transpiração (Abdalla, 2011). O acúmulo de Si na epiderme foliar também estimula a expressão de genes relacionados à produção de metabólitos secundários, como polifenóis, além de enzimas associadas aos mecanismos de defesa das plantas, incluindo enzimas antioxidantes (Gratão *et al.*, 2005).

3.4.1 Silício via solo

A crosta terrestre contém aproximadamente 29% de silício (Si), sendo o segundo elemento mais abundante e predominando na fase sólida do solo. As principais fontes de Si no solo são os minerais silicatos e a sílica biogênica. Os minerais silicatos, como quartzo, feldspatos, piroxênios e argilominerais, possuem como unidade estrutural o tetraedro de Si (SiO_4), enquanto a sílica biogênica (SiO_2), frequentemente hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), provém de restos vegetais contendo fitólitos, que se formam pela polimerização do ácido silícico (H_4SiO_4) (Tubana *et al.*, 2016; Shivaraj *et al.*, 2022). A solubilidade da sílica biogênica varia entre 1,8 e 2,0 mM, sendo até 17 vezes maior do que a do quartzo (Tubana *et al.*, 2016).

Os minerais silicatos liberam Si para a solução do solo por intemperismo, mas em solos muito intemperizados, a lixiviação reduz o Si disponível, um fenômeno exacerbado em solos tropicais, como os do Brasil. A reação predominante no intemperismo é a hidrólise, que em solos mal drenados forma argilominerais 2:1 (vermiculita, montmorilonita) ou 1:1 (caulinita), dependendo do grau de bissialitização ou monossialitização. Em solos bem drenados, o Si é completamente removido, originando oxi-hidróxidos de ferro e alumínio por ferralitização. O Si lixiviado chega aos cursos d'água, alcança os oceanos e é absorvido por diatomáceas, que o utilizam para construir suas paredes celulares (Closset *et al.*, 2014; Schabl *et al.*, 2020).

No Brasil, solos altamente intemperizados, como Latossolos e Argissolos, cobrem 58,55% do território (Santos *et al.*, 2011). Esses solos apresentam baixa disponibilidade de Si na forma absorvível pelas plantas (H_4SiO_4), que é estável em pH abaixo de 9 e concentrações de até 2 mM. Fora desses limites, ocorre a polimerização do ácido silícico, frequentemente dentro das plantas devido à sua baixa concentração no solo (Mandlik *et al.*, 2020).

Dessa forma, solos intemperizados frequentemente respondem bem à aplicação de fontes de Si, como pó de minerais silicatos, fertilizantes silicatos industriais, escórias de siderúrgicas, palha de arroz e terra de diatomáceas. Além de aumentar a disponibilidade de Si, silicatos de cálcio oriundos de escórias podem corrigir a acidez do solo e reduzir a toxicidade do alumínio, características comuns desses solos (Sobral *et al.*, 2011; Galindo *et al.*, 2021; Nascimento *et al.*, 2021).

A aplicação de Si via solo, em comparação com a via foliar, promove um aumento mais rápido e expressivo no sistema de defesa das plantas, elevando a concentração de proteínas relacionadas à resistência a patógenos, como polifenol oxidase, peroxidase e quitinase (Rodrigues *et al.*, 2015; Laane, 2018). Fontes naturais de sílica amorfa têm maior solubilidade que fertilizantes silicatos, além de contribuir menos com contaminantes e melhorar a retenção de água e nutrientes no solo. Nascimento *et al.* (2021) demonstraram que fertilizantes baseados em sílica amorfa geraram maior aumento de biomassa em culturas como milho e cana-de-açúcar.

3.4.2 Silício via foliar

A aplicação foliar de silício (Si) utiliza, principalmente, fontes como silicatos, ácido monossilícico com estabilizantes, sílica nanoparticulada e terra de diatomáceas. Embora os silicatos aplicados via foliar nem sempre promovam aumentos significativos no crescimento vegetal, seus benefícios são potencializados com aplicações repetidas. Em grande parte, os efeitos positivos estão relacionados à redução da infecção por patógenos, especialmente doenças fúngicas, como oídio, brusone do arroz, ferrugem da soja, mancha marrom, mancha angular e antracnose (Liang *et al.*, 2005; Buck *et al.*, 2008; Rodrigues *et al.*, 2009; Rodrigues *et al.*, 2010; Jayawardana *et al.*, 2014). A eficácia contra fungos ocorre devido à formação de uma barreira física nas folhas, resultante do acúmulo de silício, que impede a penetração de hifas e, conseqüentemente, a instalação do patógeno (Laane, 2018).

Para evitar a polimerização do ácido monossilícico durante sua aplicação foliar, utilizam-se estabilizantes, como colina e polietilenoglicol, sendo este último mais comum. Produtos à base de sílica estabilizada possuem de 0,7% a 0,8% de Si, e os melhores resultados em frutíferas são obtidos com doses de 2 a 4 mL L⁻¹ (15 a 30 ppm), aplicadas de 3 a 4 vezes, com intervalos de 10 a 20 dias, iniciando nos primeiros estágios vegetativos, quando as plantas apresentam 3 a 5 folhas bem desenvolvidas (Laane, 2018).

Estudos destacam os benefícios do ácido monossilícico estabilizado (ASe) em diversas culturas, como arroz, amaranto, batata, cana-de-açúcar, trigo e soja. O ASe contribui para a resistência passiva a pragas e doenças, maior tolerância a estresses abióticos e estimula o crescimento vegetal, aumentando altura, diâmetro do caule, peso dos frutos e a absorção de nutrientes, resultando em maior produtividade (Prakash *et al.*, 2011; Khandaker *et al.*, 2011; Soratto *et al.*, 2012; Neeru *et al.*, 2016; Ratnakuma *et al.*, 2016; Laane *et al.*, 2017; Shwethakumari, 2017). Na cultivar de videira 'Thompson', a dose de 3 mL L⁻¹ (22,5 ppm) incrementou o comprimento e o diâmetro das bagas, o peso do cacho e melhorou a qualidade dos frutos (Ramteke *et al.*, 2012).

O acúmulo de Si varia entre monocotiledôneas e dicotiledôneas, com as primeiras apresentando maior capacidade de acumular Si devido a transportadores específicos que permitem o transporte ativo contra o gradiente de concentração. Já em dicotiledôneas, o transporte é passivo, resultando em menor acumulação. No entanto, a aplicação foliar de ASe proporciona efeitos semelhantes no crescimento e desenvolvimento de ambos os grupos de plantas (Laane, 2018).

Além das fontes mencionadas, o uso de nanopartículas de sílica na adubação foliar tem ganhado destaque. Essas partículas, geralmente entre 20 e 40 nm, estimulam o crescimento e o desenvolvimento das plantas, embora sejam menos eficazes do que o ácido silícico estabilizado e os silicatos. Por outro lado, as nanopartículas aplicadas diretamente ao solo têm demonstrado resultados superiores (Suriyaprabha *et al.*, 2014; Nazarialian *et al.*, 2017).

3.5 Terra de diatomáceas como fonte de silício para as plantas

O intemperismo dos minerais primários e secundários libera silício dissolvido (SiD), que é transportado para os cursos d'água e eventualmente para os oceanos. Nesse ambiente, as diatomáceas, um tipo de fitoplâncton que pode viver isoladamente ou em colônias, utilizam o Si como elemento essencial para seu crescimento, incorporando-o na formação de suas paredes celulares, conhecidas como frústulas. O SiD que não é absorvido pelas diatomáceas, junto aos restos celulares de diatomáceas mortas, acumula-se no fundo oceânico, resultando na formação de rochas sedimentares (Struyf *et al.*, 2009; Closset *et al.*, 2014). A partir dessas rochas sedimentares é extraída a terra de diatomáceas (TD), composta majoritariamente por paredes celulares de diatomáceas e rica em sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$), que oferece maior disponibilidade de Si para as plantas em comparação com silicatos (Sandhya *et al.*, 2018).

A estrutura porosa e ativa das paredes celulares das diatomáceas confere à TD propriedades de adsorção de íons, aumentando sua capacidade de troca catiônica e retenção de água (Moale *et al.*, 2021).

Em estudos conduzidos por Sandhya *et al.* (2018), foram avaliadas doses de TD (0, 150, 300 e 600 kg ha⁻¹) em diferentes condições de pH (ácido, neutro e alcalino) e umidade do solo (capacidade de campo e submersão) em plantas de arroz cultivadas em vasos. A adubação com TD aumentou a biomassa da palha, a produção de grãos e a disponibilidade de Si, especialmente sob cultivo irrigado. Os resultados sugerem que a disponibilidade de água no solo é mais determinante para a absorção de Si do que a reserva do elemento no solo, sendo que a TD também contribui para melhorar a retenção hídrica do solo.

Quanto à aplicação foliar, Moale *et al.* (2021) observaram que nanofertilizantes à base de TD, associados a macro e micronutrientes, reduziram a evapotranspiração, a condutância estomática e a temperatura das folhas, enquanto aumentaram a concentração de CO₂ intercelular e a fotossíntese líquida em culturas como pêssigo e damasco. Esses efeitos, atribuídos à formação de uma película na superfície foliar, levaram a um aumento de 14,03% na produção de damasco em comparação ao controle. Em relação ao uso isolado de macro e micronutrientes, o aumento foi de 8,1%, destacando-se a capacidade da TD de adsorver e liberar nutrientes gradualmente, funcionando como um transportador eficiente (Pena-Rodriguez *et al.*, 2019).

3.6 Ácido monossilícico e seu uso como fonte de silício para as plantas

O ácido monossilícico é uma fonte solúvel de silício, um elemento conhecido por desempenhar papéis essenciais na fisiologia das plantas. Sua aplicação no solo ou como pulverização foliar tem sido associada a diversos benefícios, incluindo aumento da resistência a doenças, melhoria da absorção de nutrientes, e aumento da tolerância ao estresse ambiental (Epstein, 1999). Além disso, sua presença na planta está associada à síntese de lignina, aumento da atividade de enzimas antioxidantes e regulação da expressão gênica relacionada à defesa contra patógenos (Fauteux *et al.*, 2005). Apesar dos benefícios potenciais, o uso eficaz do ácido monossilícico na agricultura requer considerações práticas, incluindo formulação adequada, métodos de aplicação, doses ideais e interações com outros produtos agrícolas. Além disso, são necessárias pesquisas adicionais para elucidar completamente os mecanismos de ação e otimizar seu uso em diferentes culturas e condições ambientais (Ma; Takahashi, 2002).

3.7 Absorção e transporte de silício pelas plantas

Embora o silício (Si) não seja essencial para a conclusão do ciclo de vida das plantas, ele é considerado um elemento benéfico devido à sua capacidade de mitigar os efeitos de estresses bióticos e abióticos. O Si é absorvido pelas plantas na forma de ácido monossilícico (H₄SiO₄), e os mecanismos de absorção e transporte

pelas raízes variam entre espécies e até entre cultivares, influenciados pela habilidade das plantas em acumular Si (Mitani-Ueno; Ma, 2021).

As plantas são classificadas em grupos de acordo com sua capacidade de acumulação de Si. A maioria das dicotiledôneas absorve Si de forma passiva, com o contato raiz-nutriente ocorrendo principalmente por difusão. Essas plantas geralmente acumulam menos de 1% de Si em sua massa seca e são denominadas não acumuladoras. Já as plantas hiperacumuladoras, em sua maioria monocotiledôneas, possuem entre 10% e 15% de Si na biomassa seca. Nesses casos, a absorção ocorre de forma ativa, com gasto de energia para transportar o Si contra o gradiente de concentração. O Si acumulado em monocotiledôneas é depositado nas células epidérmicas foliares, formando fitólitos e camadas de sílica sob a cutícula. Espécies com níveis intermediários de acumulação apresentam entre 1% e 3% de Si na massa seca (Kovács *et al.*, 2022).

A alta capacidade de acumulação de Si está associada à densidade elevada de transportadores nas membranas das células das raízes e caules, o que facilita o movimento do elemento (Mitani; MA, 2005). Esses transportadores, integrantes da subfamília das aquaporinas do tipo nodulina-26 (NIPs), são responsáveis pelo transporte de pequenas moléculas neutras e polares. Em algumas culturas, como arroz, milho, cevada, trigo, soja e videira, os transportadores específicos foram identificados, sendo o arroz a planta modelo para o estudo dos mecanismos de transporte de Si (Ahanger *et al.*, 2020; Noronha *et al.*, 2020; Shivaraj *et al.*, 2021).

No arroz, os transportadores OsLsi1 (influxo) e OsLsi2 (efluxo) são encontrados nas membranas da endoderme e exoderme das raízes, possibilitando o transporte do H_4SiO_4 até o córtex, superando barreiras como as estrias de Caspary e permitindo o deslocamento para o xilema. Outro transportador, OsLsi6, atua no descarregamento do Si do xilema, direcionando-o aos órgãos aéreos, onde ocorre sua deposição na parede celular da epiderme, formando corpos de sílica e preenchendo espaços intercelulares (Ahanger *et al.*, 2020; Mandlik *et al.*, 2020).

Essa deposição é favorecida pela condensação de ácido monossilícico, que ocorre devido à perda de água por transpiração, levando à polimerização do H_4SiO_4 em sílica amorfa ($SiO_2 \times nH_2O$). Em algumas espécies, processos ativos determinam padrões específicos de silificação das células (Hartley *et al.*, 2015; Kumar

et al., 2020). Uma vez depositado, o Si não é redistribuído para outras partes da planta (Epstein, 1994).

No arroz, mais de 90% do Si foliar é acumulado na cutícula e na parede celular da epiderme, principalmente por meio da rota de transpiração. Curiosamente, tecidos com menor transpiração, como as cascas de arroz, também acumulam Si em quantidades significativas, o que demonstra a importância desse elemento na planta, inclusive como fertilizante natural (Yamaji *et al.*, 2008; Mandlik *et al.*, 2020).

3.8 Função do silício nos estresses bióticos e abióticos

O cultivo de uvas no Vale do São Francisco permite múltiplas colheitas ao longo do ano, impulsionado por avanços tecnológicos e condições climáticas favoráveis, como irrigação, irradiação solar, fotoperíodo e altas temperaturas (Nascimento *et al.*, 2022). No entanto, essas condições podem gerar estresse nas plantas, aumentando a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) e reduzindo a fotossíntese, afetando tanto a safra atual quanto as reservas para a próxima (Afifi *et al.*, 2023).

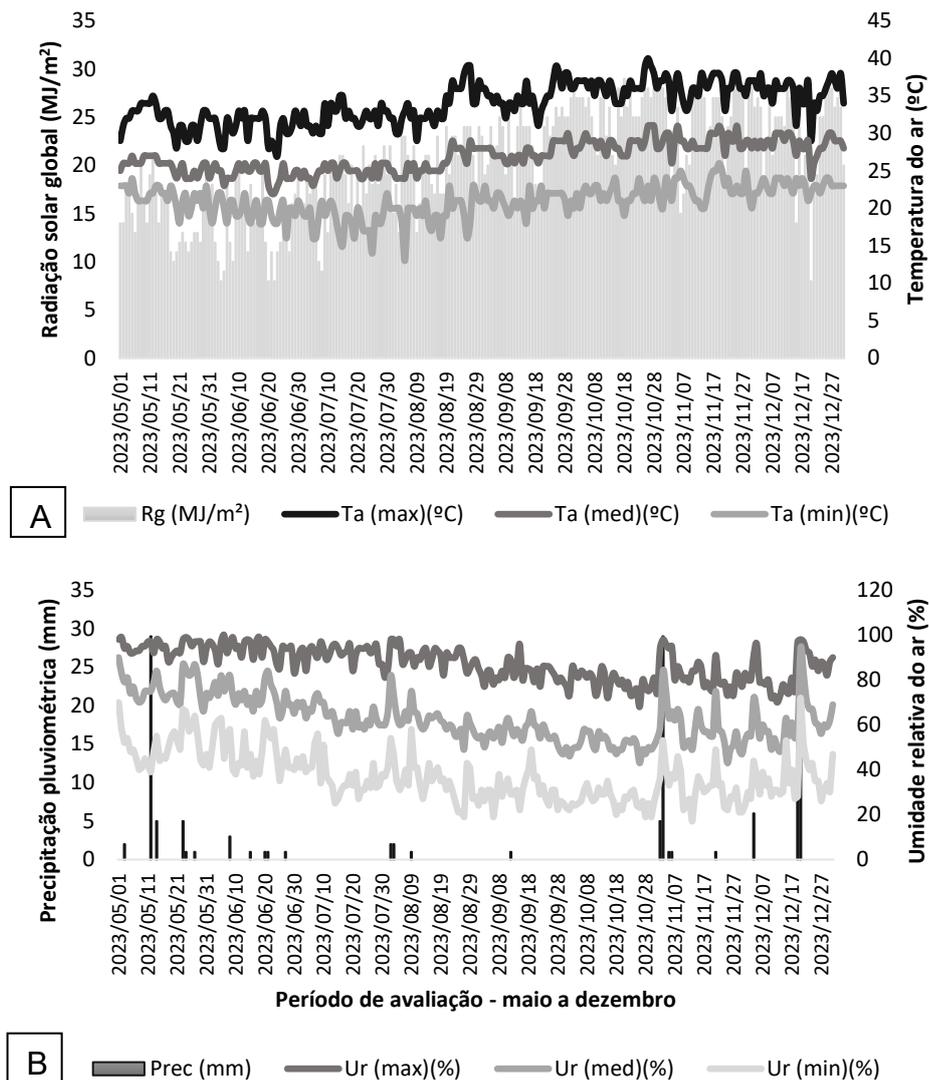
O Si desempenha um papel crucial na resposta das plantas ao estresse biótico, agindo em três etapas na interação patógeno-hospedeiro (Hutcheson, 1998). Além de mecanismos físicos, como a formação de uma camada de sílica que impede a penetração de patógenos e reduz a herbivoria de insetos (Wang *et al.*, 2017; Luyckx *et al.*, 2017; Xu *et al.*, 2023), o Si aumenta a atividade de enzimas relacionadas a patógenos, promove a produção de compostos antimicrobianos e regula sinais sistêmicos de defesa (Luyckx *et al.*, 2017). Isso ocorre por meio da modulação da expressão de genes envolvidos na produção de compostos antimicrobianos, como a fenilalanina amônia-liase, e na síntese de hormônios de defesa, como o ácido jasmônico, etileno e ácido salicílico (Shanmugaiyah *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2017).

No entanto, apesar dos benefícios conhecidos do Si, os mecanismos subjacentes ainda não são completamente compreendidos (Coskun *et al.*, 2019). Além disso, considerando a ampla gama de espécies cultivadas, formas de aplicação, concentrações e formulações, é preciso também fornecer informações que possibilitem obter alguma compreensão dos efeitos dos diferentes tratamentos utilizados neste trabalho.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área de produção A3 da Fazenda Galdino, destinada à produção de uvas finas de mesa, localizada em Petrolina – PE, coordenadas 9° 19' 55,8" S e 40° 31' 53,4" W. O experimento ocorreu entre maio e dezembro de 2023. De acordo com a classificação de Köppen, possui clima semiárido BSw^h, com temperatura média anual de 26,5°C, precipitação média anual de 541,1 mm e umidade relativa do ar média anual de 65,9%. Na Figura 1 estão plotados os valores de temperatura mínima, média e máxima (°C) para o período analisado, coletados da estação de bebedouro, da Embrapa Semiárido.

Figura 1 – Dados climáticos para o período analisado: a) radiação solar global (MJ/cm²) e temperatura do ar (°C); b) precipitação pluviométrica (mm) e umidade relativa do ar (%). Estação de bebedouro, Petrolina-PE.



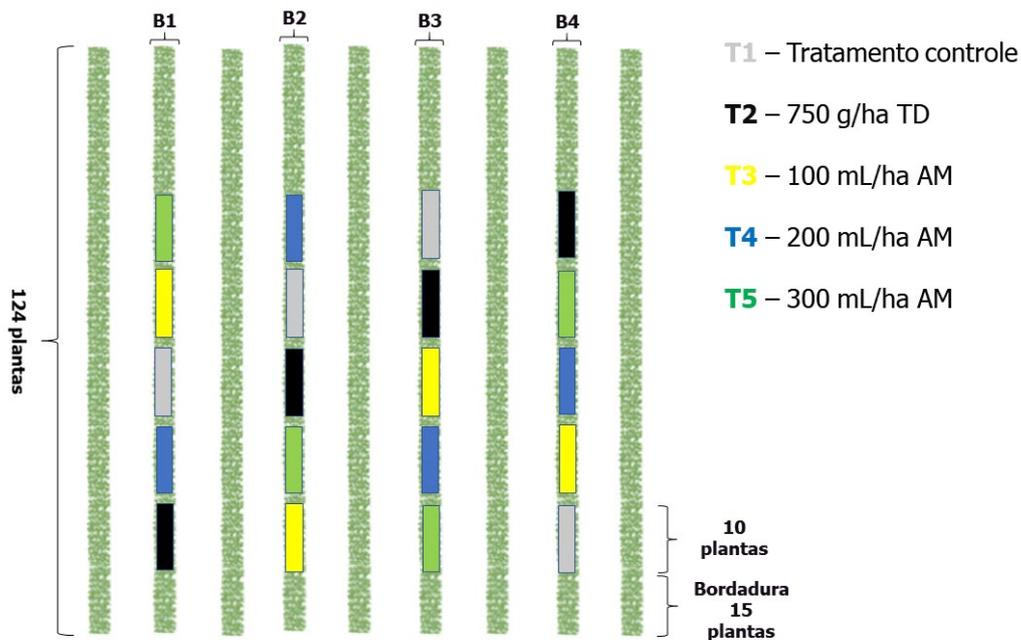
Fonte - O autor (2024).

Foram realizadas aplicações foliares de diferentes doses de ácido monossilícico (AM) e terra de diatomáceas (TD) sob a cultura da videira, cultivar ‘ARRA Sweeties’, enxertada sobre porta-enxerto Paulsen 1103. As videiras estão no espaçamento 3,5 x 1,5 m (5,25 m²) e são conduzidas sobre o sistema de latada.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 5 tratamentos e 10 repetições. Entre os tratamentos foi adotada uma bordadura com duas plantas e entre os blocos a bordadura foi uma linha de cultivo.

Os tratamentos utilizados foram: controle (T1) - sem nenhuma fonte de silício; 750 g ha⁻¹ de terra de diatomáceas (TD) (T2) (produto comercial AtivaSi); e tratamentos com 100, 200 e 300 mL ha⁻¹ de ácido monossilícico (AM) (produto comercial Zumsil® - Andermatt), T3, T4 e T5, respectivamente (figura 2).

Figura 2 - Croqui do delineamento experimental.

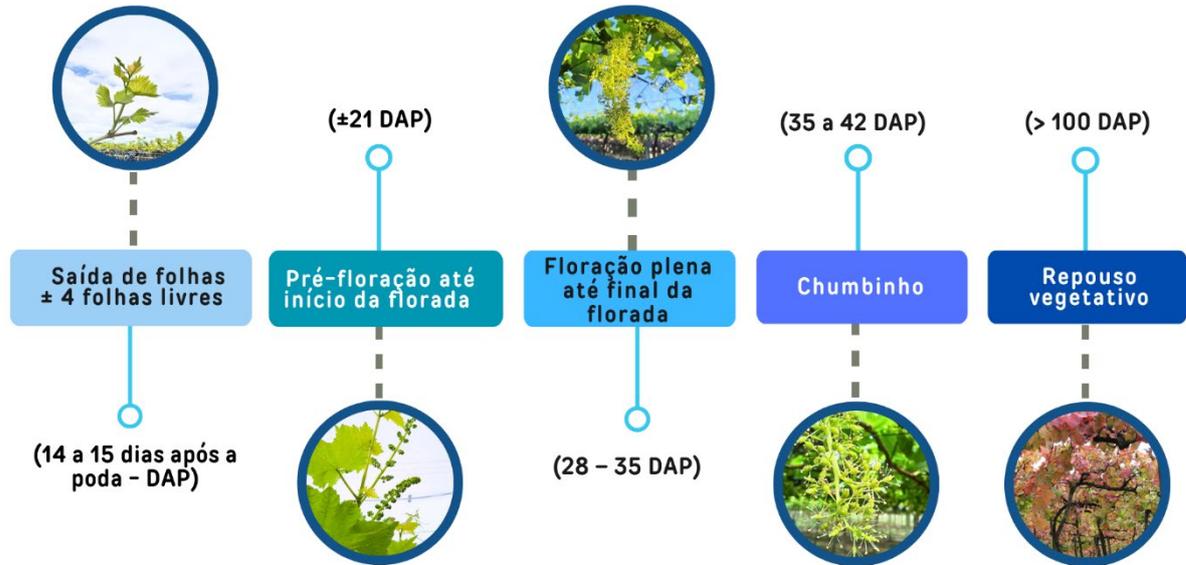


Fonte - O autor (2024).

As pulverizações ocorreram em fases diferentes, sendo um total de cinco pulverizações via foliar realizadas nas fases de: saída de folhas \pm 4 folhas livres (14 a 15 dias após a poda - DAP), pré-floração até início da florada (\pm 21 DAP), floração plena até final da florada (28 – 35 DAP), chumbinho (35 a 42 DAP) e repouso vegetativo (> 100 DAP), conforme figura 3. Essas fases são consideradas críticas devido ao elevado fluxo metabólico e ao alto gasto energético associado à quebra de carboidratos. Durante esses períodos, a planta está altamente ativa em termos de crescimento e desenvolvimento, o que exige uma grande demanda de recursos para

a síntese de compostos essenciais, como açúcares e proteínas (Conceição; Mandelli, 2009).

Figura 3 - Representação das fases fenológicas de plantas de videira utilizadas no estudo para aplicação de pulverizações.



Fonte - O autor (2024)

Cada produto foi previamente diluído em água e aplicado via foliar, por meio de pulverizador costal manual com capacidade de 20 litros (figura 4) e, em seguida, pulverizado nas plantas selecionadas (figura 5).

Figura 4 - Preparo dos produtos com pulverizador costal: a) terra de diatomáceas; b) ácido monossilícico.



Fonte - O autor (2024)

Figura 5 – Aplicação foliar de produtos à base de silício nos tratamentos utilizando pulverizador costal.



Fonte - O autor (2024).

Os tratamentos foram identificados por fitas coloridas (figura 6) para que as plantas tratadas fossem distinguidas das demais, sem atrapalhar os tratos culturais corriqueiros da fazenda.

Figura 6 - Identificação dos tratamentos na área experimental.



Fonte - O autor (2024).

Medições e coletas de amostras de folhas e frutos foram realizadas para análise das variáveis estudadas. Nas avaliações pós-colheita, quatro cachos representativos foram selecionados por repetição, totalizando dezesseis cachos por tratamento. Foram realizadas avaliações não-destrutivas e destrutivas para mensurar:

a) Área foliar (AF) (cm^2): foram coletadas 7 por repetição, totalizando 28 folhas por tratamento, aos 35 dias após a poda (DAP) (fase chumbinho). Foram selecionadas folhas maduras e totalmente expandidas, localizadas no terço médio dos ramos produtivos, em pleno desenvolvimento fotossintético. A estimativa de AF foi determinada por processamento de imagens por meio de ferramentas digitais, conforme metodologia descrita por Alvarenga *et al.* (2015). Para isso, foi utilizado o software ImageJ (*open source*). As folhas foram digitalizadas com alta resolução junto com uma régua milimétrica tomada como referencial para configuração do software (pixel cm^{-1}).

b) Teores de clorofila *a*, *b* e total (*a+b*): mensurados com um clorofilômetro ClorofiLOG®, modelo CFL 1030, que forneceu valores expressos em unidades do Índice de Clorofila Falker (ICF);

c) Atividade bioquímica: proteínas totais ($\mu\text{g g}^{-1}$ MF), peróxido de hidrogênio ($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \cdot \text{g}^{-1}$ MF), superóxido dismutase, catalase e peroxidase (unidade de atividade enzimática (U) mg^{-1} de proteínas). As análises foram realizadas pela empresa Arabidopsis Consultoria e Serviços LTDA. Para a coleta, foram escolhidas folhas saudáveis, maduras e desenvolvidas, preferencialmente localizadas no terço médio dos ramos produtivos, em pleno desenvolvimento fotossintético. A coleta foi realizada durante a manhã. Após esta etapa, preparou-se as folhas para receber o nitrogênio líquido. Para isso, as folhas foram acondicionadas em papel alumínio e saco plástico. Após o congelamento, o material foi transportado para o laboratório citado para processamento e extração de compostos bioquímicos.

d) Massa fresca de cachos: determinada pela média das pesagens realizadas no dia da coleta, com balança semi-analítica, expressa em gramas;

e) Comprimento dos cachos: medido com régua graduada de 30 cm;

f) Massa fresca do engaço: avaliada após a retirada das bagas, com os resultados obtidos por pesagem em balança semi-analítica e expressos em gramas.

g) Comprimento do engaço: medido com régua graduada de 30 cm;

h) Sólidos solúveis (SS): determinados por refratômetro, com resultados expressos em °Brix. Foram analisadas três bagas de cada cacho, retiradas das partes basal, mediana e apical, para obter a média de cada fruto;

i) Acidez titulável (AT): determinada pela titulação de 5 mL de suco diluídos em 50 mL de água destilada, utilizando solução de NaOH 0,1 N e titulador manual. Os resultados foram expressos em g de ácido tartárico por 100 mL de suco;

j) Taxa de degrana: avaliada pela proporção de bagas que se desprenderam naturalmente em relação ao total inicial de bagas no cacho, com resultados expressos em porcentagem, uma métrica importante para avaliar resistência durante transporte e comercialização;

k) Ratio: foi obtida através da razão entre os valores de sólidos solúveis e de acidez titulável.

l) Produtividade: estimada com base na densidade de plantas por hectare, massa média dos cachos e número médio de cachos por planta, expressa em toneladas por hectare;

Com exceção das análises bioquímicas, todas as demais análises foram realizadas nas instalações do Instituto Federal do Sertão Pernambucano - Campus Petrolina Zona Rural.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias significativas foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$), utilizando o software RStudio com o pacote 'expdes.pt'. Para a variável área foliar (AF), ajustou-se uma equação de regressão, testando os modelos linear e quadrático pelo teste F, sendo escolhido o modelo com significância superior a 95%.

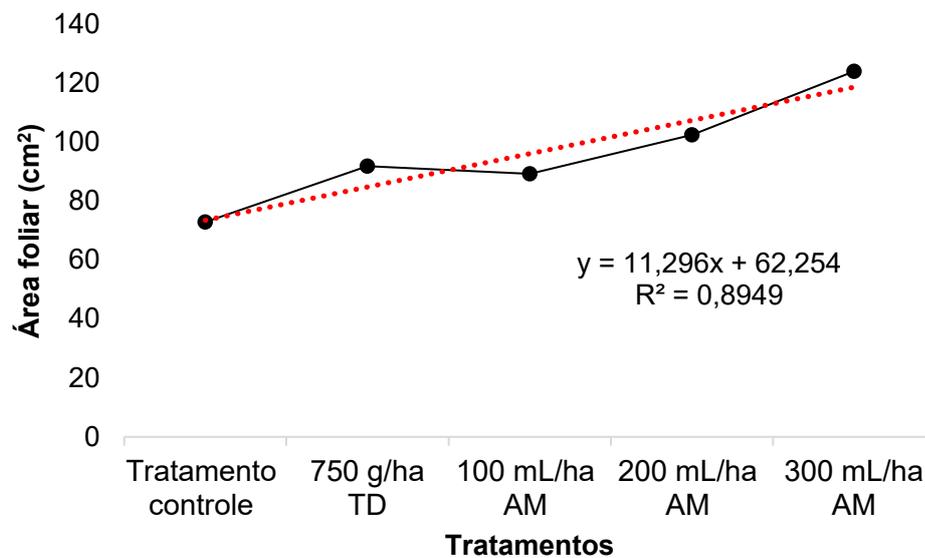
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O gráfico 1 mostra a relação da área foliar sob diferentes doses de Si, avaliada aos trinta e cinco dias após a poda (35 DAP), no início da fase de chumbinho. A análise dos dados pelo teste F mostrou-se significativa ao nível de 5% de probabilidade. Verificou-se que o uso de diferentes doses de silício via foliar influenciou na expansão da área foliar em plantas de videira. A fim de determinar a dose ou a fonte mais eficaz do produto em cada tratamento e para esse efeito, procedeu-se à análise de regressão que ajustou a equação linear. Obteve-se a equação linear $y = 11,296x + 62,254$ e mostrou um coeficiente de determinação de 89,49%. Os resultados indicaram um aumento de cerca de 25% no crescimento das plantas tratadas com 750g de Terra de Diatomáceas (T2) e de, no mínimo, 22% nas plantas que receberam ácido monossilícico, em comparação com o grupo controle.

Luz (2021) obteve resultado análogo, quando aplicou diferentes doses de terra de diatomáceas em plantas de videira, visto que promoveu o crescimento

contínuo da área foliar específica (AFE) em função de doses crescentes desta fonte de silício, sendo o mesmo observado em plantas de *Physalis* por Assis (2017), quando fez aplicações isoladas de ácido monossilícico (via solo ou foliar). Entretanto, Wurz *et al.* (2021) não encontraram relação entre a aplicação de silício (via foliar) e sua influência no desenvolvimento vegetativo e desempenho agrônômico de videiras 'Bordô', cultivadas no Planalto Norte Catarinense.

Gráfico 1 - Área foliar (AF) em função da aplicação de silício (TD e AM) em videiras 'ARRA Sweeties'



Fonte - O autor (2024).

Os pigmentos fotossintéticos foram expressivamente alterados (gráfico 2) mediante as aplicações de Si, e o nível de resposta foi influenciado pela fase da videira. Primeiramente, vale salientar que houve uma diminuição do teor de clorofila de todos os tratamentos na fase de início de maturação, aos 66 dias após a poda, em relação à fase chumbinho, aos 39 dias após a poda. Sobre isso, sabe-se que folhas jovens de videira em expansão mostram uma curva de crescimento sigmoide, sendo a atividade fotossintética máxima alcançada quando elas atingem o tamanho pleno, o que ocorre de 30 a 40 dias após seu desdobramento do ápice. Nesta fase, há um maior nível de clorofila por unidade de área foliar, e permanece dessa forma durante duas ou três semanas, diminuindo, então, até que a folha se torna senescente (Assis; Lima Filho; Lima, 2001).

Na primeira avaliação, observou-se uma mudança nos níveis de clorofila em comparação com o controle. Apesar da redução nos pigmentos já mencionada, as

plantas tratadas com silício apresentaram concentrações mais altas de clorofila *a*, *b* e clorofila total em relação às plantas do tratamento controle.

Para a clorofila *a*, na fase de baga chumbinho (39 DAP) os tratamentos 2 e 4 foram os que obtiveram maiores valores em comparação aos demais tratamentos. Já na fase de início de maturação (66 DAP), os tratamentos 3 e 5 diferiram dos demais, com destaque para o tratamento 5 (300 mL/ha de ácido monossilícico), que teve aumento aproximado de 10% em relação às plantas que não tiveram aplicação com Si. Na segunda fase avaliada, os tratamentos com 750g de terra de diatomáceas e 100 mL de ácido monossilícico tiveram maiores incrementos, tanto quando comparados com o controle como para as doses mais elevadas de ácido monossilícico.

Para a clorofila *b*, na fase de baga chumbinho (39 DAP), T1, T2 e T5 foram semelhantes entre si. Na fase de início de maturação (66 DAP), os tratamentos 2 e 3 diferiram dos demais.

A clorofila *a* é o principal pigmento fotossintético em plantas, absorvendo luz nas regiões do vermelho e azul do espectro (Raven *et al.*, 2017), já a clorofila *b* atua como um pigmento acessório, ampliando a gama de luz absorvida e facilitando a fotossíntese (Taiz; Zeiger, 2017).

No geral, as plantas tratadas com Si apresentaram uma maior relação clorofila *a/b*. Na primeira avaliação, a dose mais elevada de ácido monossilícico (300 mL/ha) foi a que apresentou maior valor médio em relação aos demais, enquanto na segunda, os tratamentos com a dose inicial e a intermediária do mesmo produto (T3 e T4, respectivamente).

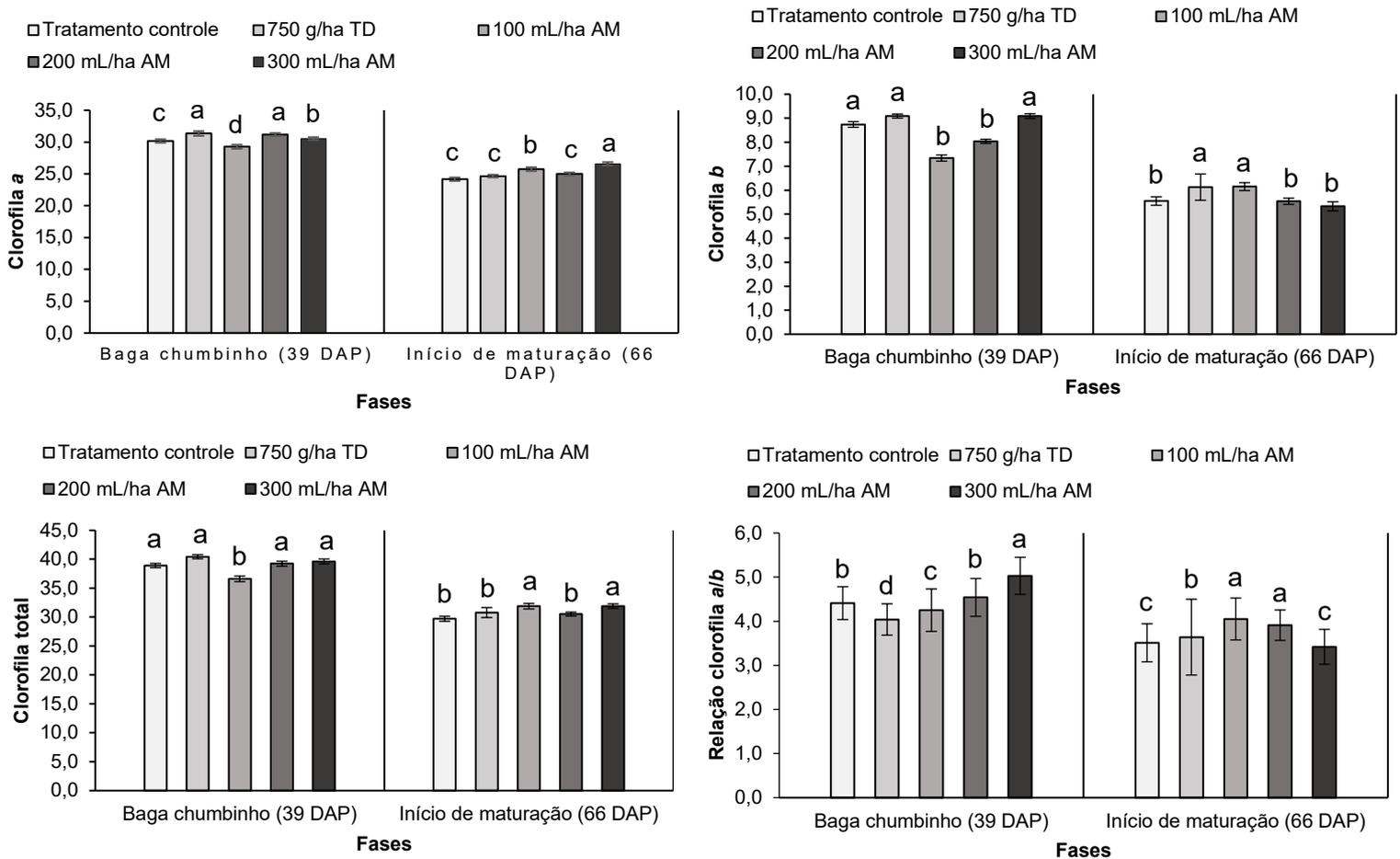
A relação clorofila *a/b* é importante porque reflete a composição do aparato fotossintético e pode indicar a eficiência com que uma planta utiliza a luz para fotossíntese (Taiz; Zeiger, 2017). Uma relação mais alta geralmente sugere uma maior capacidade fotossintética, enquanto uma relação mais baixa pode indicar uma adaptação a condições de luz reduzida ou uma necessidade maior de fotoproteção (Anderson; Osmond, 1987). De forma semelhante, Lichtenthaler (1987) afirma que a relação clorofila *a/b* pode indicar adaptações fotossintéticas, com relações mais altas sugerindo uma maior eficiência de captura de luz em plantas a pleno sol e destaca que essa relação pode variar com a exposição à luz, influenciando a eficiência fotossintética.

Com relação à clorofila total, na segunda fase de leitura as plantas

tratadas com as doses de 100 e 300 mL/ha de ácido monossilícico se destacaram em relação aos demais, diferindo estatisticamente. Resultados semelhantes foram encontrados por Mekawy e Galal (2021), quando aplicaram silicato de potássio e algas marinhas via foliar, em diferentes doses, de forma isolada ou conjunta, nas videiras ‘Superior Seedless’ e ‘Red Globe’. Eles observaram diferenças significativas no teor de clorofilas totais, tanto quando esses compostos foram aplicados isoladamente quanto em conjunto.

Qin *et al.* (2016) comentam em seu artigo intitulado 'The influence of silicon application on growth and photosynthesis response of salt stressed grapevines (*Vitis vinifera* L.)' que o silício desempenhou um papel importante na proteção da maquinaria fotossintética contra danos e na melhoria da tolerância das videiras a diferentes tipos de estresse, aumentando a concentração de açúcares solúveis e amido.

Gráfico 2 - Teor médio de clorofilas *a*, *b*, total (*a*+*b*) e relação clorofila *a/b* (ICF) de ‘ARRA Sweeties’, em função das doses de Silício (TD e AM).



Média ± erro padrão

Fonte - O autor (2024).

A tabela 1 mostra os valores médios de proteínas totais, peróxido de hidrogênio, enzimas superóxido dismutase, catalase e peroxidase. Não houve diferença significativa para as variáveis de proteínas totais, H₂O₂ e enzima CAT. As enzimas SOD e POD diferiram estatisticamente ($p < 0,05$) entre os tratamentos avaliados. Para os resultados de proteínas totais, apesar de não terem diferença estatística entre si, verificou-se que os valores médios dos tratamentos com Si foram numericamente superiores ao controle, com destaque para o T3 (100 mL/ha de ácido monossilícico).

Para a produção do radical peróxido de hidrogênio, Zhan (2018) observou acúmulo induzido de H₂O₂ nas plantas de arroz tratadas com Si apenas quando atacadas por nematoides, o que pode revelar a ativação de alguns mecanismos bioquímicos de defesa pelas plantas apenas em condições potenciais de estresse.

O tratamento T2 apresentou maior atividade da enzima antioxidante superóxido dismutase, deferindo significativamente dos demais tratamentos. No caso das peroxidases, o mesmo tratamento se manteve superior ao controle. Ainda nesta variável, as plantas tratadas com as doses de 200 e 300 mL/ha de ácido monossilícico (T4 e T5, respectivamente) mostraram maiores teores em comparação com aquelas que não foram tratadas com silício, demonstrando que os tratamentos atuaram de maneira distintas para controlar o estresse oxidativo.

A superóxido dismutase (SOD) é a primeira linha de defesa contra EROS, realizando a dismutação dos íons superóxido, com a formação de H₂O₂. Os íons superóxidos são sintetizados em qualquer compartimento celular onde há um transporte de elétrons, portanto a SOD está presente em todos os compartimentos celulares susceptíveis ao estresse oxidativo. A SOD é classificada, de acordo com o seu metal cofator, em diferentes grupos, sendo o tipo e a quantidade de isoformas de SOD variáveis entre espécies vegetais. A FeSOD está presente nos cloroplastos, MnSOD, presente nas mitocôndrias e peroxissomos, e as Cu/Zn-SOD, presentes nos cloroplastos, peroxissomos, no citosol e no espaço extracelular (Mittler *et al.*, 2004).

As peroxidases podem desempenhar papel fundamental na resposta de defesa, contribuindo na degradação do peróxido de hidrogênio, invertendo o processo de morte celular e conseqüentemente, a colonização do patógeno, estabelecendo o processo de resistência ao ataque destes microrganismos (Husain, 2010). A peroxidase (POD) é do grupo das oxidoreduções, sendo capaz de catalisar grande

número de reações oxidativas em plantas usando peróxido como substrato, ou, em alguns casos, oxigênio como um aceptor de hidrogênio (Freitas, 2008).

Rasouli e Bayanati (2024) ao analisar a melhoria de características quantitativas e qualitativas de uvas de mesa cv. 'Fakhri' com aplicação foliar de silicato de potássio e ácido húmico mostraram efeito sinérgico no aumento da atividade de enzimas antioxidantes SOD, CAT, POD, o que está de acordo com os achados deste estudo.

Tabela 1 - Teores foliares de proteínas totais ($\mu\text{g g}^{-1}$ MF), peróxido de hidrogênio ($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \cdot \text{g}^{-1}$ MF), atividade das enzimas antioxidantes superóxido dismutase, catalase e peroxidase (U mg^{-1} de proteínas) em tecido vegetal.

Tratamento	Proteínas totais	Peróxido de hidrogênio	Superóxido dismutase	Catalase	Peroxidase
Tratamento controle	6,611 \pm 0,050 ns	0,866 \pm 0,013 ns	221,93 \pm 4,73 b	149,02 \pm 1,07 ns	3,12 \pm 0,24 b
750 g/ha TD	6,760 \pm 0,18	0,961 \pm 0,027	335,53 \pm 4,81 a	146,02 \pm 3,98	4,11 \pm 0,36 a
100 mL/ha AM	7,262 \pm 0,26	0,867 \pm 0,022	184,70 \pm 8,23 c	136,15 \pm 4,73	3,31 \pm 0,18 b
200 mL/ha AM	7,045 \pm 0,11	0,875 \pm 0,033	195,93 \pm 3,95 c	139,93 \pm 2,27	4,02 \pm 0,14 a
300 mL/ha AM	6,930 \pm 0,06	0,755 \pm 0,033	224,18 \pm 5,62 b	142,17 \pm 1,14	4,91 \pm 0,15 a
CV (%) =	4,70	6,22	5,54	4,59	11,65

Média \pm erro padrão

Valores seguidos de letras minúsculas e diferentes letras na coluna, em cada parâmetro, indicam que as doses diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$);

*ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p > 0,05$).

Fonte - O autor (2024).

Os dados biométricos de cacho e engajo estão apresentados na Tabela 2. Os parâmetros massa fresca, comprimento de cacho e comprimento de engajo apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Por outro lado, os parâmetros taxa de degrana e massa fresca de engajo não apresentaram diferenças significativas.

Para massa fresca de cacho, os tratamentos de 750 g/ha de terra de diatomáceas e 200 mL/ha de ácido monossilícico se destacaram em relação aos demais. Na variável comprimento de cacho, a dose de 200 mL/ha foi igual ao tratamento controle, em que não houve nenhuma aplicação de Si. Os demais tratamentos tiveram valores médios inferiores estatisticamente. Diferentemente, as

plantas tratadas com as três doses de ácido monossilícico expressaram um maior comprimento de engajo quando comparadas às plantas que foram tratadas com terra de diatomáceas (T2).

Mekawy e Galal (2021), citado anteriormente neste trabalho, apresentou resultados semelhantes também na alteração das propriedades físicas do cacho, como comprimento, largura, peso e número de cachos em videiras 'Superior Seedless' e 'Red Globe'.

Nascimento *et al.* (2022) ao avaliar os efeitos da aplicação de silício no solo sobre a qualidade e rendimento de uvas de mesa (*Vitis vinifera* L.) cultivadas no clima semiárido do Brasil, constataram aumento significativo no peso do cacho, bagas por cacho e crocância das bagas em videiras 'ARRA Sweeties' e 'BRS Vitoria'. O autor relatou incremento de 20% com a dose de 175 kg/ha de terra de diatomáceas na primeira cultivar citada.

Silveira *et al.* (2019) investigaram o impacto da aplicação de silício em videiras 'Chardonnay' e observaram um aumento significativo na largura dos cachos. Ao aplicar silicato de sódio, o autor mostrou que houve incremento de 22,8% em relação ao tratamento que não utilizou silício.

Baga solta do engajo ou degrana é uma das principais causas de diminuição do valor comercial das uvas de mesa, pois compromete a aparência dos cachos e reduz a aceitação no mercado (DENOTI *et al.*, 2005). Estudos de Ribeiro *et al.* (2014) indicam que a degrana é o segundo maior fator de perdas pós-colheita, sendo responsável por aproximadamente 20,9% das perdas em uvas de mesa. Nesse trabalho, observou-se que o percentual de degrana não diferiu significativamente quando quantificadas durante as avaliações pós-colheita. Apesar disso, nota-se uma tendência do tratamento controle ter sido mais suscetível a este tipo de problema, em relação aos demais cachos das plantas tratadas com Si. Assim, o T1 apresentou valor médio acima de 6% de degrana, enquanto os demais ficaram abaixo de 5%. As normativas brasileiras e internacionais oficiais permitem até 5% de degrana para a categoria extra e 10% para categoria I, sendo considerado como defeito leve (Brasil, 2002; Unece, 2016).

Tabela 2 - Variáveis biométricas de massa fresca de cacho (g), comprimento de cacho (cm), massa fresca de engaço (g), comprimento de engaço (cm) e porcentagem degranada (%).

Tratamento	Cacho			Engaço	
	Massa fresca (g)	Comprimento (cm)	Degrana (%)	Massa fresca (g)	Comprimento (cm)
Tratamento controle	304 ± 7,4 b	22,44 ± 0,4 a	6,16 ± 1,61 ns	7,43 ± 0,2 ns	17,38 ± 0,6 b
750 g/ha TD	344 ± 8,3 a	21,99 ± 0,4 b	3,13 ± 0,46	6,34 ± 0,9	17,93 ± 1,1 b
100 mL/ha AM	311 ± 6,3 b	21,68 ± 0,4 b	4,59 ± 1,00	6,87 ± 0,5	20,63 ± 1,2 a
200 mL/ha AM	328 ± 8,5 a	23,14 ± 0,6 a	4,38 ± 0,72	9,50 ± 0,4	23,50 ± 0,6 a
300 mL/ha AM	313 ± 5,4 b	20,63 ± 0,4 b	3,91 ± 0,47	7,91 ± 1,0	20,50 ± 1,7 a
CV (%) =	9,86	8,01	88,06	15,64	12,45

Média ± erro padrão

Valores seguidos de letras minúsculas e diferentes letras na coluna, em cada parâmetro, indicam que as doses diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$);

* ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p > 0,05$).

Fonte - O autor (2024).

A tabela 3 apresenta os resultados referentes às análises das bagas dos cachos selecionados. Sólidos solúveis e acidez titulável foram semelhantes entre si, enquanto a relação SS/AT (ratio) ocorreu diferença estatística. Nesta variável, os tratamentos de 750 g/há de terra de diatomáceas (T2) e de 300 mL/ha de ácido monossilícico (T5) se destacaram em comparação com os outros avaliados.

Machado (2019) apresentou dados semelhantes a estes, não encontrando diferenças significativas nos parâmetros SS, pH, Ácido Tartárico e AT, mas apenas no conteúdo de Ácido Málico, quando aplicou silicato de sódio em videiras 'Merlot', cultivas no Rio Grande do Sul. Costa *et al.* (2024) também revelou que a aplicação de silício na videira 'BRS Isis' não teve impacto nas variáveis Sólidos Solúveis e Acidez Titulável. Já Nascimento *et al.* (2022) observaram um aumento de 13% nos teores de sólidos solúveis (SS) na mesma cultivar de uva ao aplicar a dose de 350 kg/ha de terra de diatomáceas (TD), porém não encontraram efeitos para a relação SS/AT.

Tabela 3 – Variáveis de sólidos solúveis (°brix) e acidez (g de ácido tartárico/100 mL).

Tratamento	Baga		
	SS (°Brix)	Acidez (g de ácido tartárico/100 mL)	Ratio (SS/AT)
Tratamento controle	19,10 ± 0,46 ns	0,70 ± 0,054 ns	27,82 ± 1,06 b
750 g/ha TD	20,19 ± 0,71	0,62 ± 0,025	32,63 ± 1,42 a
100 mL/ha AM	19,66 ± 0,44	0,65 ± 0,003	30,48 ± 0,69 b
200 mL/ha AM	18,82 ± 0,35	0,65 ± 0,022	29,36 ± 0,91 b
300 mL/ha AM	20,30 ± 0,58	0,60 ± 0,014	33,72 ± 0,99 a
CV (%) =	10,31	8,93	13,49

Média ± erro padrão

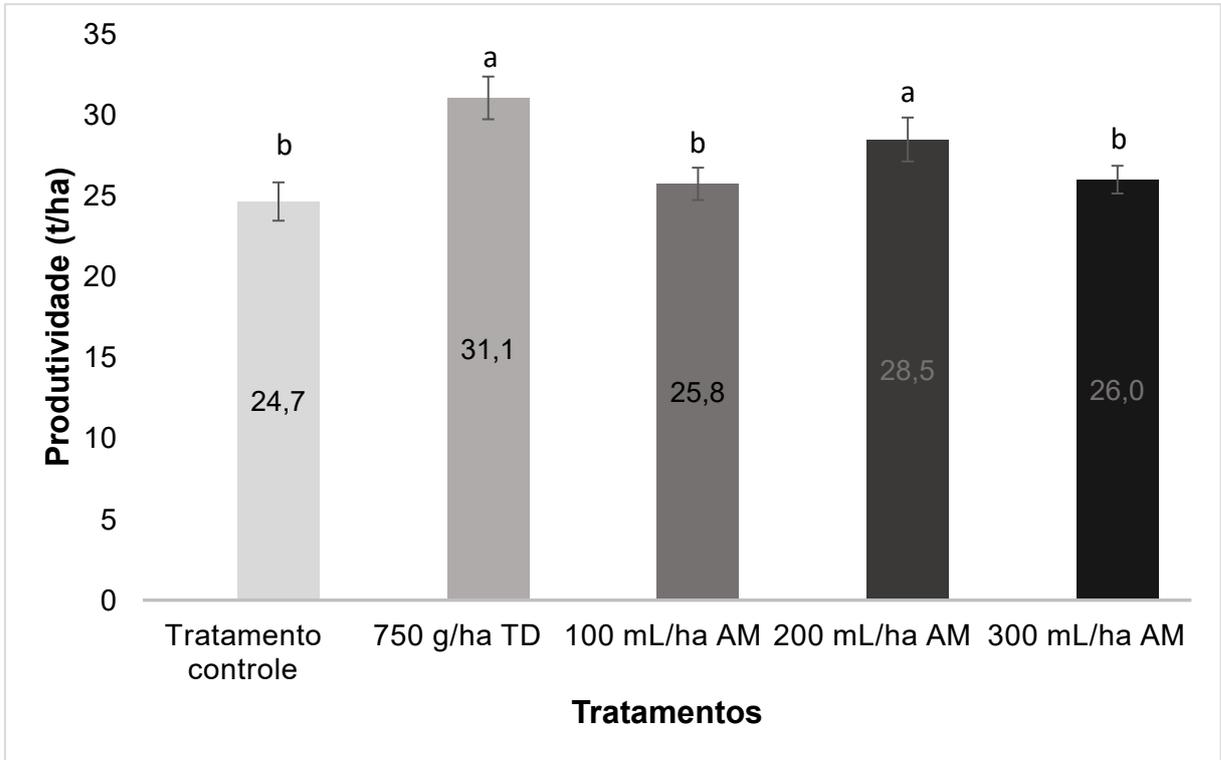
Valores seguidos de letras minúsculas e diferentes letras na coluna, em cada parâmetro, indicam que as doses diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$);

*ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p > 0,05$).

Fonte - O autor (2024).

No que tange à produtividade (gráfico 3), expressa em t/ha, a aplicação de silício influenciou significativamente. As plantas tratadas com terra de diatomáceas (T2) e com a dose de 200 mL/ha (T4) de ácido monossilícico foram as mais produtivas. O tratamento T2 obteve o maior valor médio numérico em relação ao tratamento controle, cerca de 25% superior. Já o tratamento T4 apresentou incremento de, aproximadamente, 15% sobre as plantas que não foram aplicadas nenhuma dose de Si. Esses resultados estão em concordância com pesquisas anteriores conduzidas por Luz (2021), que avaliou formulados à base de silício na qualidade dos cachos de videira no Vale do São Francisco, mesma região do presente experimento. No referido trabalho, a autora relatou aumento de até 40% nas plantas tratadas, ante as não tratadas. Palinguer *et al.* (2022), no entanto, observaram que a aplicação foliar de silício não influenciou as variáveis de produtividade ao analisar o efeito da aplicação de silício no desempenho agrônomico da videira 'niágara branca'.

Gráfico 3 - Produtividade estimada de uvas da cultivar 'ARRA Sweeties' em plantas tratadas com silício, expressa em toneladas por hectare



Fonte - O autor (2024).

6 CONCLUSÕES

Todos os tratamentos com silício aumentaram significativamente a área foliar das videiras.

O Si contribuiu para a manutenção de elevados teores de clorofilas a e b.

O uso do silício nas videiras aumentou a atividade da enzima superóxido dismutase e peroxidase.

A aplicação de silício, a partir de 750 g/ha de terra de diatomáceas e 300 mL/ha de ácido monossilícico, promoveram aumento da massa fresca do cacho e da relação brix/acidez (ratio) nas uvas 'ARRA Sweeties'.

O comprimento do cacho aumentou com a aplicação de 200 mL/ha de ácido monossilícico.

Houve incremento da produtividade das videiras tratadas com 750 g/ha de terra de diatomáceas e 200 mL/ha de ácido monossilícico.

O silício, aplicado de forma criteriosa, pode ser uma importante ferramenta no manejo da videira, contribuindo na proteção das plantas contra danos oxidativos, uma maior resiliência a condições adversas, aumento da eficiência produtiva e qualidade final dos frutos.

Estudos adicionais são recomendados para explorar a interação do Si com outros fatores de manejo e condições edafoclimáticas, ampliando o entendimento de seu papel no cultivo da videira.

7 REFERÊNCIAS

- ABDALLA, M. M. **Ace beneficial effects of diatomite on the growth, the biochemical contents, and polymorphic DNA in *Lupinus albus* plants grown under water stress**. 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Mona-Abdalla/publication/273009767>. Acesso em: 27 jul. 2024.
- AFIFI, M. Vineyard light manipulation and silicon enhance ethylene-induced anthocyanin accumulation in red table grapes. **Frontiers in Plant Science**, Califórnia, v.14, 2023.
- AHANGER, M. A. *et al.* Integration of silicon and secondary metabolites in plants: a significant association in stress tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v.71, n.21, p.6758–6774, 2020.
- ALVARENGA, A. A.; NERY, F. C.; RODRIGUES, A. C. **Experimentação em fisiologia vegetal**. Lavras: Ufla, 171 p, 2014.
- ASSIS, J. S. de; LIMA FILHO, J. M. P.; LIMA, M. A. C. de. **Aspectos fisiológicos da videira**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2001. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/157816/1/OPB705.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2024.
- BORGES, R. M. E.; SOARES, J. M.; LIMA, M. A. C. de. Características da viticultura no Vale do Submédio São Francisco. In: LIMA, M. A. C. de; SA, I. B.; KIILL, L. H. P.; ARAUJO, J. L. P.; BORGES, R. M. E.; LIMA NETO, F. P.; SOARES, J. M.; LEAO, P. C. de S.; SILVA, P. C. G. da; CORREIA, R. C.; SILVA, A. de S.; SÁ, I. I. S.; SILVA, D. F. da. **Subsídios técnicos para a indicação geográfica de procedência do Vale do Submédio São Francisco: uva de mesa e manga**. Petrolina: Embrapa Semiárido, p. 30-33, 2009.
- BRASIL. Instrução Normativa nº 1, de 1 de fev. de 2002 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regulamento técnico de identidade e de qualidade para

a classificação da uva fina de mesa. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 4 fev. Seção 1, p.9, 2002.

BUCK, G. B. Potassium silicate as foliar spray and rice blast control. **Journal of Plant Nutrition**, Oxford, v.31, p.231–237, 2008.

CLOSSET, I. *et al.* Seasonal evolution of net and regenerated silica production around a natural Fe-fertilized area in the Southern Ocean estimated with Si isotopic approaches. **Biogeosciences**, v.11, p.5827–5846, 2014.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO VALE DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA (CODEVASF). **Produção de frutas no Vale do São Francisco**.

Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br>. Acesso em: 16 nov. 2024.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; MANDELLI, F. Uva em clima tropical. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. 1. ed. Brasília, DF: INMET, 2009. p. 517-530. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/575094>. Acesso em: 3 jan. 2024.

COSKUN, D. The controversies of silicon's role in plant biology. **New Phytologist**, Oxford, v.221, p.67–85, 2019.

COSTA, V. B., *et al.* De. Silício No Controle Da Podridão Da Uva Madura Na Cultura Da Videira. **Observatório De La Economía Latinoamericana**, 22(6), e5498, 2024.

<https://doi.org/10.55905/oelv22n6-246>

CSISZÁR, J. *et al.* Different peroxidase activities and expression of abiotic stress-related peroxidases in apical root segments of wheat genotypes with different drought stress tolerance under osmotic stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 52, p. 119–129, 2012.

DA LUZ, A. P. R. **Efeito do AtivaSi sobre a fisiologia, produção da planta e qualidade dos cachos de videira Arra 15® no vale do São Francisco**. 2021.

Trabalho de Conclusão de Curso (Acadêmico em Agronomia) – Curso de Bacharel em Agronomia - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sertão do Pernambuco, Petrolina, 2021.

DENOTI, A. M. *et al.* Uva “Niagara Rosada” cultivada no sistema orgânico e armazenada em diferentes temperaturas. **Revista Ciências e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, p. 546-552, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/hsbfwpzjfvppv8f7bmxnzpj/?lang=pt>. Acesso em: 27 Julho 2024.

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

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of the National Academy of Sciences USA**, Washington, D.C., v.91, p.11–17, 1994.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183 p.

FAUTEUX, F. *et al.* Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. **FEMS Microbiology Letters**, Oxford, v.249, n.1, p.1-6, 2005.

FREITAS, A. A. de *et al.* Atividades das enzimas peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) nas uvas das cultivares Benitaka e Rubi e em seus sucos e geleias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 172-177, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000100025>. Acesso em: 27 nov. 2024.

GALINDO, F. S. *et al.* Silicon Amendment Enhances Agronomic Efficiency of Nitrogen Fertilization in Maize and Wheat Crops under Tropical Conditions. **Plants**, Basel, v.10, 2021. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)

GRATÃO, P. L.; POLLE, A.; LEA, P. J.; AZEVEDO, R. A. Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. **Functional Plant Biology**, v. 32, p. 481–494, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/262995774_making_the_life_of_heavy_metal-stressed_plants_a_little_easier. Acesso em: 27 julho de 2024.

GUERRA C. C. Maturação da uva e condução da vinificação para a elaboração de vinhos finos. In: regina, m. A. (ed). **Viticultura e enologia: atualizando conceitos**. Caldas: epamig – fecd, p. 179 – 192, 2001.

HARTLEY, S. E. *et al.* Defending the leaf surface: intra-and inter-specific differences in silicon deposition in grasses in response to damage and silicon supply. **Frontiers Plant and Science**, v.6, n.35, 2015.

HUSAIN, Q. Peroxidase mediated decolorization and remediation of wastewater containing industrial dyes: a review. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 9, n. 2-3, p. 117-140, 2010.

HUTCHESON, S. W. Current concepts of active defense in plants. Annu. **Rev. Phytopathol**, Palo Alto, v.36, p.59–90, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção Agrícola Municipal 2021**: análise dos dados da fruticultura no Brasil. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 16 nov. 2024.

JAYAWARDANA, H. A. R. K. *et al.* Effect of root or foliar application of soluble silicon on plant growth, fruit quality and anthracnose development of capsicum. **Tropical Agricultural Research**, Peradeniya, v.26, p.74–81, 2014.

JONES, L.H.P.; HANDRECK, K.A. Silica in soils, plants, and animals. **Advances in agronomy**, v.19, p.107-149, 1967: disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211308607373?via%3diuhub>. Acesso em 27 Julho de 2024.

KARNIEL, E. S.; GIUMARRA, E. S. **Grapeplant named "arrafifteen"**. US pat. 2011/0219502 p1, 8 set, 2011 & grapa. Arravarieties. Grapa company, 2016.

KHANDAKER, L. *et al.* Foliar application of salicylic acid improved the growth, yield and leaf's bioactive compounds in red Amaranth (*Amaranthus tricolor* L.). **Vegetable Crops Research Bulletin**. v. 74, p. 77–86, 2011.

KOVÁCS, S. *et al.* The Multiple Role of Silicon Nutrition in Alleviating Environmental Stresses in Sustainable Crop Production. **Plants**, v. 11, 1233, 2022.

KUMAR, S. *et al.* Siliplant1 protein precipitates silica in sorghum silica cells. **Journal of Experimental Botany**. v.71, p.6830–6843, 2020.

LAANE, H. M. The Effects of Foliar Sprays with Different Silicon Compounds. **Plants**, Basel, v.7, n.45, 2018.

LAANE, H.M. The Effects of the application of foliar sprays with stabilized silicic acid: An overview of the results from 2003–2014. **Silicon**, v.9, p.803-807, 2017.

LEÃO, P. C. de S.; BORGES, R. M. E. **Utilização de porta-enxertos em cultivares de uvas sem sementes no Vale do São Francisco**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 29 p, 2011. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/920467?locale=es>. Acesso em: 3 jun. 2024.

LEÃO, P. C. de S.; LIMA, M. A. C. de. **Subsídios técnicos para a indicação geográfica de procedência do Vale do Submédio São Francisco**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2009. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/661917/1/Dora.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2024.

LEÃO, P. C. S. Produção de uvas sem sementes no Semiárido brasileiro. In: AGUILA, J. S.; AGUILA, L. S. H. **Vitivinicultura: função exata em cada processo**. Ponta Grossa: Atena, p. 70-81, 2020.

LIANG, Y. C. *et al.* Effects of foliar- and root-applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in *Cucumis sativus*. **Plant Pathology**, Oxford, v.54, p.678-685, 2005.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods Enzymology**, v. 148, p. 350-382, 1987. DOI:

LIMA, J. R. F. de. **Atualizações das informações sobre a cultura da uva com dados da pam/ibge até 2023**. Observatório do mercado de uva da Embrapa Semiárido, 2014. Disponível em:

<https://observatoriosdemercado.github.io/uva/2024/pam/>. Acesso em 16 nov. 2024.

LUYCKX, M. *et al.* Silicon and Plants: Current Knowledge and Technological Perspectives. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v.8, n.411, 2017.

MA, J. F., TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan**. Amsterdam, p.1-294, 2002.

MACHADO, D. C. *et al.* Silicato de Sódio em 'Merlot' produzido em Dom Pedrito - Rio Grande do Sul (RS). In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE VITICULTURA Y ENOLOGÍA, 16., 2019, Ica - Peru. Memoria do 16 Congreso Latinoamericano de Viticultura y Enología. Ica - Peru: **Asociación Peruana de Enólogos**, 2019. v. 1, p. 34-38. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1121480?locale=en>. Acesso em: 10 dez. 2024.

MACHADO, V. V.; SILVA, A. O.; MELLO, S. C. Silício como mitigador do déficit hídrico na cultura da soja. **Série Produtor Rural**, Piracicaba: ESALQ - Divisão de Biblioteca, 50 p. il., n. 82, 2024. Disponível em:

<https://www.livrosabertos.abcd.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/1362>. Acesso 07 Dezembro 2024.

MAIA, J. D. G.; RITSCHER, P.; LAZZAROTTO, J. J. A viticultura de mesa no Brasil: produção para o mercado nacional e internacional. **Territoires du Vin**, Dijon, v.9, n.1, p. 1-9, 2018.

MANDLIK, R. *et al.* Significance of silicon uptake, transport, and deposition in plants. **Journal of Experimental Botany**, v.71, n.21, p.6703–6718, 2020.

MEKAWY, A.Y.; Galal, A.A. Effect of Foliar Application with Silicon and Seaweed Extract on the Vegetative Growth, Bunch Quality and Some Fungal Diseases of Red Globe and Superior Seedless Grapevines. **World Journal of Agricultural Sciences**, v.17, p.177-188, 2021.

MENEGALE, M.L.C; CASTRO, G. S. A; MANCUSO, M. A. C. Silício: interação com o sistema solo-planta. **Journal of Agronomics Ciences**, Umuarama, v.4, n. Especial, p.435-454, 2015. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/130412/1/cpaf-ap2015-silicio-interacao-com-o-sistema-solo-planta.pdf>. Acesso em 27 Julho de 2024.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA (MAPA). **Indicação Geográfica dos Vinhos do Vale do São Francisco**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura>. Acesso em: 16 nov. 2024.

MITANI, N.; MA, J. F. 2005. Uptake system of silicon in different plant species. **J. Exp. Bot.**, v.56, p.1255–1261.

MITANI-UENO, N.; MA, J. F. 2021. Linking transport system of silicon with its accumulation in different plant species. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.67, p.10–17.

MITTLER, R., *et al.*, (2004). "Reactive oxygen gene network of plants." **Trends in Plant Science**, 9(10), 490-498.

MOALE, C. *et al.* Effects of Siliceous Natural Nanomaterials Applied in Combination with Foliar Fertilizers on Physiology, Yield and Fruit Quality of the Apricot and Peach Trees. **Plants**, v.10, 2021.

NASCIMENTO, C. W. A. *et al.* Efficiency and recovery index of silicon of a diatomaceous Earth-based fertilizer in two soil types grown with sugarcane and maize. **Journal of Plant Nutrition**, Oxford, v.44, p.2347-2358, 2021.

NASCIMENTO, C. W. A. *et al.* Silicon Application to Soil Increases the Yield and Quality of Table Grapes (*Vitis vinifera* L.) Grown in a Semiarid Climate of Brazil. **Silicon**, Heidelberg, v.15, 2022.

NAZARALIAN, S. *et al.* Comparison of silicon nanoparticles and silicate treatments in fenugreek. **Plant Physiol. Biochem.** v.15, p.25–33, 2017.

NEERU, J. *et al.* Role of orthosilicic acid (OSA) based formulation in improving plant growth and development. **Silicon**, v.11, p.2407-2411, 2016.

OLIVEIRA, J. E. de M.; LOPES, P. R. C.; MOREIRA, A. N. Produção integrada no Vale do São Francisco: situação e perspectivas – a produção integrada de uvas como caso de sucesso. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOSSANIDADE**, 1., 2011, Jaboticabal. Resumos... Jaboticabal: FUNEP, 2011. p. 9-53. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/896531/1/Eudespalestras.pdf>. Acesso em: 3 jan. 2024.

PALINGUER, R. *et al.* **Efeito da aplicação de silício no desempenho agrônômico da videira ‘Niágara Branca’**. In: CONGRESSO BRASILEIRO INTERDISCIPLINAR

EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2022, Diamantina (MG). Anais... Diamantina: Even3, 2022. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/cobicet2022/486539-EFEITO-DA-APLICACAO-DE-SILICIO-NO-DESEMPENHO-AGRONOMICO-DA-VIDEIRA-NIAGARA-BRANCA>. Acesso em: 10 dez. 2024.

PENA-RODRIGUEZ, G. *et al.* Use of recycled diatomaceous earth from breweries as a means of transporting of macronutrients. **Uis Ing.**, v.18, p.139–145, 2019.

PRAKASH, N.B. *et al.* Effect of foliar spray of soluble silicic acid on growth and yield parameters of wetland rice in hilly and coastal zone soils of Karnataka, South India. **J. Plant. Nutr.**, v.34, p.883–1893, 2011.

QIN, L., *et al.* The influence of silicon application on growth and photosynthesis response of salt stressed grapevines (*Vitis vinifera* L.). **Acta Physiologiae Plantarum**, 2016. 38(3). doi:10.1007/s11738-016-2087-9

RAMTEKE, S. D. *et al.* Physiological studies on effects of Silixol on quality and yield in Thompson seedless grapes. **Annals Plant Physiology**. v. 26, p. 47–51, 2012.

RASOULI, M.; BAYANATI, M. Improving Quantitative and Qualitative Traits of Grapes cv. 'Fakhri' of Iran with Foliar Application of Potassium Silicate and Humic Acid. **Russian Journal of Plant Physiology**. 41, 2024. 10.1134/S1021443724605251.

RATNAKUMAR, P. *et al.* Effect of ortho-silicic acid exogenous application on wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought. **J. Funct. Environ. Bot.**, v.6, p.34-42, 2016.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; CURTIS, S. M. **Biologia Vegetal**. 8. ed. São Paulo: Artmed, 2017.

RIBEIRO, T. P. *et al.* **Perdas pós-colheita em uvas de mesa registradas em casas de embalagens e em mercado distribuído**, 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/140313/1/dora2014.pdf>. Acesso em: 27 Julho 2024.

RITSCHHEL, P. **Uvas desenvolvidas para climas tropicais conquistam o Reino Unido**. Embrapa Notícias, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca->

de-noticias/-/noticia/15640825/uva-desenvolvida-para-clima-tropical-conquista-inglaterra. Acesso em 16 Nov. 2024.

RODRIGUES, F. A. *et al.* Foliar application of potassium silicate reduces the intensity of soybean rust. **Australasian Plant Pathology**, Heidelberg, v.38, 2009.

RODRIGUES, F. A. *et al.* Foliar spray of potassium silicate on the control of angular leaf spot on beans. **Journal of Plant Nutrition**, Oxford, v.33, p.2082–2093, 2010.

RODRIGUES, F. A. *et al.* Silicon control of foliar diseases in monocots and dicots. In: Silicon and Plant Disease. Rodrigues F. A., and L. E. Datnoff (eds.). **Springer International Publishing**, Heidelberg, p.67–108, 2015.

SANDHYA, K. *et al.* Diatomaceous earth as source of silicon on the growth and yield of rice in contrasted soils of Southern India. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.18, p.344-360, 2018.

SANTOS, H. G. *et al.* **O novo mapa de solos do Brasil legenda atualizada**. Rio de Janeiro, 2011.

SANTOS, L. C. dos *et al.* The role of silicon in plants. **Research, Society and Development**, [S. I.], v. 10, n. 7, p. e3810716247, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i7.16247. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/16247>. Acesso em: 7 dec. 2024.

SCHABL, P. *et al.* Effects of silicon amendments on grapevine, soil and wine. **Plant, Soil and Environment**, v. 66, p. 403-414, 2020.

SHANMUGAIAH, V. *et al.* Effect of silicon micronutrient on plant's cellular signaling cascades in stimulating plant growth by mitigating the environmental stressors. **Plant Growth Regul** **100**, Amsterdam, p. 391–408, 2023.

SHIVARAJ, S. M. *et al.* Outstanding Questions on the Beneficial Role of Silicon in Crop Plants. **Plant Cell Physiol**, v.63, p.4-18, 2022.

SHWETHAKUMARI, U. Effect of foliar application of silicic acid on growth, yield and quality of soybean [*Glycine max.* (L)]. In: **Proceedings of the 7th International Conference on Silicon in Agriculture**, Bengaluru, India, p. 24-28, 2017.

SILVEIRA, J. M. *et al.* Silicato de sódio em cacho e planta da 'Chardonnay' em Dom Pedrito – Rio Grande do Sul (RS), 2019.

SOBRAL, M. F. *et al.* Escória de siderúrgica e seus efeitos nos teores de nutrientes e metais pesados em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.8, p.867-872, 2011.

SORATTO, R.P. *et al.* Yield, tuber quality, and disease incidence on potato crop as affected by silicon leaf application. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.47, p.1000–1006, 2012.

STRUYF, E. *et al.* The global biogeochemical silicon cycle. **Silicon**, v.1, p.207–213, 2009.

SURIYAPRABHA, R. *et al.* Foliar application of silica nanoparticles on the phytochemical responses of Maize (*Zea mays* L.) and its toxicological behavior. **J. Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic, and Nano-Metal Chemistry.**, v.44, p.1128–1131, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TEIXEIRA, A. H. C. de; MOURA, M. S. B. de; ANGELOTTI, F. **Sistema de Produção - Cultivo da Videira: Aspectos agrometeorológicos da cultura da videira**. 2. ed. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2010. (Sistemas de Produção, 1). ISSN 1807-0027. Disponível em: http://www.cpatia.embrapa.br:8080/sistema_producao/spuva/clima.html. Acesso em: 3 jan. 2024.

TEIXEIRA, A. H. de C. Informações agrometeorológicas do Polo Petrolina, PE/Juazeiro, BA - 1963 a 2009. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. 21 p. (Embrapa Semiárido. **Documentos**, 233). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/883657>. Acesso em 16 nov. 2024.

TUBANA, B. S. *et al.* A Review of Silicon in Soils and Plants and Its Role in US Agriculture: History and Future Perspectives. **Soil Science**, Madison, v.181, p.393-411, 2016.

UNECE - United Nations Economic Commission for Europe. **Concerning the marketing and commercial quality control of table grapes**. United Nations, New York and Geneva, 2016. Disponível em: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trade/agr/standard/fresh/FFVStd/English/19Tables_Grapes_2016_E.pdf>. Acesso em: 27 Julho 2024.

WANG, M. *et al.* Role of Silicon on Plant–Pathogen Interactions. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v.8, n.701, 2017.

WURZ, D. A.; NIZER, M.; ARENDARTCHUCK, C.; KOWAL, A. N.; ALMEIDA, R. S. de; MACIEL, T. A. S. Effect of foliar silicon application on agronomic performance and occurrence of downy mildew (*Plasmopora viticola*) in 'Bordô' vine cultivated in the Northern Plateau of Santa Catarina. **Research, Society and Development, [S. I.]**, v. 10, n. 16, p. e353101623915, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i16.23915. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/23915>. Acesso em: 18 jul. 2024.

XU, R. *et al.* Functions of silicon and phytolith in higher plants. **Plant Signaling & Behavior**, Oxford, v.18, n.1, 2023.

YAMAJI, N.; MITATNI, N; MA, J.F. A transporter regulating silicon distribution in rice shoots. **Plant Cell**, v.20, p.1381–1389, 2008.

ZHAN, L. P. *et al.* Efeito de priming do silício aplicado na raiz no aumento da resistência induzida ao nematoide das galhas *Meloidogyne graminicola* no arroz. **BMC Plant Biology**, 2018.