UFRRJ

INSTITUTO DE AGRONOMIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO

DISSERTAÇÃO

Necessidade Hídrica e Produção de Zínias (*Zinnias Elegans* Jacq.) Cultivadas com Níveis de Adubação Silicatada e Irrigação Automatizada

Kellis Fernanda Amancio Moreira

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

NECESSIDADE HÍDRICA E PRODUÇÃO DE ZÍNIAS (*Zinnia Elegans* Jacq.) CULTIVADAS COM NÍVEIS DE ADUBAÇÃO SILICATADA E IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADA

KELLIS FERNANDA AMANCIO MOREIRA

Sob a Orientação do Professor
Daniel Fonseca de Carvalho

e Coorientação do Professor
Rogério Gomes Pêgo

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do título de **Mestra**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração Manejo do Solo e Conservação Ambiental.

Seropédica, RJ
Junho de 2023

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
Com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M835n

Moreira, Kellis Fernanda Amancio, 1992-
Necessidade Hídrica e Produção de Zínias (*Zinnias Elegans* Jacq.) Cultivadas com Níveis de Adubação Silicatada e Irrigação Automatizada / Kellis Fernanda Amancio Moreira.
- Seropédica, 2023.
37 f. : il.

Orientador: Daniel Fonseca de Carvalho.
Coorientador: Rogério Gomes Pêgo.
Dissertação (Mestrado). – – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo, 2023.

1. Produção de Flores. 2. Silicio. 3. Flores de corte. 4. Necessidade hídrica. 5. Longevidade pós-colheita. I. Carvalho, Daniel Fonseca de, 1968-, orient. II. Pêgo, Rogério Gomes. III. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo. IV. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte.

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

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA (CIÊNCIAS DO SOLO)

HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 71 / 2023 - CPGACS (12.28.01.00.00.00.27)

Nº do Protocolo: 23083.065419/2023-34

Seropédica-RJ, 27 de setembro de 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE AGRONOMIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO

KELLIS FERNANDA AMANCIO MOREIRA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra,** no Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, Área de Concentração em Manejo do Solo e Qualidade Ambiental.

TESE APROVADA EM 27/09/2023.

Daniel Fonseca de Carvalho. Dr. UFRRJ
(Orientador)
Leonardo Oliveira Medici. Dr. UFRRJ
Carlos Rodrigues Pereira. Dr. UFF

(***Assinado digitalmente em 28/09/2023 07:26***)
DANIEL FONSECA DE CARVALHO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DEPTOENG (12.28.01.00.00.00.44)
Matrícula: 1224578

(***Assinado digitalmente em 27/09/2023 18:02***)
LEONARDO OLIVEIRA MEDICI
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptCF (12.28.01.00.00.00.48)
Matrícula: 2181674

(***Assinado digitalmente em 28/09/2023 11:12***)
CARLOS RODRIGUES PEREIRA
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 655.031.126-87

Visualize o documento original em **https://sipac.ufrrj.br/public/documentos/index.jsp** informando seu número: 7**1**, ano: **2023**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DEMESTRADO**, data de emissão: **27/09/2023** e o código de verificação: **19dc7014e6**

DEDICATÓRIA

A memória de meu pai, Manoel Udson Moreira,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

De tudo que já vivi até agora, entre bons e maus momentos, confesso que esses dois últimos anos foram os mais desafiadores da minha vida até o momento. Não só por todos os nuances que a vida acadêmica traz por si só, mas também pelas perdas que tive. Portanto, gostaria de agradecer primeiramente à minha avó, América Marques Maia, e ao meu pai, Manoel Udson Moreira. Obrigado por tudo, vocês viverão eternamente em mim.

Agradeço meu orientador, Daniel Fonseca de Carvalho, por sua orientação, paciência e incentivos ao longo de todo o processo.

Aos meus coorientadores Rogério Gomes Pêgo e Nivaldo Schultz, pela parceria, por solucionarem meus problemas e pela generosidade em sempre me ajudarem nos momentos em que precisei.

Gostaria também de agradecer aos membros da banca de avaliação, Professores Leonardo Medici e Carlos Rodrigues Pereira, por dedicarem seu tempo e fornecerem valiosas sugestões e críticas construtivas que ajudaram a aprimorar este trabalho.

Além disso, devo expressar minha gratidão aos meus colegas do Grupo de Pesquisa Água e Solo em Sistemas Agrícolas (GPASSA), que me apoiaram e compartilharam ideias ao longo desta jornada acadêmica. Suas contribuições foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Não posso deixar de mencionar meus amigos e familiares, que sempre estiveram ao meu lado, fornecendo encorajamento e apoio emocional. Seu amor e compreensão foram essenciais para superar os desafios que encontrei ao longo dessa dissertação.

Por fim, gostaria de agradecer à Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRRJ) e ao programa de Pós-graduação em Agronomia-Ciência do Solo.

O presente trabalho foi realizado com bolsa da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) e financiado pela FAPERJ, junto ao Programa Cientista do Nosso Estado (E-26/202.909/2018).

RESUMO

MOREIRA, Kellis Fernanda Amâncio. **Necessidade hídrica e produção de zínias (*Zinnias elegans* Jacq.) cultivadas com níveis de adubação silicatada e irrigação automatizada.** 2023. 37 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, RJ, 2023.

A Zinnia cv "Gigante da California" vem ganhando popularidade como flor de corte na América do Norte, com expectativa de crescimento no mercado brasileiro. A disponibilidade de água é um elemento crucial quando se trata da produção de flores de corte e técnicas como o déficit hídrico controlado têm se mostrado eficazes na maximização da eficiência do uso da água. O silício, um elemento não essencial, tem efeitos bioestimulantes e tem sido utilizado na agricultura para mitigar os efeitos do estresse hídrico. Neste contexto, este estudo teve como objetivo avaliar a produção, a qualidade e a longevidade pós-colheita de hastes florais de zínia cultivadas sob diferentes níveis de irrigação e doses de silicato de potássio (K_2SiO_3). Na casa de vegetação, as mudas de zínia foram cultivadas em vasos de 8 L preenchidos com mistura de solo arenoso e esterco bovino (2,0:0,5). O experimento seguiu o delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 4x4, com cinco repetições. As lâminas de irrigação variaram de 59 a 100% da necessidade hídrica da planta, aliadas a aplicações de K□SiO□ nas doses de 0, 75.150 e 300 mg por planta em intervalos de sete dias, totalizando cinco aplicações. A irrigação foi controlada automaticamente com sensor colocado no tratamento correspondente a 100% NH, e doses de 300 mg Si por planta foram utilizadas como controle. O volume de água aplicado durante o experimento correspondeu aos níveis de controle de 3,3; 3,9; 4,4 e 5,2 L por planta. A análise dos parâmetros de produção mostrou que o comprimento do caule, o diâmetro da flor e a massa fresca foram afetados pelas lâminas de irrigação; níveis mais elevados levaram a caules mais longos, flores maiores e aumento da biomassa. Além disso, a maior produção de massa seca tanto de folhas quanto de flores foi observada com doses de 150 mg de Si planta. Doses maiores de silício tiveram efeito negativo no diâmetro das flores, resultando em flores menores sem afetar os parâmetros comerciais. Níveis de irrigação mais elevados levaram a que mais caules cumprissem os padrões comerciais com base no seu tipo. Além disso, foi observada interação entre os tratamentos nos níveis de clorofila e área foliar. Os níveis de irrigação afetaram o teor de silício nas folhas de zínia, sendo observadas maiores concentrações de Si à medida que os níveis de irrigação aumentaram. As concentrações variaram de 1,4 a 2,4%. Em contrapartida, as flores mantiveram concentração média de 0,5% de Si independente do tratamento. A absorção de água e a massa fresca dos caules de zínia seguiram um padrão semelhante na fase pós-colheita, experimentando um aumento inicial nas primeiras 24 horas após a colheita, permanecendo estáveis por aproximadamente cinco a seis dias e depois perdendo gradativamente a massa fresca. As hastes tiveram longevidade comercial de 6,4 dias, sem diferença significativa entre os tratamentos. Entretanto, a longevidade total variou de 9,7 a 12,7 dias, e foi influenciada pelas lâminas de irrigação. Houve um aumento notável na longevidade das plantas tratadas com 75 mg de Si vegetal sob níveis de irrigação de 3,9 e 4,4 L por planta. A reposição das necessidades hídricas das zínias geralmente leva a maior produção e qualidade. Os resultados demonstraram que a adição de silício ao solo aumenta a área foliar e a biomassa do caule, mas doses mais elevadas podem diminuir o diâmetro das flores em plantas bem hidratadas. Por outro lado, doses mais baixas podem prolongar a longevidade do caule.

Palavras-chave: Produção de flores. Silício. Flores de corte. Longevidade pós-colheita.

ABSTRACT

MOREIRA, Kellis Fernanda Amâncio. **Water requirement and production of zinnias (*Zinnias elegans* Jacq.) cultivated with levels of silicate fertilization and automated irrigation.** 2023. 37 p. (Master in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, RJ, 2023.

Zinnia cv "Gigante da California" is gaining popularity as a cut flower in North America, with growth expected in the Brazilian market. Water availability is a crucial element when it comes to cut flower production and techniques such as controlled water deficit have been proven to be effective in maximizing water use efficiency. Silicon, a non-essential element, has bio-stimulant effects and has been used in agriculture to mitigate the effects of water stress. In this context, this study aimed to evaluate the production, quality, and post-harvest longevity of zinnia floral stems cultivated under different irrigation levels and doses of potassium silicate (K2SiO3). In the greenhouse, zinnia seedlings were grown in 8 L pots filled with a mixture of sandy soil and bovine manure (2.0:0.5). The experiment followed a randomized block design in a 4x4 factorial scheme, with five repetitions. The irrigation levels ranged from 59 to 100% of the plant's water requirement, coupled with applications of potassium silicate (K□SiO□) at doses of 0, 75,150, and 300 mg per plant at seven-day intervals for a total of five applications. Irrigation was controlled automatically with a sensor placed in the treatment corresponding to 100% NH, and doses of 300 mg Si per plant were used as control. The volume of water applied during the experiment corresponded to control levels of 3.3; 3.9; 4.4 and 5.2 L per plant. The analysis of production parameters showed that stem length, flower diameter, and fresh mass were affected by irrigation levels; higher levels led to longer stems, larger flowers, and increased biomass. In addition, the highest production of dry mass for both leaves and flowers was observed with doses of 150 mg plant Si. Higher doses of silicon had a negative effect on flower diameter, resulting in smaller flowers without affecting the commercial parameters. Higher irrigation levels led to more stems meeting commercial standards based on their type. Additionally, there was an observed interaction between treatments in chlorophyll levels and leaf. Irrigation levels affected the silicon contents in zinnia leaves, with higher Si concentrations being observed as irrigation levels increased. The concentrations ranged from 1.4 to 2.4%. In contrast, the flowers maintained an average concentration of 0.5% Si regardless of treatment. Water absorption and fresh weight of zinnia stems followed a similar pattern in the post-harvest stage, experiencing an initial increase within the first 24 hours after harvest, remaining stable for approximately five to six days, and then gradually losing fresh weight. The stems had a commercial longevity of 6.4 days, with no significant difference between treatments. However, the total longevity ranged from 9.7 to 12.7 days, and was influenced by irrigation levels. There was a noteworthy increase in longevity in plants treated with 75 mg plant Si under irrigation levels of 3.9 and 4.4 L plant. Replenishing the water requirement of zinnias generally leads to higher production and quality. The results demonstrated that adding silicon to the soil increases leaf area and stem biomass, but higher doses might decrease flower diameter in well hydrated plants. On the other hand, lower doses might extend stem longevity.

Key words: Flower production. Silicon. Cut flowers. Post-harvest longevity.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Padrão de comercialização para zínia "gigante da Califórnia Vermelha", baseado no comprimento de haste, diâmetro de haste e diâmetro de flor proposto por Martins et al. (2021)..... 12

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Croqui da disposição dos vasos em casa de vegetação. 9

Figura 2. Área experimental durante o estádio vegetativo (A) e reprodutivo (B) de plantas de zinia aos 30 e 48 dias após o transplantio, respectivamente. 10

Figura 3. Exemplo de uma flor de zinia recém-colhida, padronizada com 30 cm e 2 pares de folhas, em recipiente com água. 12

Figura 4. Temperatura média, máxima e mínima; e volume aplicado por irrigação em vasos com 100% de reposição da demanda hídrica de zinias "Gigante da California" durante o período experimental. 15

Figura 5. Volume e volume acumulado de água aplicado semanalmente durante o ciclo produtivo de zinia cv "Gigante da California". 16

Figura 6. Número de hastes florais de zínia, var Red California Giant, por planta, classificadas como padrão P30, P40, P50 e plantas fora do padrão (FP) obtidas a partir do cultivo sob os níveis de irrigação de 3,3; 3,9; 4,4 e 5,5 L por planta. 18

Figura 7. Comprimento de hastes (cm) de zinias cv "Gigante da California" cultivadas sob diferentes níveis de irrigação (L por planta). 18

Figura 8. Diâmetro (mm) das flores de zínia, var "Red California Giant", obtidas a partir do cultivo sob diferentes níveis de irrigação (L por planta) e diferentes doses de Si (mg planta $^{-1}$). 19

Figura 9. Massa fresca parte aérea (g) das flores de zínia, var "Gigante da Califórnia", obtidas a partir do cultivo sob diferentes níveis de irrigação (A) e sob diferentes doses de Si (mg planta $^{-1}$) (B). 20

Figura 10. Massa fresca parte aérea (g) das flores de zínia, var Red California Giant, obtidas a partir do cultivo sob diferentes níveis de irrigação e diferentes doses de Si (mg por planta). 20

Figura 11. Massa Seca total da parte aérea(g) e Massa seca da folha (g) de zínia, var "Gigantes da Califórnia", obtidas a partir do cultivo sob diferentes níveis de irrigação (A) e sob doses de Si (mg por planta) (B). 21

Figura 12. Massa Seca total das flores de zínia, var "Gigantes da Califórnia", obtidas a partir do cultivo sob diferentes níveis de irrigação (A) e sob doses de Si (mg por planta) (B). . 21

Figura 13. Índice de clorofila médio *a, b* e *total* de zinias cv "Gigante da California" cultivada sob diferentes níveis de irrigação. 23

Figura 14. Índices de clorofila *a, b* e *total* de plantas de zínia, cv "Gigante vermelha da California", obtido em cultivo sob níveis de irrigação de 3,3 e 4,4 L por planta e diferentes doses de adubação silicatada. 23

Figura 15. Superfície de resposta para Área foliar (cm²) de zinias (Cultivar "Giants of California), em função de níveis de irrigação (L por planta) e doses de silicato de potássio (mg de Si por planta). 24

Figura 16. Teor de Si (%) em folhas de zinias cv "Gigante da California" após o cultivo com diferentes níveis de irrigação. Conferir o R^2. Expressar em g/g. 25

Figura 17. Variação de peso fresco (%) no período pós-colheita de hastes de zinias, obtidas sobre diferentes lâminas de irrigação e diferentes concentrações de silicato de potássio. (A) 0 (B) 75, (C) 150 e (D) 300 mg planta $^{-1}$ Si. V1 = 3,3 L planta; V2=3,9 L planta; V3=4,4 L planta; V4 = 5,2 L planta. 27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas do substrato utilizado para o cultivo de plantas de zinia cv "Gigante da California". 8

Tabela 2. Número de acionamentos da irrigação e volume de água aplicado por fase de desenvolvimento de plantas de Zinias cv "Gigante da California". 16

Tabela 3. Efeito de diferentes níveis de irrigação e doses de silício em zinias cv. "Gigante da California" nos teores de clorofila (ICF) das plantas com 24 DAP. 22

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1
2. REVISÃO DE LITERATURA 2
2.1. Zínias 2
2.2 Irrigação no Cultivo de Flores 3
2.3 Uso do Silício na Agricultura 4
3. MATERIAL E MÉTODOS 8
3.1 Local e Condições Experimentais 8
3.2 Condução do Experimento e Delineamento Experimental 8
3.3 Parâmetros Fisiológicos e Fitotécnicos Avaliados 11
3.4 Avaliação do Teor de Silício nas Plantas e da Fertilidade no Substrato 12
3.5 Avaliações Pós-Colheita 12
3.6 Análises Estatísticas 13
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 15
4.1 Condições Meteorológicas e Volume de Água Aplicado 15
4.3 Clorofila 22
4.4. Área Foliar 24
4.5 Análise de Silício nas Folhas e Flores 25
4.6. Análises Pós-Colheita das Hastes 26
4.6.1 Variação do peso fresco e taxa de absorção de água 26
4.6.2 Longevidade de hastes 28
5. CONCLUSÕES 31
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 32

1. INTRODUÇÃO

As Zínias (*Zinnias elegans*) são plantas herbáceas anuais e fazem parte da família Asteraceae. Se destacam por suas inflorescências que apresentam pétalas em uma variedade de cores, que além de seu valor comercial, também atraem abelhas e borboletas, desempenhando um papel importante na polinização de áreas de produção agrícola. São amplamente cultivadas como flores de corte alternativas nos Estados Unidos e Canadá, mas no Brasil ainda é pouco explorada.

O cultivo de flores se caracteriza como uma atividade agrícola que demanda quantidade considerável de água, além de recursos financeiros a fim de atender aos padrões de qualidade exigidos pelo mercado. Diante da necessidade de uma gestão adequada dos recursos hídricos, várias estratégias podem ser adotadas, como o uso de déficit hídrico controlado e a aplicação de bioestimulantes, como o silício.

O silício é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre e ocorre principalmente em minerais inertes como areia, quartzo, caulinita, micas, feldspato e em outros minerais silicatados. Apesar de ser classificado como não essencial para a nutrição de plantas há evidências de que a absorção de silício promove efeitos benéficos no crescimento das plantas, tais como aprimoramento da capacidade fotossintética, melhoria da arquitetura da parte aérea, redução do ataque de pragas e patógenos e aumento da tolerância ao estresse hídrico.

Estudos demonstram que as zinias desenvolvem relativamente bem quando produzidas sob moderado déficit hídrico, mas os possíveis efeitos benéficos da adubação silicatada ainda é pouco discutido na floricultura. O papel do silício nessas plantas pode estar associado à regulação da transpiração, proporcionando aumento da resistência da cultura ao estresse hídrico. Portanto, a adubação a base de silicatos pode ser uma alternativa promissora para melhorar a qualidade e produtividade das culturas, além de contribuir para uma agricultura mais sustentável.

Considerando o pressuposto mencionado, levanta-se a hipótese de que a adubação silicatada em zínias reduz os efeitos deletérios causados pelo déficit hídrico, contribuindo para o aumento da eficiência do uso da água. Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o efeito de lâminas de irrigação combinadas com doses de adubação silicatada na produção, qualidade e longevidade das flores de zínias.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Zínias

O género Zínias (*Zinnias spp.*) é composto por 19 espécies de plantas arbustivas ou semi-arbustivas (STIMART & BOYLE, 2006a), sendo que a *Zinnias elegans* (Synm *Z. violaceae*) é a espécie mais cultivada e a mais importante em termos econômicos (STIMART & BOYLE, 2006a). São plantas herbáceas, anuais e possuem grandes e vistosos capítulos que podem ser encontrados em diversas cores e formas de pétalas de raio (lígula). Apresentam porte ereto, rápido crescimento e podem atingir até 1 m de altura. As folhas são ovais e lanceoladas (TORRES, 1963). São endêmicas de clareiras de florestas, locais gramíneos, campos, beira de estradas.

Originalmente as *Z. elegans* apresentavam flores de raios roxos, até surgir, em 1829, uma variedade com lígulas escarlate (Cocconea). As gerações subsequentes segregaram, proporcionando assim uma ampla variedade de cores. As "Giants of California", comercializadas atualmente, foram desenvolvidas por Bodger Seeds em 1926. Elas eram plantas mais altas, produziam hastes mais longas e fortes que as do tipo "Dahlia-Floered", outra cultivar comum, tornando as preferidas pelos floristas da época como flores de corte. As "Giants of California" são compostas por uma linhagem de 14 cultivares e uma variedade de cores (STIMART & BOYLE, 2006a).

A zinias são propagadas por sementes e podem produzir flores o ano todo em regiões quentes (MARTINS et al., 2021b). As zinias podem ser plantadas diretamente no solo ou por sementes, através da produção de mudas em bandejas. Podem ser cultivadas tanto em canteiros como em vasos com solos bem drenados e de fertilidade média (PÊGO et al., 2021). É uma espécie utilizada principalmente em paisagismo, como bordadura e em maciços florais, porém vem aumentando seu cultivo como flor de corte, principalmente na América do norte (LOYOLA et al., 2019).

A longevidade de flores de corte, período em que a planta se mantém viva após a colheita, é uma das principais características para determinar a qualidade da cultivar (ONOZAKI, 2018), sendo de suma importância para a sua comercialização. De acordo com Martins et al. (2021a), a longevidade comercial pós-colheita de Zinias varia de 8 a 14 dias. Espécies bem sucedidas de flores de corte devem ser capazes de resistir às condições de armazenamento e transporte, e a variações de temperatura, podendo ser submetidas a tratamentos com conservantes para prolongar a vida pós-colheita (HALEVY & MAYAK, 1979). O estágio apropriado da colheita de flores de corte afeta sua aparência e longevidade, e varia entre as espécies e cultivares. Vários fatores durante o cultivo pode afetar a qualidade e longevidade de plantas de corte, tais como a nutrição das plantas e ataque de pragas e doenças (Loyola et al., 2019), o fotoperíodo e a estação do ano (MARTINS ET AL., 2021B; STIMART & BOYLE, 2006a), e o corte das hastes durante a colheita (CARNEIRO et al., 2002).

A irrigação também é um fator importante a ser considerado. Twumasi et al., (2005) estudaram diferentes cultivares de zinias em diferentes condições de estresse hídrico e observaram que plantas cultivadas sob estresse hídrico tiveram menores diâmetros dos vasos do xilema, afetando a longevidade no pós-colheita. Demirel et al. (2021) observaram que restrições hídricas de até 25% não afetaram a qualidade das flores. Martins et al. (2021a) não observaram efeitos do estresse hídrico na longevidade pós-colheita de zínia, porém Martins et al. (2021b) concluíram que o estresse hídrico afetou negativamente o tamanho de hastes e flores e biomassa das plantas.

No Brasil, a comercialização de zinias ainda não é muito comum, porém espera-se que o país siga a tendência da América do Norte, onde a espécie é uma das plantas de corte alternativa mais comuns (LOYOLA et al., 2019).

2.2 Irrigação no Cultivo de Flores

A irrigação é uma das práticas de cultivo mais importantes, principalmente em cultivos protegidos onde as plantas ficam impossibilitadas de receber água da chuva. Apesar da irrigação permitir aumentos de produção e qualidade, quando realizada de forma incorreta pode estimular a incidência de doenças, afetar a nutrição das plantas e causar perdas de solo e nutrientes devido à erosão. É muito comum a irrigação ser realizada de forma empírica, apesar de existirem diversas metodologias que auxiliem no manejo da irrigação.

Em geral, a microirrigação por gotejamento é o sistema mais indicado para flores de corte, por evitar o molhamento da parte aérea, diminuindo a propagação de doenças (WHEALY, 1992). Além disso, proporciona economia de água e energia, reduz a mão de obra para operação do sistema e aumenta o rendimento e a qualidade dos produtos. A desvantagem do sistema é suscetibilidade ao entupimento dos emissores, dependendo da qualidade da água, e os custos de instalação e manutenção do sistema (RUIZ-SANCHEZ et al., 2010).

O manejo da irrigação é definido pelo momento e quantidade de água a ser aplicada ao longo de um ciclo de produção, proporcionando condições ideais para que a planta expresse seu potencial produtivo. O volume de água a ser aplicado está associado às condições edafoclimáticas locais e às necessidade hídrica das variedades cultivadas (ALLAN et al., 1998). Em cultivos protegidos, as condições microclimáticas normalmente diferem das condições externas, principalmente devido às variações dos elementos meteorológicos como radiação solar, velocidade do vento, umidade relativa e temperatura do ar. O que normalmente ocorre dentro desses ambientes é o aumento dos valores de temperatura e umidade relativa e diminuição da velocidade do vento e da radiação solar (CHOAB et al., 2019). Com isso, pode se concluir que a demanda de água em ambientes protegidos difere de ambientes externos.

O manejo da irrigação baseado no teor de água no solo é realizado a partir de sensores que medem o potencial matricial no solo (PMS, ψm) ou o volume de água no solo/substrato (VAS, θ), sendo os tensiômetros os sensores mais usados com base PMS (TSAI et al., 2020). Os sensores que medem o VAS mais usados no manejo de irrigação são o grupo de sensores dielétricos (INCROCCI et al., 2020). O manejo da irrigação com o uso de sensores se baseia em manter a umidade do solo entre dois limites, um inferior que representa o início da irrigação e um superior que representa o fim da irrigação. A diferença entre esses dois limites é o volume de água aplicada (INCROCCI et al., 2020; MEDICI et al., 2010; THOMPSON et al., 2007).

A medição do potencial matricial do solo ou da tensão de água no solo informa a disponibilidade de água para a cultura, pois caracteriza a quantidade de energia requerida pelas plantas para extrair água do solo (TOKUNAGA, 2005). Medidas de tensão tomadas no perfil do solo permitem estimar a quantidade de água a ser aplicada pela irrigação por meio de experimentação prática, ou a partir da curva de retenção de água no solo (curva característica) (TSAI et al., 2020). Valores recomendados de potencial matricial podem ser aplicados em vários tipos de solos, auxiliando na tomada de decisão onde quer que a cultura está localizada.

Para otimizar o processo de irrigação e ao mesmo tempo seguir as premissas ideais de quando e quanto irrigar, Medici et al. (2010) propuseram um dispositivo conhecido como acionador automático (AAI), que permite acionar e desligar o sistema de irrigação quando o solo atingir uma determinada tensão de água no solo/substrato. O AAI é considerado uma alternativa de baixo custo e de fácil montagem, voltado principalmente para pequenos

agricultores, e tem sido empregado com sucesso no manejo da irrigação de diversas culturas, inclusive em espécies ornamentais como zínia (MARTINS et al., 2021b) e Gladíolos (SANTOS et al., 2020) e girassol de corte (OLIVEIRA et al., 2018).

O AAI é composto por uma cápsula cerâmica de filtragem comercial de água conectada por tubo flexível a um pressostato, desses utilizados em máquinas de lavar roupa, sendo este totalmente preenchido com água. A cápsula cerâmica é enterrada no solo, na zona radicular, enquanto o pressostato fica de 0,40 m a 1,0 m abaixo da cápsula de cerâmica, protegido da umidade por um tubo PVC. Este desnível (h) entre a cápsula e o pressostato permite ajustar a tensão da água pelo qual o sistema de irrigação é acionado. O pressostato é o dispositivo que liga e desliga a bomba ou a válvula solenoide. Ele é mantido numa pressão positiva igual ou superior a 1 kPa (0,1 m de coluna de água). Quando o solo perde umidade, a água sai da cápsula cerâmica e umedece o solo, gerando uma pressão negativa acima do pressostato e, assim, acionando o sistema de irrigação. Com a reposição da água por irrigação, se dá o efeito inverso, fazendo com que o pressostato corte o fornecimento de energia, desligando o sistema.

Apesar da irrigação ser definida como a técnica de reposição de água a fim de atender às necessidades hídricas das culturas, a utilização de déficit hídrico controlado é uma das estratégias de manejo na agricultura irrigada que vem se destacando (GAVA et al., 2016). A técnica consiste na aplicação de água em quantidade menor à requerida pela cultura em determinados estádios de desenvolvimento ou durante todo o ciclo de cultivo. O objetivo dessa técnica é aumentar o rendimento sem aumentar o consumo de água, de modo que a redução na produção resultante dessa técnica seja pequena em comparação com os benefícios associados à economia de água (KIRDA, 2002). Twumasi et al. (2005), Demirel et al. (2021), Martins et al. (2021a) e Martins et al. (2021b) indicam que zínias toleram moderados níveis de déficit hídrico.

Em Twumasi et al. (2005), em condições de estresse hídrico (20% do conteúdo volumétrico de água (θ; v/v%) afetou significativamente a anatomia e o funcionamento do xilema, resultando em maior vida útil das flores cortadas de zinias. Segundo Demirel et al. (2021) o estrasse hídrico afetou negativamente o crescimento, mas não afetou a qualidade das flores a uma escassez de 25%. Martins et al. (2021b) observou que o déficit hídrico afetou a qualidade das hastes cultivadas em diferentes níveis de irrigação (46%, 64%, 75% e 100% da necessidade de água da espécie), mas em Martins et al. (2021a) não observaram a influência do déficit hídrico sobre os parâmetros avaliados no pós-colheita (longevidade, taxa de absorção de água, e variação de peso fresco).

2.3 Uso do Silício na Agricultura

O silício é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre (MA & YAMAJI, 2006), e ocorre principalmente em minerais inertes como areia, quartzo, caulinita, micas, feldspato e em outros minerais silicatados (LAWLOR, 2004). O teor de Silício no solo varia de 200 a 350 g kg^{-1} em solos argilosos, e de 450 a 480 g kg^{-1} em solos arenosos (SAVVAS & NTATSI, 2015), porém a maior parte está presente na forma de óxidos insolúveis, como silicatos (EPSTEIN, 1994). Devido à abundância do elemento na natureza, os sintomas de deficiência ou toxidez não costumam ser aparente nas plantas, por isso, os efeitos benéficos passaram despercebidos por muito tempo (MA & YAMAJI, 2006). Atualmente, a deficiência de Si é reconhecida como um fator limitante em algumas plantas acumuladoras de Si como arroz e cana-de-açúcar (MA & YAMAJI, 2006). Efeitos benéficos no crescimento, desenvolvimento e tolerância contra estresses bióticos e abióticos já foram observados em uma variedade de plantas (SAVVAS & NTATSI, 2015). Apesar do silício ser classificado como um elemento não essencial para a nutrição das plantas pelo critério de essencialidade,

conforme postulado por Annon e Stout (EPSTEIN, 1994), algumas espécies apresentam sintomas de deficiência em ambientes sem Si, sendo, por tanto, um elemento essencial para algumas plantas, por exemplo a cavalinha (*Equisetum arvense*), como observado por Chen & Lewin, (1969).

Em condições ideais, o silício atua na capacidade fotossintética das plantas, pois o acúmulo nas folhas produz folhas mais eretas, aumentando a intercepção de luz no dossel e, consequentemente, produzindo plantas maiores (ADATIA & BESFORD, 1986; SAVVAS & NTATSI, 2015). Contudo, geralmente seu efeito nas plantas é mais perceptível sobre alguma condição de estresse, pois na ausência de um fator estressante, a cultura pode não se beneficiar de aplicações de silício (GUNTZER et al., 2012; MA & YAMAJI, 2006). Experimentos de campo, casa de vegetação ou em laboratório tem comprovado que o Si pode mitigar os efeitos causados por estresses decorrentes de doenças, pragas, déficit hídrico, salinização e toxidez por metais pesados (VAN BOCKHAVEN et al., 2013; ZHU & GONG, 2014)

O uso do silício como fertilizante é comum em culturas como arroz e cana-de-açúcar, que são consideradas plantas acumuladoras, pois podem acumular mais de 1% de sílica em peso seco das folhas (EPSTEIN, 1994; MA & YAMAJI, 2006). As monocotiledôneas possuem maiores concentrações de Si nos seus tecidos; porém, estudos apontam altas concentrações de Si em algumas dicotiledôneas, como pepino, ervilha, olmo e girassol (GUNTZER et al., 2012).

Analisando diferentes técnicas de análises de Si em tecidos vegetais, Frantz et al., (2008) observaram que as zinias tratadas com 2,0 mM de silicato de potássio (K_2SiO_4) acumularam os maiores teores de Si (1,2% ± 0,03) entre as 14 espécies de flores estudadas (*Pelargonium* x *horturum*, *Dianthus* spp, *Tagetes* ereta, *Zinnia elegans*, *Antirrinum majus*, *Begoniaceae*, *Verbena* x *hybrida*, *Catharanthus* spp, *Impatiens hawkeri*, Euphorbia *pulcharima*, *Petunia* x *hybrida*, *Calibrachoa* x *hybrida*). Estudando os efeitos de diferentes fontes de silício em Zinias, Kamenidou et al. (2009) observaram efeitos positivos nas plantas tratadas com silicato de potássio (50 e 100 mg L^{-1}) e silicato de sódio (100 e 150 mg L^{-1}). Nesse estudo, o teor máximo de silício encontrado nas folhas foi de 1,7% nas plantas tradadas com silicato de potássio e nas plantas controle o teor de silício nas folhas foram de 0,52%. Geralmente, as plantas acumuladoras de silício, ou seja, aquelas que acumulam mais de 1% do peso seco, são as que mais se beneficiam da sua aplicação, pois sua deficiência no solo pode acarretar em perdas de produtividade, como observado em Poaceae por Zhu; Gong, (2014).

O silício tem forte afinidade com o oxigênio, sendo encontrado na natureza, principalmente, na forma de sílica (SiO□) ou silicatos quimicamente ligados com outros metais. Na solução do solo, o Si é encontrado como ácido monossilícico (H_4SiO_4). Em concentrações acima de 2nM a 25 °C na solução do solo, o ácido monossilícico precipita como sílica amorfa (SiO_2nH_2O) permanecendo sujeita a remoção do solo (HAYNES, 2014). O pH da rizosfera influência na solubilidade do elemento e na sua absorção pelas raízes (SAVVAS & NTATSI, 2015), predominante na solução do solo em pH menor que 7,0 devido ao pKa (9,6) do ácido (HAYNES, 2014). Vários outros fatores afetam a disponibilidade de Si na solução do solo, tais como o material de origem, grau de desenvolvimento do solo, profundidade, balanço hídrico, temperatura e atividade microbiana (OLIVEIRA et al., 2007). Em solos muito intemperizados há uma tendência de o silício estar presente principalmente na forma de quartzo, opala (SiO_2nH_2O) e outras formas de silício insolúvel, como em minerais primários, secundários ou então adsorvido aos coloides (SAVVAS & NTATSI, 2015).

O Si é absorvido pelas plantas e transportado via xilema para a parte aérea por meio da transpiração (BYBORDI, 2012). Os efeitos benéficos podem ser devidos ao seu acúmulo na parede celular (FERRÓN-CARRILLO; URRESTARAZU, 2021; KAMENIDOU et al., 2010;

ZHAO et al., 2013) ou à sua atuação em processos metabólicos (Haynes, 2014). No final do fluxo de transpiração, devido à perda de água, o Si concentra-se ao redor dos estômatos e se transforma na sua forma amorfa (HAYNES, 2014). As principais fontes do nutriente no solo são a decomposição de resíduos vegetais (DE TOMBEUR et al., 2020), a dissociação do ácido sílico polimérico e a liberação de Si associado a óxidos de Fe e Al (JONES & HANDRECK, 1967). Em culturas irrigadas, como na maioria das olerícolas, o Si também é reposto em algum nível pela água da irrigação (SAVVAS & NTATSI, 2015). Apesar da maioria das olerícolas não serem grandes acumuladoras do Si (<1%)(VOOGT; SONNEVELD, 2001), geralmente não se observam graves perdas de Si no solo como em cultivos de arroz e outros cereais (SAVVAS & NTATSI, 2015). Apesar disso, aplicações exógenas de silício podem ser benéficas (ADATIA; BESFORD, 1986; CHAKMA et al., 2021; DEHGHANIPOODEH et al., 2018; LACERDA et al., 2022; MA et al., 2004; PEREIRA et al., 2003).

Uma das principais razões pela qual o estresse hídrico inibe o crescimento vegetal é que durante o estresse há um desequilíbrio na produção de espécies de oxigênio ativo (EOA) e antioxidantes (SAVVAS & NTATSI, 2015). O EOA em grandes concentrações causa danos a vários componentes nas células. Para conter esses danos, as plantas desenvolveram sistemas de defesa antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos complexos (BAKHAT et al., 2018). A tolerância de plantas às condições desfavoráveis, principalmente em relação ao déficit hídrico, tem sido associada ao acúmulo de enzimas na parte área, indicando ser um mecanismo regulador de mudanças fisiológicas na planta (HASANUZZAMAN et al., 2018; Lacerda et al., 2022; MA et al., 2004). A partir da redução do potencial hídrico celular, os estômatos são fechados, levando consequentemente ao desenvolvimento de processos oxidativos, por meio do acúmulo de prolina, um mecanismo regulador de perda de água na planta, além da formação das espécies reativas de oxigênio (ROS): as enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) (GRATÃO et al., 2005).

Ma et al. (2016) observaram que a produção de antioxidantes é maior em plantas de trigo sob estresse hídrico tratadas com Si. Resultados semelhantes foram observados por Lacerda et al. (2022) para o rabanete sob estresse hídrico, e por Hasanuzzaman et al. (2018) em colza (*Brassica napus* L.). Em termos metabólicos, o Si melhora os aspectos de mitigação do estresse nas culturas pelo aumento da atividade de enzimas antioxidantes (HASANUZZAMAN et al., 2018; LACERDA et al., 2022; MA et al., 2016). Em estudos com pepino, MA et al. (2004) constataram que o silício aumentou o índice fotossintético líquido das plantas e reduziu a taxa de transpiração e a condutância estomática sob estresse hídrico, além de manter a taxa de transpiração e condutância estomática relativamente estável no estágio posterior do estresse por seca. O silício também aumentou o teor de água das folhas e biomassa do Pepino.

Apesar da abundância de Si na crosta terrestre, a maior parte dos compostos minerais contendo Si são pouco solúveis ou insolúveis. Outro fator, é o teor de minerais pesados nas fontes de Si. Apesar desses entraves, a indústria de silicatos solúveis já é bem estabelecida. O silicato de potássio (K□SiO□) é reconhecido como uma fonte segura pela Food and Drug Administration (FDA) nos Estados Unidos, e é o silicato mais comum usado para aliviar o estresse abiótico no controle em plantas (SAVVAS & NTATSI, 2015).

O Si pode ser adicionado como bioestimulante por aplicação foliar, incorporado no solo ou via fertirrigação. As aplicações foliares de Si evitam a imobilização química ou física do elemento, fazendo com ele funcione mais diretamente do que quando aplicado no solo (WANG et al., 2015). Essa afirmação é importante pois o Si tem baixa mobilidade na planta, ou seja, a sua redistribuição dentro da planta é baixa (PILON et al., 2013). As aplicações no solo são mais eficientes para aumentar os teores de Si nos tecidos vegetais, induzindo seus efeitos estimulantes desde que a fonte utilizada libere quantidades suficientes de Si solúvel

(HAYNES, 2014; SAVVAS & NTATSI, 2015). Outras fontes de Si para aplicação via solo são a Wollastonita, Olivina e terra de diatomáceas, que são fontes naturais; ou subprodutos da indústria de ferro, como escórias de aço, escoria ferromanganosa e sílica ativa (HAYNES, 2014). No entanto, a aplicação de Si só é justificável quando as concentrações no solo forem baixas (BERTHELSEN et al., 2003). De acordo com Tubaña & Heckman (2015), a concentração de silício nos solos varia de 0,1 a 0,6 mM na maiorias dos solos agricultáveis dependendo do pH, o que é algo em torno de 2,80 mg dm^{-3} a 17 mg dm^{-3}. Estudos com adubação silicatada em cana-de-açúcar definiram níveis de disponibilidade de Si no solo (extraído com $CaCl_2$ 0,01 mol L^{-1}) em quatro grupos: muito baixo (0-5 mg kg), baixo (5-10 mg kg^{-1}), limitado (10-20 mg kg^{-1}) e suficiente (20 a >50 mg kg^{-1}) (BERTHELSEN et al., 2003), esses parâmetros também foram usados na cana-de-açúcar em Camargo et al. (2013).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e Condições Experimentais

Plantas de zínias (*Zinnias elegans* Jacq.) cv. "Gigante da Califórnia Vermelha" foram cultivadas no período de 19 de outubro a 16 de dezembro de 2022, em casa de vegetação localizada no Setor de Horticultura do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ (latitude, 22° 45′ 48″ S; longitude, 43° 41′ 19″ W; altitude de 33,0 m).

As sementes de zinias foram semeadas em bandejas de isopor com 128 células usando substrato comercial Carolina Soil®. Aos 23 dias de semeadura foram transplantadas 3 mudas, com espaçamento de 15 cm entre si, em vasos com capacidade de 8,0 L, contendo 6 L de material de solo de textura arenosa (71% areia, 9% argila, 20% silte) e 2 L de esterco bovino.

As características químicas do material solo e do esterco foram analisadas antes condução do experimento, conforme Teixeira et al. (2017). O procedimento de extração de silício no solo foi realizado conforme metodologia de Kilmer (1965) e adaptado por Korndörfer et al. (1999). As características químicas do substrato podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do substrato utilizado para o cultivo de plantas de zinia cv "Gigante da California".

Materiais	pH H_2O	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	S	T	V	P	K	Si
		----------cmol c dm^{-3} ----------								%	mg dm^{-3}		
Solo	5,8	0,15	3,0	1,1	0,0	0,0	0,04	4,3	6,5	67,0	23,0	66,0	4,0
Esterco	8,1	0,52	5,5	3,5	1,3	0,1	2,60	5,8	7,2	77,5	3184	203,0	-
Solo + Esterco	6,8	0,06	3,3	1,9	0,3	0,0	1,90	5,5	7,4	77,3	1140	21,1	11,7

A capacidade de vaso, equivalente à capacidade de campo para culturas em vaso, foi obtida a partir dos critérios estabelecidos por Casaroli et al. (2008). O substrato apresentou densidade aparente de 1,38 g cm-3 e capacidade de retenção de água no solo de 0,23 cm^3 cm^{-3}.

O monitoramento meteorológico no interior da casa de vegetação foi realizado por meio de termo-higrômetros (mod. IMPACT), sendo registrados dados de temperatura e umidade.

3.2 Condução do Experimento e Delineamento Experimental

Foi utilizado delineamento em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 4x4, com cinco repetições (Figura 1). O primeiro fator consistiu em cinco doses de K□SiO□ aplicadas semanalmente via solo, após diluição em 50 mL de água por planta, nas concentrações de 0, 75, 150 e 300 mg por planta. Essas concentrações foram determinadas após a realização de um experimento preliminar com seis concentrações de K□SiO□: 0, 75, 150, 300, 750 e 1500 mg por por planta. Verificou-se que as duas últimas concentrações seriam fatais para as mudas, optando-se, então, pelas quatro primeiras concentrações, conforme a metodologia apresentada por Kamenidou et al., (2009).

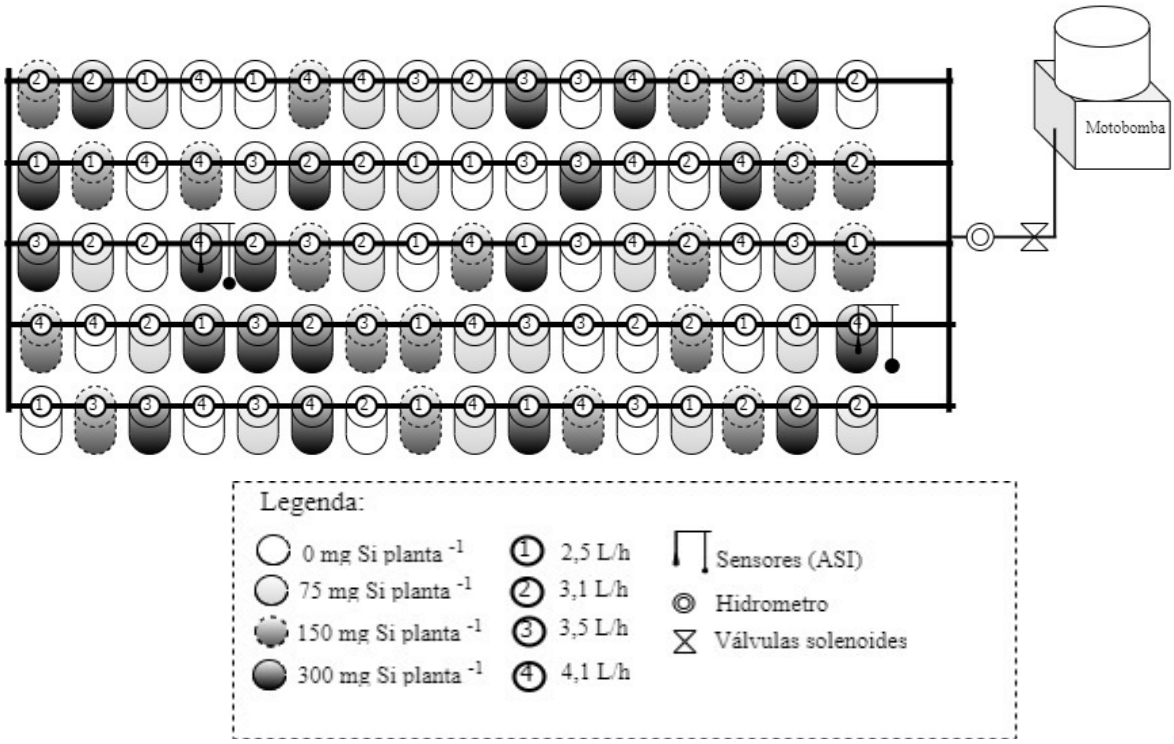


Figura 1. Croqui da disposição dos vasos em casa de vegetação.

As aplicações ocorreram durante cinco semanas, com intervalos de sete dias, utilizando o produto comercial Flex Silício (12% Si, 12% K_2O). O segundo fator avaliado correspondeu a quatro lâminas de irrigação, representando 61 (V1), 73 (V2), 85 (V3) e 100% (V4) da necessidade hídrica da espécie (NH). Cada unidade experimental foi composta por três plantas por vaso, totalizando 240 mudas distribuídas em 80 vasos de 8 L (Figura 1).

(A)

(B)

Figura 2. Área experimental durante o estádio vegetativo (A) e reprodutivo (B) de plantas de zinia aos 30 e 48 dias após o transplantio, respectivamente.

Foi utilizado sistema de irrigação por gotejamento, com linhas laterais constituídas por mangueiras de polietileno de 16 mm e emissores autocompensantes com vazões nominais de 4,0; 3,0; 2,0 e 0,5 L h^{-1} (PCJ-LCNL/Netafim), que foram combinados a fim de proporcionar as vazões desejadas. Após a realização de testes de uniformidade, os tratamentos foram caracterizados por 4,1; 3,5; 3,0; e 2,5 L h^{-1}. O sistema apresentou coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) (Equação 1) superior a 93% em todos os tratamentos, para uma pressão de serviço de 3.0 kPa no início da área experimental.

$$\mathrm{CUD} = 100 \,.\, \frac{\overline{X}_{25}}{\overline{X}} \qquad (1)$$

Em que:

$\overline{x}_{25}$ = valor médio das 25% menores descargas dos emissores, em L h^{-1};
$\overline{X}$ = valor médio das descargas de todos os emissores, em L h^{-1}.

O manejo da irrigação foi realizado de forma automática, por meio do acionador de irrigação (AAI) proposto por Medici et al. (2010). As microcápsulas porosas confeccionadas

manualmente utilizando velas de filtro doméstico foram posicionadas verticalmente no substrato, a uma profundidade de cerca de 0,10 m. O desnível entre a microcápsula e o pressostato foi de 0,40 m, correspondendo a uma tensão de água de 4,0 kPa. O sensor foi instalado no vaso correspondente ao tratamento com a combinação da maior vazão (100%) e maior dose de adubação silicatada.

Treze dias após o transplantio das mudas foi realizado desponte apical, para induzir a brotação lateral de ramos. Neste momento, também foi iniciado o manejo da irrigação com déficit hídrico e aplicação das primeiras doses de K□SiO□. A quantidade de água aplicada foi medida por meio de um hidrômetro instalado no início da linha de irrigação, cujas leituras eram realizadas diariamente no período da manhã, às 8 horas. A partir da vazão dos gotejadores, calculou-se a quantidade de água aplicada por vaso, que posteriormente foi dividida pelo número de plantas por vaso para obter o valor de água aplicada por planta diariamente. Ao final do ciclo, esses valores foram somados para obter o consumo acumulado de água (L por planta).

3.3 Parâmetros Fisiológicos e Fitotécnicos Avaliados

Os teores de clorofila (a, b e total) foram quantificados por meio do medidor de clorofila Clorofi-LOG (mod. CFL 1030, Falker) nas folhas mais jovens completamente expandidas e não-sombreadas de todas as plantas em dois períodos, com 23 e 34 dias após o transplantio.

A altura das plantas foi medida com régua graduada em 3 momentos distintos: nas mudas, após o desponte e aos 17 dias após o desponte. Após o corte, as hastes colhidas foram mantidas em água para permanecerem hidratadas. Em laboratório, foram avaliadas o comprimento de hastes, o diâmetro das flores e das hastes, e a massa fresca das hastes. A massa fresca foi obtida por meio da pesagem individual das hastes em balança analítica de 0,2 g de precisão. O diâmetro das hastes florais foi obtido na porção mediana da haste por um paquímetro digital (JOMARCA). Os comprimentos das hastes foram medidos com régua graduada e o diâmetro das flores e hastes foram medidos através de um paquímetro digital. Foi avaliado os diâmetros das hastes na porção mediana do material.

A classificação utilizada nas hastes florais seguiu o padrão proposto por Martins et al. (2021a) (Quadro 1), que considera-se a combinação entre comprimento de hastes, diâmetro de flores e o diâmetro de hastes. As quatro primeiras hastes colhidas por vaso, que se enquadraram no padrão comercial, foram padronizadas com 30 cm de comprimento e dois pares de folhas, e então separadas para análise de pós-colheita. Nas demais hastes, foi realizada a medição da área foliar com um integrador de área foliar (mod. Li-Cor 3100) e quantificado o número de folhas nessas hastes. Em seguida, as hastes foram colocadas em uma estufa a 65 ºC por 48 horas para obter a massa seca das flores, caules e folhas, utilizando uma balança analítica com precisão de 0,01 g.

Quadro 1. Padrão de comercialização para zínia "gigante da Califórnia Vermelha", baseado no comprimento de haste, diâmetro de haste e diâmetro de flor proposto por Martins et al. (2021).

Classificação	Padrão	Comprimento (cm)	Diâmetro Haste (mm)	Diâmetro flor (cm)
	P_{30}	$30,0 \leq C \leq 40,0$	$\geq 1,0$	
A1	P_{40}	$40,0 < C \leq 50,0$	$\geq 1,5$	$> 4,0$
	P_{50}	$C > 50,0$	$\geq 2,0$	
	P_{30}	$30,0 \leq C \leq 40,0$	$\geq 1,0$	
A2	P_{40}	$40,0 < C \leq 50,0$	$\geq 1,5$	$2,0 \leq D \leq 4,0$
	P_{50}	$C > 50,0$	$\geq 2,0$	
Fora do Padrão		<30 cm	< 30 cm	< 1mm

3.4 Avaliação do Teor de Silício nas Plantas e da Fertilidade no Substrato

A determinação dos teores de silício nas folhas e flores foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Elliott & Snyder (1991) e adaptada por Korndörfer et al. (1999). As flores e folhas secas em estufa foram trituradas, e 1g de material foi separado para as análises. Foram realizadas 3 repetições por tratamento.

As características químicas do substrato foram analisadas após a condução do experimento em cada vaso, seguindo o protocolo de Teixeira et al. (2017).

3.5 Avaliações Pós-Colheita

As hastes que foram selecionadas para a avaliação pós-colheita foram padronizadas com um comprimento de 30 cm e dois pares de folhas, e em seguida pesadas novamente. Essas hastes foram individualmente colocadas em recipientes sob uma bancada arejada no laboratório, à temperatura ambiente, contendo aproximadamente 200 mL de água (Figura 3).

Figura 3. Exemplo de uma flor de zinia recém-colhida, padronizada com 30 cm e 2 pares de folhas, em recipiente com água.

As variações de peso fresco e absorção de água foram realizadas diariamente até senescência das hastes florais. As hastes foram pesadas em balança analítica com 0,2 g de precisão e a variação do peso fresco (VPF) foi obtida através do uso da Equação 2:

$$VPF(\%) = \frac{PFt * 100}{PFi} \quad (2)$$

Em que:

PFt = peso fresco da haste floral no dia t da avaliação pós-colheita (g); e
PFi = peso fresco inicial da haste floral (g).

O volume de água de cada recipiente foi pesado sem as hastes, e a água foi trocada diariamente. A taxa de absorção de água (TAA) foi estimada pelo volume consumido de água em relação ao peso fresco inicial da haste, através da Equação 3:

$$TAA = \frac{(PAi - PAf) * 1000}{PFi} \quad (3)$$

Em que:

TAA = taxa de absorção de água (mg g^{-1} de peso fresco de haste);
PAi = peso inicial da água (g);
PAf = peso final da água (g); e
PFi = peso fresco inicial da haste floral (g).

A longevidade das hastes foi avaliada através da escala de senescência proposta por (MARTINS et al., 2021a), no qual foi atribuído diariamente notas de 0 a 5 às hastes florais, por meio de uma avaliação visual observando sintomas de senescência, como descoloração de pétalas.

3.6 Análises Estatísticas

A normalidade dos dados foi avaliada por meio do teste de Shapiro-Wilk, enquanto a homogeneidade foi verificada utilizando o teste de Bartlett. Ambos os testes foram realizados com um nível de significância de 5%. Com base nos resultados obtidos, identificou-se a necessidade de transformar alguns dados para atender às pressuposições dos testes estatísticos. Os seguintes dados foram transformados: o diâmetro das flores e o peso fresco foram transformados em X^{-1}; a matéria seca total e a matéria seca das folhas e folhas foram transformadas em $\sqrt{X}$; e a área foliar foi transformada em log. O número de hastes por planta que foram padronizadas em P30 e P50 foram transformadas em $\sqrt{X}$ e o número de hastes fora do padrão em $X^{-1/3}$.

Após a transformação dos dados, foi realizada uma análise de variância (ANOVA) para investigar as diferenças entre os grupos. Os grupos foram comparados utilizando um nível de significância de 10% para determinar se existiam diferenças estatisticamente significativas entre eles.

Rejeitando a hipótese nula, foram realizadas análises de regressão com modelos de regressão linear e quadrática, relacionando todos os atributos com os níveis de irrigação (NI), com exceção do diâmetro das hastes e massa seca total, pois esses atributos não foram afetados de forma significativa ($p > 0,05$, teste F) pelos tratamentos. Para os atributos Diâmetro de flores, Área foliar, CHLa, CHLb e CHLt, e longevidade das hastes a interação entre as doses de silício e os NI foram significativas ($p < 0,05$, teste F) e massa fresca ($p<0,10$). Nestes casos, a análise de regressão multivariada foi realizada para área foliar,

diâmetro de flores e massa fresca da parte aérea. Para os dados de clorofila e longevidade das hastes a regressão foi segmentada em cada dose de silício.

Os modelos de regressão foram analisados utilizando o método dos mínimos quadrados por meio de álgebra matricial (FERREIRA, 2019). A significância dos coeficientes dos modelos foi testada pelo teste t. Os melhores modelos foram escolhidos considerando os coeficientes de determinação (R^2) mais altos, além do nível de significância mais baixo dos coeficientes dos modelos pelo teste t e a não significância residual pelo teste F ($p > 0,05$).

Para doses de silício, foi realizado o teste de comparação de médias de Tukey com um nível de significância de 10%, sendo significativo nos atributos massa fresca, massa seca das flores e folhas. Todas as análises estatísticas foram conduzidas utilizando o software R, versão 4.2.1.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Condições Meteorológicas e Volume de Água Aplicado

O período experimental, após o transplante das mudas, totalizou 58 dias. Durante esse período, a temperatura do ar variou de 16,3 a 49,7 ºC (Figura 4), sendo as temperaturas médias de 19,53 ºC (mínima) e de 31,8 ºC (máxima). A fase I corresponde ao período entre o transplante e o desponte apical das mudas; a fase II ocorre entre o desponte e o aparecimento dos primeiros botões florais; a fase III ocorre entre o final da fase II e o início da colheita; e a fase IV, do início da colheita ao final do experimento. Esta última fase foi a mais longa e, portanto, a que apresentou o maior consumo acumulado de água.

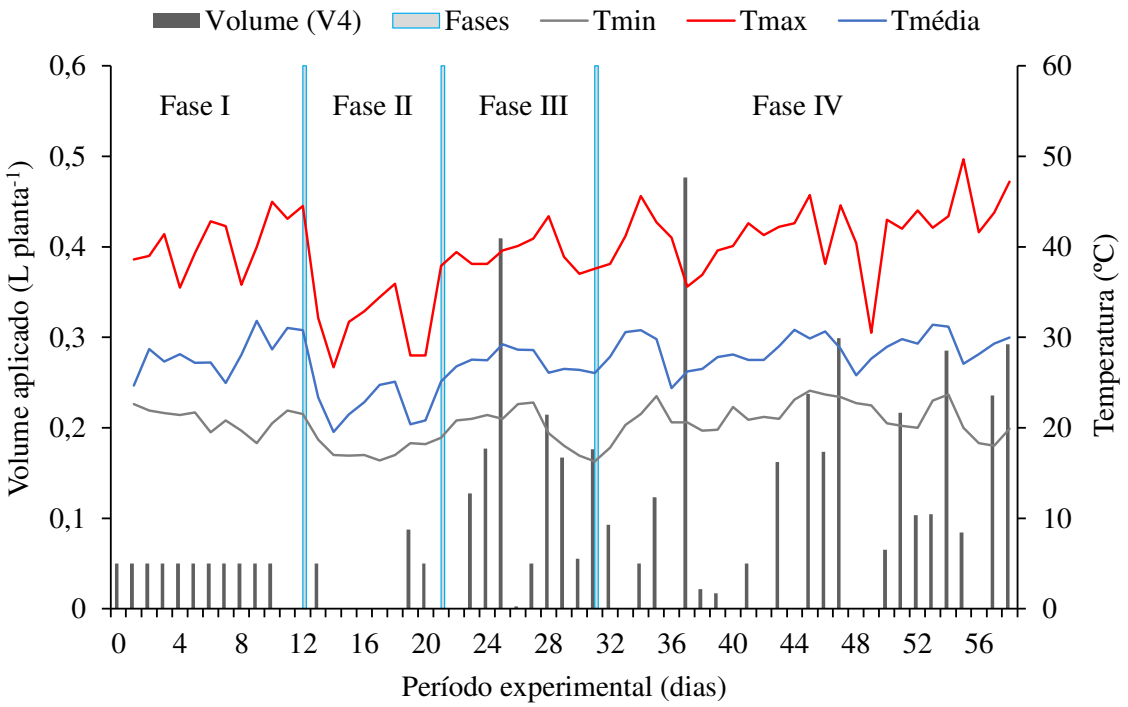


Figura 4. Temperatura média, máxima e mínima; e volume aplicado por irrigação em vasos com 100% de reposição da demanda hídrica de zinias "Gigante da California" durante o período experimental.

O volume de água aplicado variou de acordo com o nível de reposição hídrica nos diferentes tratamentos, porém nos primeiros 11 dias do período experimental (fase I), todas as mudas receberam diariamente 50 mL de água. Ao todo, no tratamento com 100% de reposição hídrica (V4) foram aplicados 5,2 L por planta (Tabela 2). Nas plantas irrigadas com 85% (V3), 73% (V2) e 61% (V1) de reposição hídrica, os volumes aplicados foram de 4,4; 3,9 e 3,3 L por planta, respectivamente (Figura 5). Houve variação no volume de água aplicado ao longo do experimento, com maior demanda nas semanas 7 e 8.

Tabela 2. Número de acionamentos da irrigação e volume de água aplicado por fase de desenvolvimento de plantas de Zinias cv "Gigante da California".

Fases*	Número de Acionamentos	Volume de água aplicado (L por planta)		
		AAI	Adubação	Total
FI	0	0,55	0,05	0,60
FII	1	0,09	0,05	0,55
FIII	9	1,42	0,05	0,09
FIV	18	2,90	0,10	3,00
Total	28	4,96	0,25	5,21

*FI – do transplantio ao desponte apical das mudas; FII - do desponte ao aparecimento dos primeiros botões florais; FIII - do final da fase II ao início da colheita; Fase IV - do início da colheita ao final do experimento.

Ao manter as condições hídricas do vaso em alta capacidade de retenção, a água flui com maior facilidade, sem afetar a transpiração das plantas nem a evaporação da água contida no substrato, resultando em maior demanda hídrica da planta. Segundo Martins et al. (2021b), a demanda de água pelas zínias é maior durante a fase vegetativa, atingindo o pico durante a diferenciação floral até a colheita. Em um estudo com cravina (*Dianthus chinensis*), Schwab et al. (2013) relataram que o consumo hídrico aumentou ao longo do ciclo de cultivo devido ao desenvolvimento vegetal, especialmente ao aumento na área foliar e, consequentemente, na intensidade da transpiração. Em Astrolomiceta (*Alstroemeria x hybrida*), Girardi et al. (2016) relataram que o maior consumo de água ocorreu nos momentos próximos à colheita, devido ao aumento da translocação de fotoassimilados para a formação das flores e ao fato de que a área foliar existente foi a mais alta durante todo o ciclo de produção, além de que as hastes floríferas são normalmente maiores que as vegetativas.

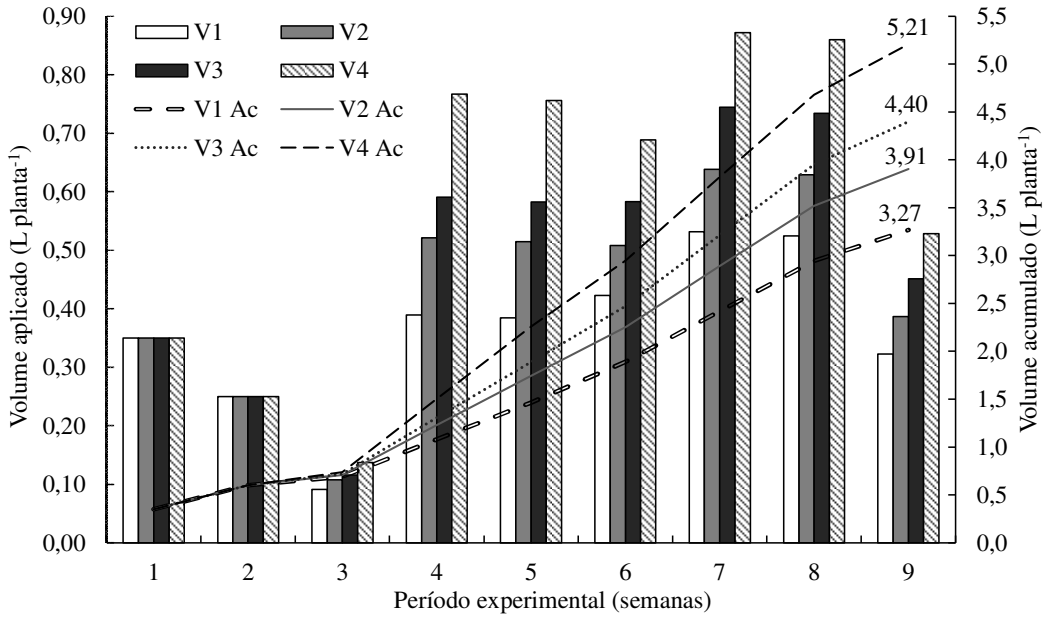


Figura 5. Volume e volume acumulado de água aplicado semanalmente durante o ciclo produtivo de zinia cv "Gigante da California".

4.2. Parâmetros de produção e qualidade

A colheita das primeiras hastes foi realizada no dia 21 de novembro de 2022, correspondendo a 33 dias após o transplante das plantas. O pico de colheita ocorreu no 41º dia após o transplantio, a partir do qual o número diário de hastes colhidas começou a diminuir gradualmente. Não foram observadas diferenças entre os tratamentos em relação à época de abertura das flores, sendo que as primeiras flores abriram, em média, com 28 dias após o desponte apical, independentemente do tratamento.

Os níveis de irrigação afetaram o comprimento das hastes ($p<0,001$), o diâmetro das flores ($p<0,001$), a massa fresca da parte aérea ($p<0,001$) e massa seca total ($p<0,0792$). Por outro lado, as doses de silício influenciaram o diâmetro das flores ($p<0,001$), massa fresca da parte aérea ($p<0,002$), e massas secas da folha ($p<0,0029$) e flor ($p<0,0031$). Houve interação entre os tratamentos no diâmetro das flores ($p<0,0177$). O diâmetro médio das hastes foi de 3,3 mm (±0,1 mm), não sendo afetado pelos tratamentos aplicados.

Foram colhidas 562 hastes florais, das quais 457 (81,3%) foram classificadas como A1 e apenas duas (2) (0,35%), classificadas como A2. De acordo com a classificação proposta por Martins et al. (2021) (Quadro 1), 103 hastes (18%) não atingiram padrão comercial. A classificação das hastes por planta de acordo com o comprimento (P30, P40 e P50), bem como aquelas que não atingiram o padrão, é apresentada na Figura 6. Houve efeito significativo dos níveis de irrigação na classificação das hastes P40 ($p<0,0014$), P50($<0,001$) e fora do padrão ($p<0,0054$).

O comprimento das hastes variou de 36 (±1,52) a 43,6 (±1,83) cm em função dos níveis de irrigação (Figura 7). Os níveis de irrigação de 5,2 e 4,4 L por planta resultaram em plantas com média de 43,6 (±1,83) e 42,8 (±0,99) cm de hastes, respectivamente, ou seja, 21 e 18,8% mais altas que as plantas tratadas com 3,3 L por planta. A plantas que receberam níveis de irrigação de 5,2 e 4,4 L por planta produziram hastes mais longas. Em média 1,1 (±0,17) e 1,2 (±0,36) haste por planta foram classificadas como P40, respectivamente, e 0,5 (±0,1) e 0,3 (±0,2) hastes por planta foram classificadas como P50. As plantas que receberam 3,3 L produziram um número maior de hastes fora do padrão, em média 0,8 (±0,4) haste por planta (Figura 6).

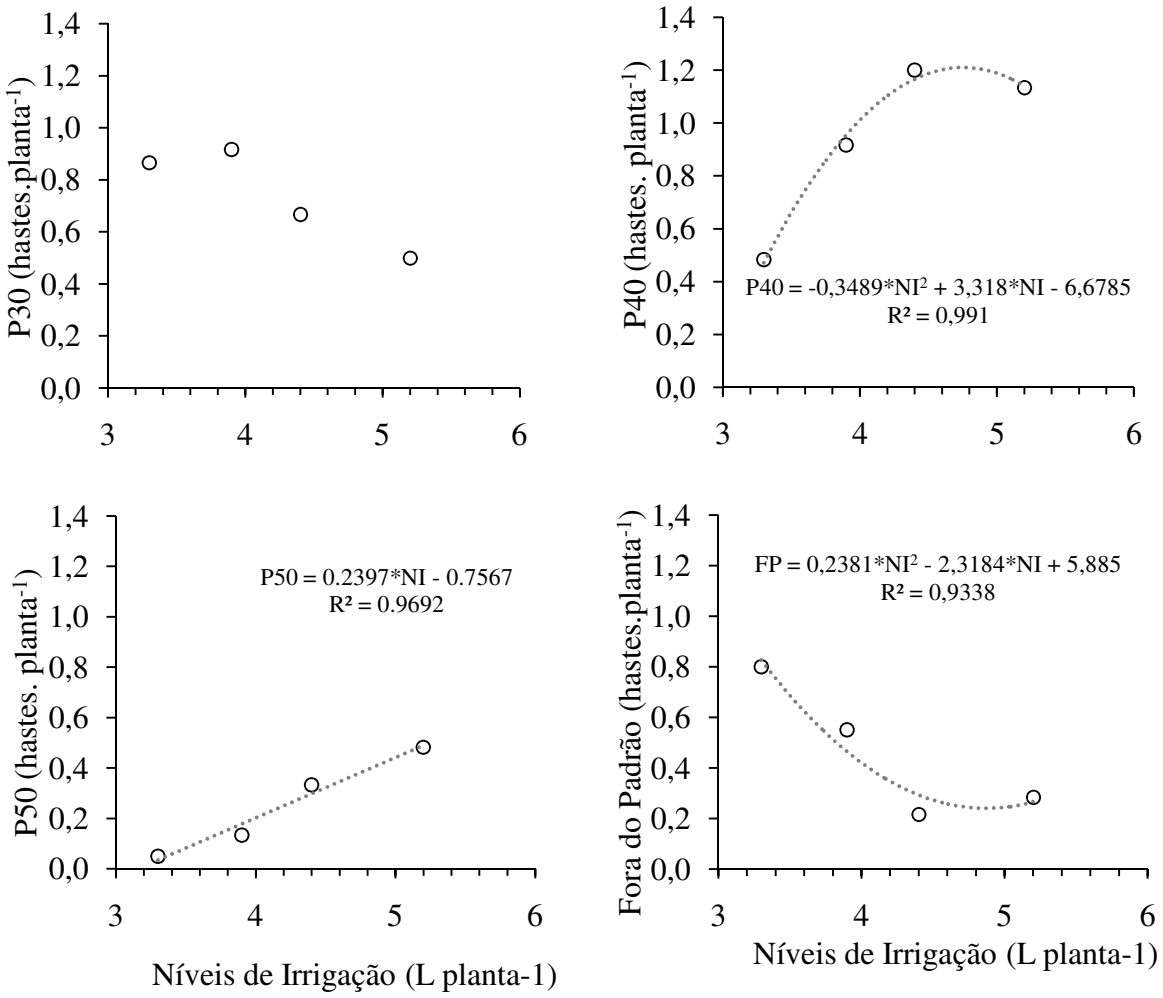


Figura 6. Número de hastes florais de zínia, var Red California Giant, por planta, classificadas como padrão P30, P40, P50 e plantas fora do padrão (FP) obtidas a partir do cultivo sob os níveis de irrigação de 3,3; 3,9; 4,4 e 5,5 L por planta.

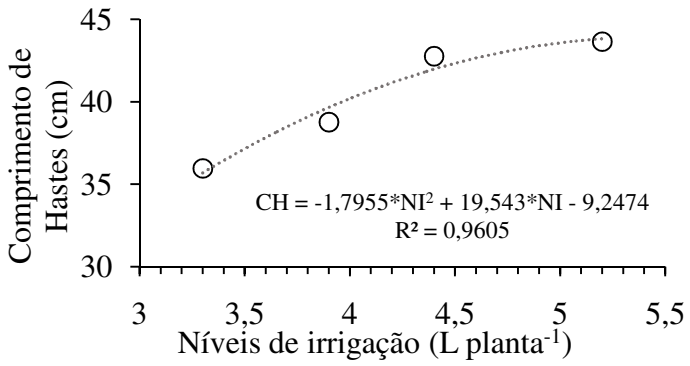
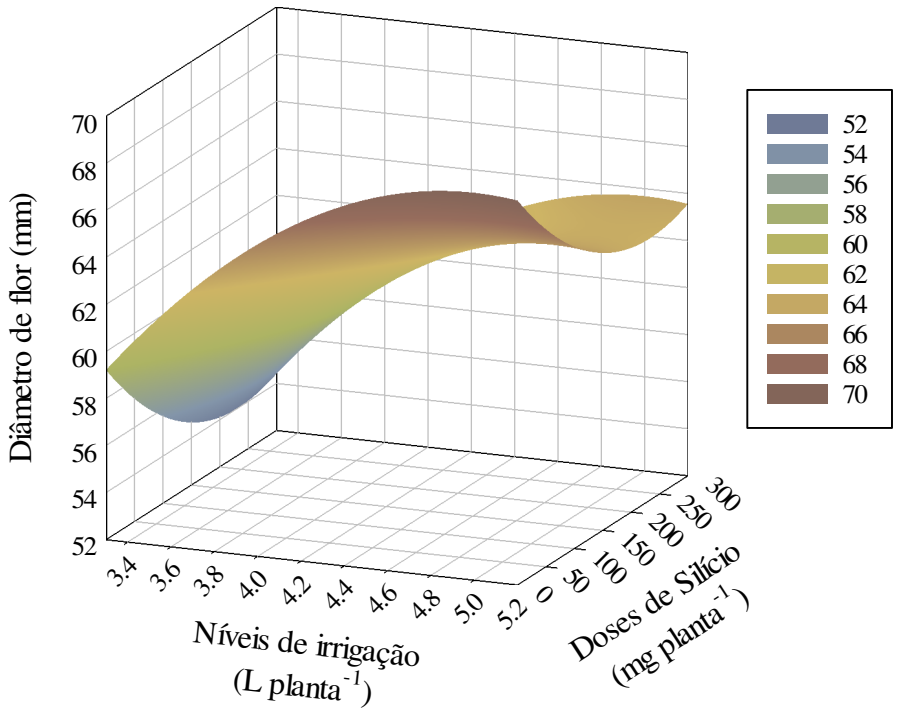


Figura 7. Comprimento de hastes (cm) de zinias cv "Gigante da California" cultivadas sob diferentes níveis de irrigação (L por planta).

Os níveis de irrigação influenciaram o diâmetro das flores, que variou de 56,3 (±4,3) a 65,2 (±2,9) mm (Figura 8). As plantas irrigadas com 3,3 L produziram flores 14,4% menores

que as irrigadas com 5,2 L. As doses de Silício afetaram o diâmetro das flores nos níveis de irrigação de 3,3 L por planta e 4,4 L por planta. Nas plantas tratadas com 150 mg por planta e Si e 3,3 L por planta, o diâmetro médio da flor foi de 51,7 (±1,4) mm, o que representa uma redução de 19,7% em relação aos tratamentos sem silício. As plantas irrigadas com 4,4 L e que receberam 300 mg por planta Si apresentaram um diâmetro médio de flores de 60,4 (±2,8) mm, 12,8% menor que o as plantas que não receberam silício. Esses resultados contradizem o que foi observado por Kamenidou et al. (2009), que relataram um aumento significativo ($p<0,01$) no diâmetro das flores de zínias tratadas com 75 e 150 mg de $KSiO_3$. Entretanto, vale ressaltar que este estudo foi realizado utilizando um substrato sem solo, composto por turfa, perlita e vermiculita, o que difere significativamente do nosso método, e não foram fornecidos os dados referentes aos níveis de silício no substrato. Apesar da redução no diâmetro nas flores, a aplicação de silício não afetou a classificação quanto ao padrão comercial proposto por Martins et al. (2021).



$DF = -11,59 + 32,02NI + (-3,2NI^2) + (-0,0447Si) + (0,000096Si^2)$ R^2 0,447 $p< 0.0001$

Figura 6. Diâmetro (mm) das flores de zínia, var "Red California Giant", obtidas a partir do cultivo sob diferentes níveis de irrigação (L por planta) e diferentes doses de Si (mg planta $^{-1}$).

A massa fresca da parte aérea variou de 18,2g (±1,17) a 21,3g (±0,66), independentemente das doses de Si aplicada (Figura 7. Massa fresca parte aérea (g) das flores de zínia, var "Gigante da Califórnia", obtidas a partir do cultivo sob diferentes níveis de irrigação (A) e sob diferentes doses de Si (mg planta $^{-1}$) (B).. No entanto, observou-se que os tratamentos com 300 mg de Si por planta apresentaram a menor massa fresca, com uma média de 18,4g (±2,38), representando uma redução de 8% em comparação com os tratamentos que não receberam aplicação de silício (Figura 9b). Houve interação significativa entre os níveis de irrigação de 3,9 L por planta e as doses de 150 mg de Si por planta, resultando em uma

média de massa fresca de 23g (±2,4), o que equivale a um aumento de 15,2% em relação às plantas que não receberam aplicação de silício, conforme representado na Figura 10.

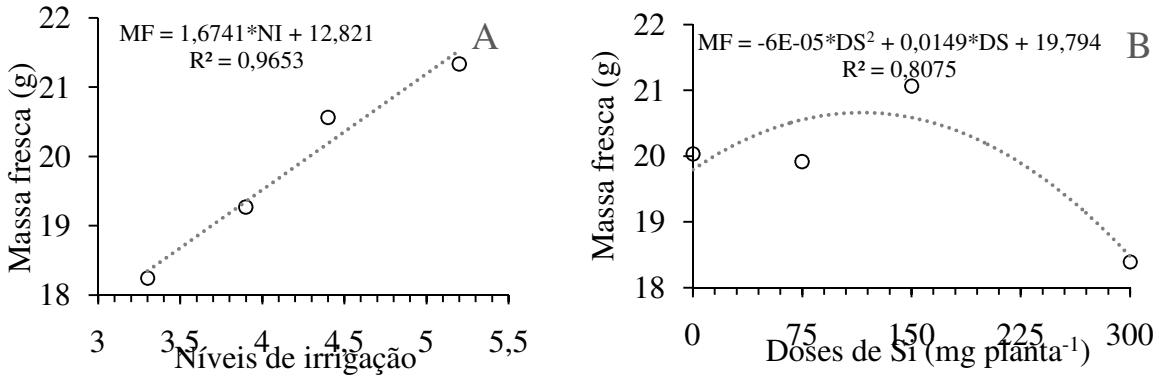
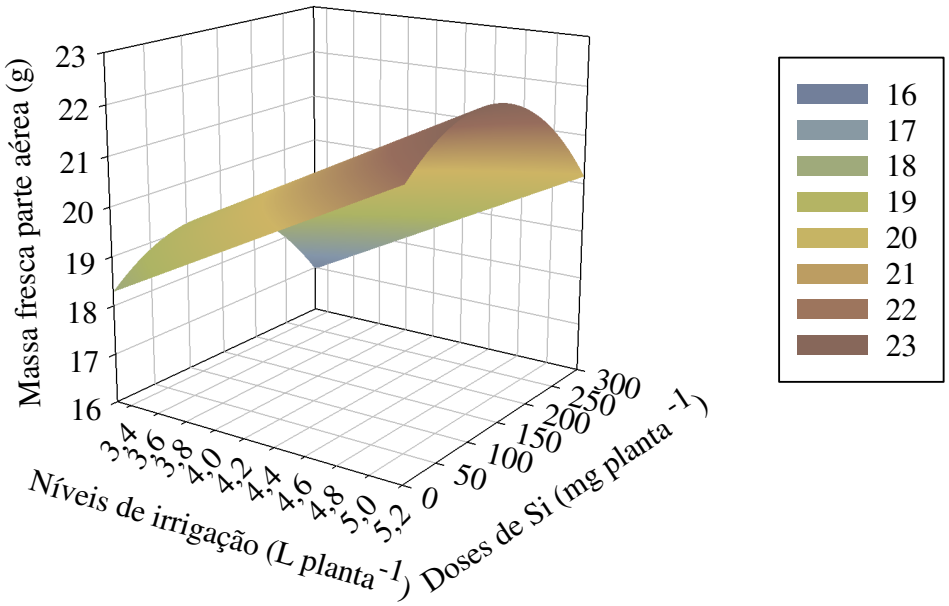


Figura 7. Massa fresca parte aérea (g) das flores de zínia, var "Gigante da Califórnia", obtidas a partir do cultivo sob diferentes níveis de irrigação (A) e sob diferentes doses de Si (mg planta $^{-1}$) (B).



Modelo-> Z ~ 12,75+ 1,67X + 0,015Y + -0,0000644(Y^2) R² 0,2466 p< 0,0001

Figura 8. Massa fresca parte aérea (g) das flores de zínia, var Red California Giant, obtidas a partir do cultivo sob diferentes níveis de irrigação e diferentes doses de Si (mg por planta).

A massas seca da parte aérea teve um crescimento linear à medida que o nível de irrigação aumentava, variando de 1,85 (±0,23) a 2,25 (±0,18) g (Figura 11a). A massa seca das flores teve o mesmo comportamento, variando de 0,56 (±0,14) a 0,70 (±0,08) g, respectivamente (Figura 12a). No entanto, é importante observar que os tratamentos que receberam 150 mg de Si por planta resultaram uma média de massa seca das flores de 0,7 gramas (±0,04), o que representa um aumento significativo de 28,6% em comparação com os tratamentos que não receberam aplicação de silício (Figura 12b). A massa seca das folhas variou de 0,70 (±0,04) a 0,89 gramas (±0,12), como representado na Figura 11b, e não foi afetada pelos diferentes níveis de irrigação. Observa-se que os tratamentos que receberam 150

mg de silício por planta demonstraram uma média de massa seca das folhas de 0,89 gramas (±0,12), o que representou um aumento significativo de 21,3% em comparação com os tratamentos que não receberam silício.

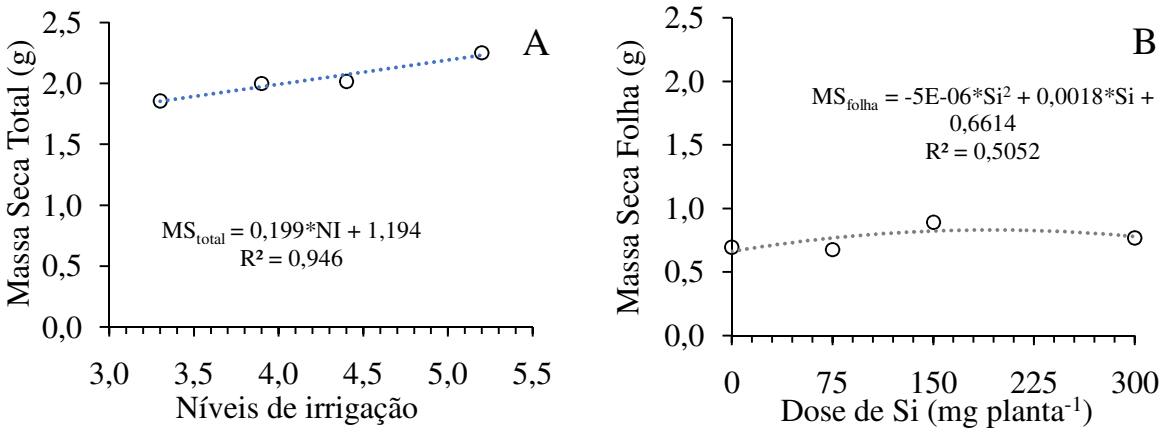


Figura 9. Massa Seca total da parte aérea(g) e Massa seca da folha (g) de zínia, var "Gigantes da Califórnia", obtidas a partir do cultivo sob diferentes níveis de irrigação (A) e sob doses de Si (mg por planta) (B).

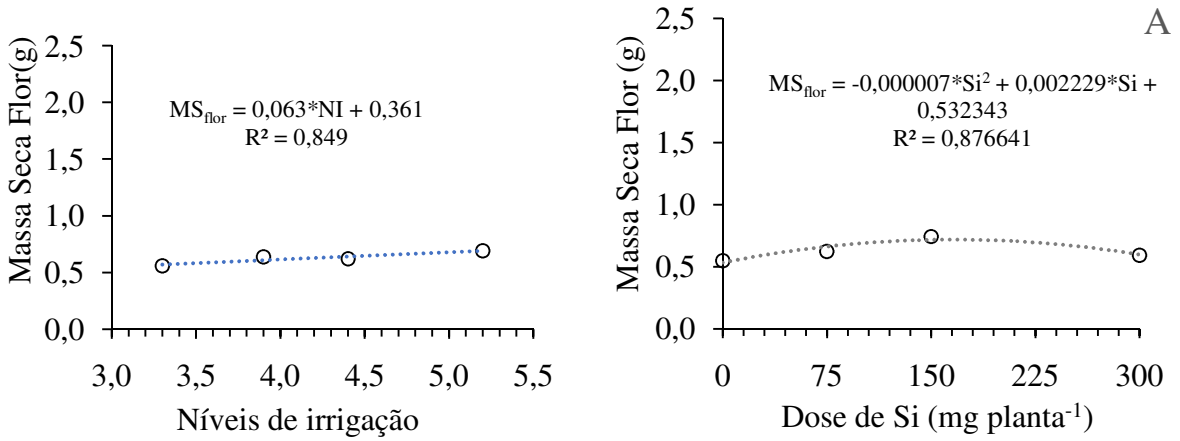


Figura 10. Massa Seca total das flores de zínia, var "Gigantes da Califórnia", obtidas a partir do cultivo sob diferentes níveis de irrigação (A) e sob doses de Si (mg por planta) (B).

O aumento do volume de água está associado ao aumento da massa fresca, uma vez que as plantas se desenvolvem mais, apresentando maior altura, área foliar e, portanto, maior produção de biomassa. Segundo S. Lisar et al. (2012), as plantas enfrentam estresse quando a disponibilidade de água nas raízes é limitada, resultando em déficit hídrico. Sob tais condições, o crescimento e a produção de biomassa das plantas são afetados, resultando em um menor porte das plantas e, consequentemente, uma menor produção de massa fresca.

A presença de silício tem demonstrado efeito positivo no crescimento e na produção de biomassa em várias espécies de plantas, especialmente em condições de estresse (EPSTEIN, 1994). Estudos também comprovaram que o silício promove o alongamento celular, possivelmente devido ao aumento da extensibilidade da parede celular em arroz e sorgo (MA; YAMAJI, 2006). Além disso, o silício também está relacionado ao aumento da fotossíntese e à maior capacidade de retenção de água em pepino (MA et al., 2004). Essa tendência de aumento na produção de biomassa também foi observado por Gunes et al. (2008)

em girassol, Dehghanipoodeh et al. (2018), em morangos, Lacerda et al. (2022) em rabanete e por Chakma et al. (2021) em tomate cereja.

4.3 Clorofila

Os níveis de irrigação influenciaram os índices de clorofila *a* (p<0,152) e clorofila total (p<0,0204) nas medições realizadas em 11/11 (Tabela 3). As plantas submetidas aos menores níveis de irrigação apresentaram teores mais baixos de clorofila *a* e total, com média de 25,8 e 34,3 ICF, respectivamente. Os níveis de clorofila *b* mantiveram uma média de 8,8 ± 0,33 ICF, independentemente do tratamento.

Na medição do dia 23, observou-se que os níveis de irrigação influenciaram os teores de clorofila b (p<0,0622). Especificamente, o nível de irrigação de 3,3 L por planta proporcionou as maiores médias, com 8,4 (±0,67) de clorofila b (Figura 13). Além disso, foi observada interação significativa entre as doses de 150 mg de Si por planta e os níveis de irrigação de 4,4 L por planta nos teores de clorofila a (p<0,0525), clorofila b (p<0,025) e total (p<0,0157) (Figura 12).

Na primeira avaliação de clorofila, as plantas estavam com 24 DAT e somente o nível de irrigação de 3,3 L por planta proporcionou efeito sobre as mudas, reduzindo os índices de clorofila a e total. Na segunda avaliação foi possível observar a influência das doses de Si aplicadas. Em menores níveis de irrigação, ou seja, no tratamento de maior déficit hídrico, as aplicações de 150 mg de Si proporcionaram os maiores teores de clorofila.

Tabela 3. Efeito de diferentes níveis de irrigação e doses de silício em zinias cv. "Gigante da California" nos teores de clorofila (ICF) das plantas com 24 DAP.

K□SiO□ (mg por planta)	**Níveis de irrigação (L por planta)**				
	3,3	3,9	4,4	5,2	**Média**
	Clorofila *a*				
0	25 ± 2,1 Aa	26,7 ± 2,1 Aa	26,3 ± 2,2 Aa	26,7 ± 1,3 Aa	26,06 A
75	28 ± 1,6 Aa	29,2 ± 0,5 Aa	25,1 ± 1,6 Ba	26,6 ± 1,4 Ba	27,17 A
150	26 ± 1,7 Aa	26,6 ± 2,5 Aa	25,8 ± 2,4 Aa	26,9 ± 2,1 Aa	26,27 A
300	25 ± 3,1 Aa	27,7 ± 1,8 Aa	26,0 ± 2,4 Aa	26,9 ± 2,7 Aa	26,40 A
Média	26 B	27,6 A	25,8 B	26,8 A	
	Clorofila *b*				
0	8,3 ± 1,5	9,0 ± 1,5	9,0 ± 0,9	8,8 ± 1,3	8,8 A
75	9,2 ± 0,8	9,9 ± 0,4	7,8 ± 0,9	8,6 ± 0,8	8,9 A
150	8,4 ± 0,8	8,7 ± 1,3	9,0 ± 0,8	9,0 ± 1,5	8,7 A
300	8,4 ± 1,3	9,4 ± 0,7	8,5 ± 0,9	9,2 ± 1,3	8,9 A
Média	8,6 A	9,3 A	8,6 A	8,9 A	
	Clorofila *total*				
0	32,8 ± 3,5 Aa	35,7 ± 3,5 Aa	35,3 ± 3,0 Aa	35,4 ± 2,6 Aa	34,8 A
75	36,9 ± 2,3 Aa	39,2 ± 0,9 Aa	32,8 ± 2,4 Ba	35,2 ± 2,1Ba	36,0 A
150	34,1 ± 2,1 Aa	35,2 ± 3,4 Aa	34,8 ± 3,1 Aa	35,9 ± 3,6 Aa	35,0 A
300	33,4 ± 3,6 Aa	37,1 ± 2,3 Aa	34,5 ± 3,3 Aa	36,2 ± 3,8 Aa	35,3 A
Média	34,3 B	36,8 A	34,3 B	35,7 A	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (na linha) e minúscula (na coluna) não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Scott Knott.

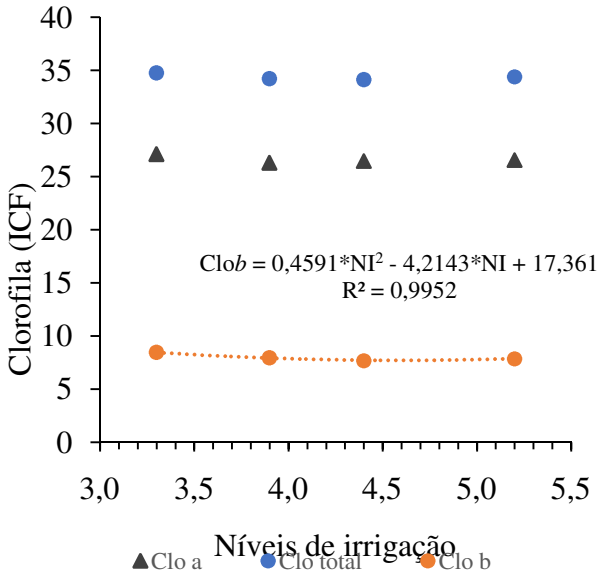


Figura 11. Índice de clorofila médio *a, b* e *total* de zinias cv ”Gigante da California” cultivada sob diferentes níveis de irrigação.

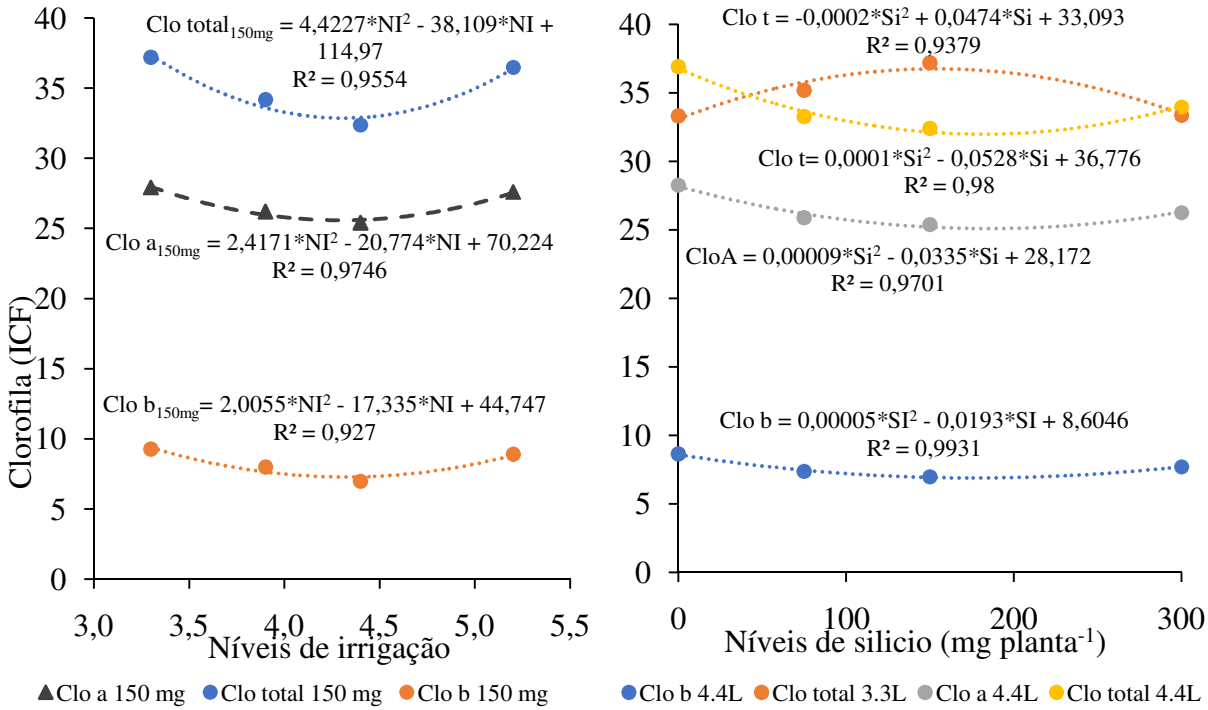


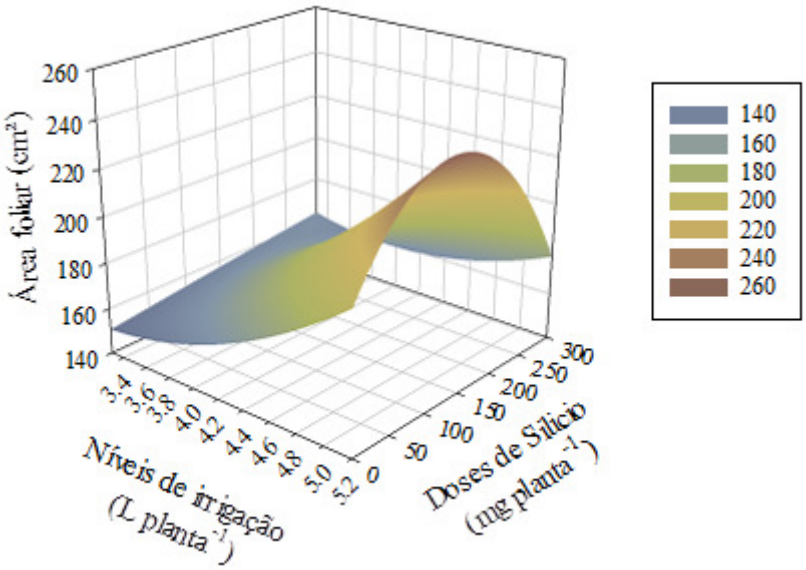
Figura 12. Índices de clorofila *a, b* e *total* de plantas de zínia, cv “Gigante vermelha da California”, obtido em cultivo sob níveis de irrigação de 3,3 e 4,4 L por planta e diferentes doses de adubação silicatada.

Em condições de estresse hídrico severo, os teores de clorofila tendem a diminuir em função da diminuição na disponibilidade de carboidratos, além de causar a morte de células, o que também contribui para a diminuição do conteúdo de clorofila. No entanto, o aumento de clorofila pode ocorrer em moderado déficit hídrico, devido à redução de área foliar causado pelo déficit hídrico, fazendo com que a concentração de clorofila seja maior por área medida

(SHEKARI et al., 2016). A aplicação de Si tem sido relatada como uma forma de reduzir os danos nos cloroplastos causados pelo déficit hídrico, como observado em pepinos por Ma et al. (2004), e em trigo por Ma et al. (2016). O aumento nos teores de clorofila em plantas tratadas com Si também foram observadas em morangos por Dehghanipoodeh et al. (2018).

4.4. Área Foliar

Foram observados efeitos significativos dos níveis de irrigação ($p<0,001$) e das doses de silício ($p<0,036$) na área foliar, além de interação significativa entre os tratamentos ($p<0,001$). As doses de 75 e 150 mg planta $^{-1}$ de Si apresentaram médias de área foliar de 186 e 192 cm², respectivamente, representando um aumento de 10,05 e 13,61% em relação à média dos tratamentos sem aplicação de Si. A interação entre os tratamentos foi mais notável entre o nível de irrigação 5,2 L por planta e 150 mg de Si por planta e no nível de irrigação de 3,3 L por planta e nas doses de 75, 150 e 300 mg (Figura 15).



AF = 260,9 +(-70,92*NI) + 11,36*NI² + (-0,92*Si) + (0,0039*Si²) + 0,293*NI:Si+(-0,0012*Ni:Si²) R² 0,35 p< 0,0001

Figura 13. Superfície de resposta para Área foliar (cm²) de zinias (Cultivar "Giants of California), em função de níveis de irrigação (L por planta) e doses de silicato de potássio (mg de Si por planta).

Esses resultados indicam que o consumo de água aumenta à medida que a área foliar das plantas também aumenta, resultando em um aumento na intensidade do processo transpiratório da planta. Esses achados estão alinhados com os de Martins et al. (2021), que identificaram uma redução significativa na área foliar de zínias com o aumento do déficit hídrico. É possível observar que as doses crescentes de silício proporcionaram um aumento na área foliar das plantas com menor nível de irrigação. Resultados semelhantes foram observados na produtividade de sorgo por Avila et al. (2021), nos quais o silício atenuou os efeitos causados pelo déficit hídrico, promovendo o aumento de enzimas antioxidantes e substâncias osmoprotetoras. Vale ressaltar que os efeitos benéficos do Si também se estenderam às plantas que não foram submetidas ao déficit hídrico. Estas observações fortalecem o papel do Si como um elemento importante como fator de indução de tolerância ao déficit hídrico e benéfico para o crescimento das plantas sob condições hídricas adequadas, como observado por Avila et al. (2021).

As aplicações de silício têm o potencial de modificar a arquitetura da parede celular, resultando no aumento da extensibilidade dessa estrutura. As mudanças morfológicas decorrentes do acúmulo de Si sob a epiderme das folhas podem conferir-lhes maior espessura, verticalidade e rigidez, contribuindo assim para um aumento na exposição das folhas à luz (SAVVAS & NTATSI, 2015). Além disso, o acúmulo de sílica na epiderme das folhas pode atenuar a transpiração e mitigar os efeitos do déficit hídrico, como a redução da área foliar (FERRÓN-CARRILLO & URRESTARAZU, 2021). O silício também pode estimular a atividade enzimática antioxidante nas folhas e raízes, reduzindo os impactos do estresse oxidativo e impulsionando o metabolismo osmorregulador (AVILA et al., 2021). Esses mecanismos desempenham um papel crucial no crescimento contínuo, desenvolvimento e produção das plantas, justificando, assim, a maior área foliar nas zínias tratadas com Si.

4.5 Análise de Silício nas Folhas e Flores

O nível de irrigação proporcionou efeito nos teores de silício (Si) nas folhas de zínias ($p<0,001$). À medida que os níveis de irrigação aumentaram, as concentrações de Si nas folhas também aumentaram, variando de 1,4 a 2,4% (Figura 14). No entanto, a concentração média de Si foi de 0,5% nas flores, independentemente do tratamento. Esses resultados sustentam a hipótese de que o Si é absorvido principalmente por meio do fluxo de massa, conforme proposto por Jones & Handreck (1967). Resultados semelhantes foram observados por Dehghanipoodeh et al. (2018), que constataram que o teor de Si nas folhas de morangos aumentou sob um moderado déficit hídrico e diminuiu em um déficit hídrico severo. Melo et al. (2003) constataram que o acúmulo de Si nas folhas de braquiárias foi maior em plantas tratadas com 80% da capacidade de campo (CC) em comparação com plantas tratadas com 60% da CC, mas não houve diferença nos teores de Si nas folhas entre as diferentes concentrações aplicadas.

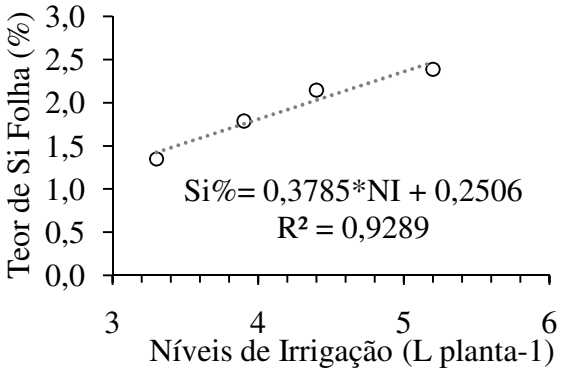


Figura 14. Teor de Si (%) em folhas de zinias cv "Gigante da California" após o cultivo com diferentes níveis de irrigação. Conferir o R^2. Expressar em g/g.

Os teores iniciais de silício no substrato foram de 11,2 mg dm^{-3} de solo. Esses valores são parecidos com o de Szulc et al. (2019) onde o teor de silício no solo foi de 7 mg dm^{-3} e após adição de esterco foi para 10,11 mg dm^{-3}. Song et al. (2014) também evidenciaram que a aplicação de fertilizantes orgânicos a longo prazo contribuiu para um aumento no teor de silício disponível no solo. De acordo com Tubaña & Heckman (2016), a concentração de silício nos solos varia de 0,1 a 0,6 mM, o que é algo em torno de 2,80 a 17,0 mg dm^3. Segundo Berthelsen et al. (2003) e Camargo et al. (2013), esses níveis de Si no solo podem ser considerados limitantes para a cana-de-açúcar, no entanto para olerícolas, não foram

encontrados parâmetros para classificar o solo de acordo com as concentrações de silício solúvel no solo.

As doses de 75 e 150 mg de Si por planta foram suficientes para que as plantas acumulassem o máximo do elemento nessas condições de cultivo e as plantas de zinias responderam positivamente quanto ao aumento de massa fresca e seca nos tratamentos com 150 mg de Si. No entanto, nos tratamentos que não receberam silicato de potássio, o teor do elemento nas folhas foi acima de 1,7%. Esses níveis são superiores ao observado em Kamenidou et al. (2009), em que as plantas controle apresentaram 0,4% de Si na folha de zinias. Neste mesmo experimento, o máximo absorvido pelas folhas foi de 1,7%. Frantz et al. (2008) observaram um acúmulo máximo 1,2% de Si nas folhas de zínias tratadas com 2,0 mM de K_2SiO_4. Esses resultados sugerem que os teores iniciais de Si no solo já eram suficientes e que as zinias possuem um limite de acumulação do elemento.

As doses de 300 mg de Si por planta reduziram a área foliar, diâmetro das flores e consequentemente a massa fresca das hastes de zinias colhidas, sugerindo que aplicações de doses elevadas no solo de silicato de potássio possam afetar as condições do solo, como pH e índice salino, afetando o desenvolvimento das plantas.

4.6. Análises Pós-Colheita das Hastes

4.6.1 Variação do peso fresco e taxa de absorção de água

A absorção de água e a variação de peso fresco de flores de corte são os principais indicadores de longevidade. Nesse experimento, a variação de peso fresco das hastes de zinias seguiu um padrão similar em todos os níveis de irrigação, com um acréscimo na variação do peso fresco das hastes nas primeiras 24 horas pós-colheita. O peso fresco de forma geral permaneceu estável até o quinto dia após o início do teste, iniciando a perda de peso a partir dessa data. Em média, as hastes de zinias levaram de 5 a 6 dias para atingir nota 3 na escala de senescência. Para as diferentes doses de Si aplicadas não houve diferença significativa entre os níveis de irrigação para nenhuma variável analisada (Figura 17).

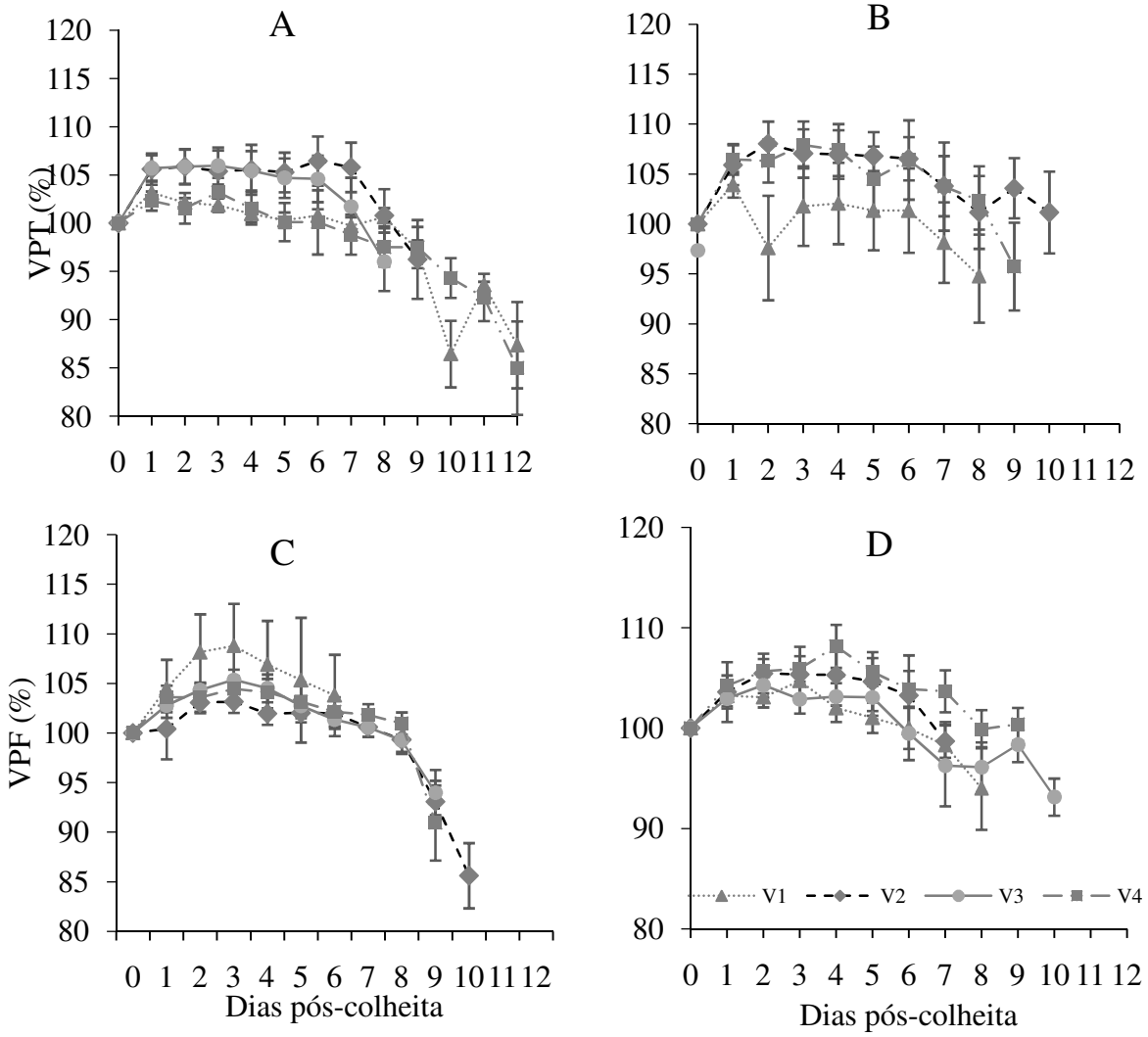


Figura 15. Variação de peso fresco (%) no período pós-colheita de hastes de zinias, obtidas sobre diferentes lâminas de irrigação e diferentes concentrações de silicato de potássio. (A) 0 (B) 75, (C) 150 e (D) 300 mg planta $^{-1}$ Si. V1 = 3,3 L planta; V2=3,9 L planta; V3=4,4 L planta; V4 = 5,2 L planta.

O peso fresco tende a aumentar, em média 5, 5, 5 e 4 % nas hastes obtidas com os níveis de irrigação de 4,4; 5,2; 3,9 e 3,3 L por planta, respectivamente, até o 3º dia de armazenamento. A partir do quinto dia, as hastes tendem a perder peso fresco em todos os níveis. As hastes perderam em média 5,3% de peso fresco do primeiro dia até o fim da longevidade.

No primeiro dia de avaliação, as taxas de absorção tendem a ser maiores em todos os tratamentos, indicando que a absorção de água pelas hastes é muito rápida no início do armazenamento. Apesar de não ter havido diferença estatística, a absorção de água nos tratamentos com níveis de irrigação de 5,2 e 4,4 L por planta foram maiores, com 1014 e 1062 mg g^{-1} por peso de haste fresca, respectivamente. Os tratamentos com 75 e 150 mg de Si por planta tiveram maiores taxas de absorção de água, com 1041 e 1025 mg g^{-1} de peso fresco de haste, respectivamente.

Houve uma correlação entre a variação do peso fresco, a absorção de água pelas hastes e as notas de senescência. A absorção de água inicial foi alta (Figura 18), o que promoveu aumento de peso fresco das hastes nos primeiros dias de avaliação pós-colheita (Figura 17).

Além disso, o aumento de peso fresco também se deve a abertura das flores centrais verdadeiras, pois no momento da colheita essas estavam em início de abertura, processo que só foi completado nos primeiros dias de armazenamento das hastes. Nesses primeiros dias, as flores receberam notas 5 e 4 na escala de senescência, ou seja, ainda apresentavam pleno vigor. A partir do quinto e sexto dias, a nota média para todos os tratamentos foi 3, sendo possível observar queda na VPF e TAA.

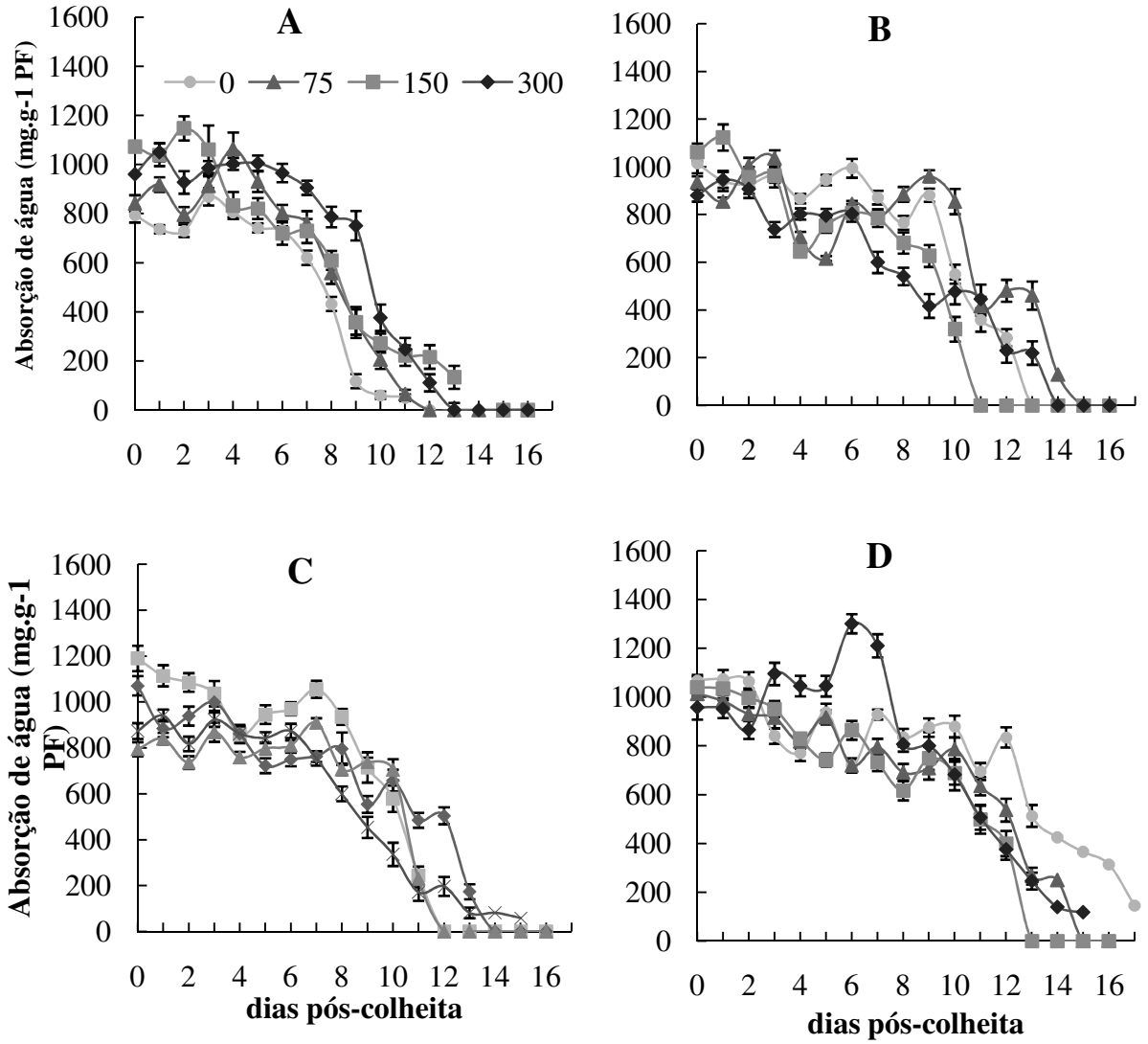


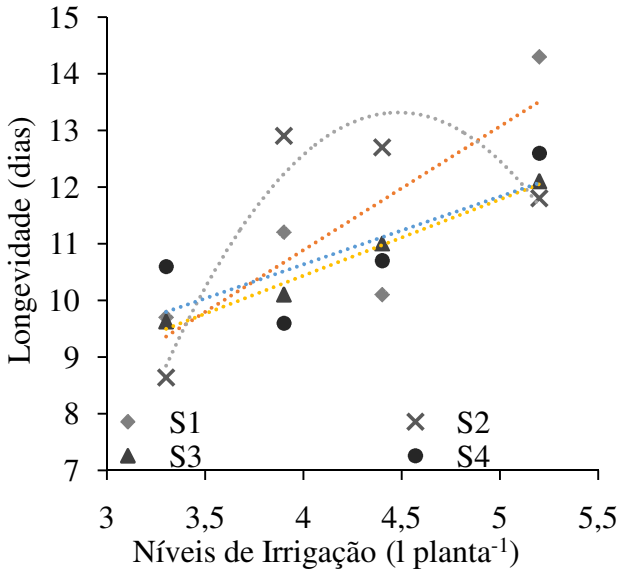
Figura 16. Variação da taxa de absorção de água (mg g-1 de peso fresco da haste) na pós-colheita de hastes florais de zínia "Gigante da Califórnia Vermelha" obtidas de plantas cultivadas sob diferentes níveis de irrigação de (A) 3,2; (B)3,9; (C)4,4 e (D)5,2 L por planta e diferentes doses de adubação silicatada (mg de Si por planta).

4.6.2 Longevidade de hastes

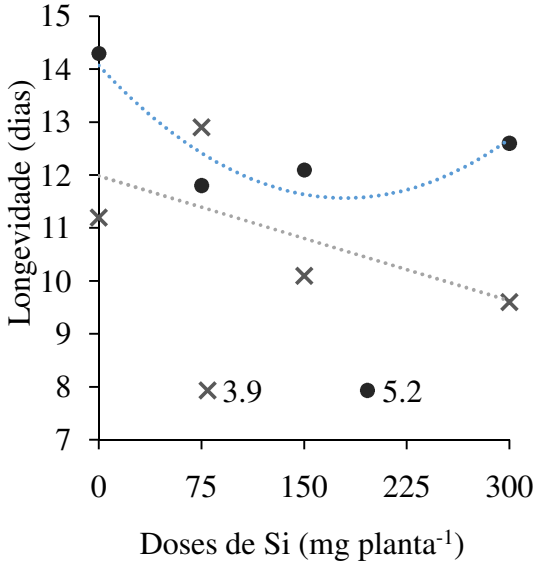
A avaliação diária atribuindo notas de 5 a 0 para as flores de zinias permitiu observar a variação de qualidade ao longo dos dias de armazenamento. A longevidade comercial das hastes (nota 3) foi em média de 6,4 dias, independentemente do tratamento.

A longevidade total das hastes (nota 0) teve influência dos níveis de irrigação ($p<0,001$) e houve interação entre tratamentos ($p<0,0013$). A longevidade das hastes foi em

média de 11,1 dias, independentemente das doses de silício. No entanto, sob diferentes níveis de irrigação, a longevidade das hastes variou de 9,7 a 12,7 dias. Em contrapartida, houve interação entre os tratamentos. Nos níveis de irrigação de 3,9 e 4,4 L por planta, os tratamentos que receberam 75 mg de Si por planta tiveram longevidade de 12,9 e 12,7 dias, respectivamente. Ou seja, 15,17% 25,7% maior que os tratamentos que não receberam adubação silicatada (Figura 19). Resultados semelhantes foram observados em peônias, nas quais aplicações de silício aumentaram a longevidade, além de melhorar a qualidade das flores no armazenamento pós colheita (SONG et al., 2021). Segundo os autores, a adição de silício diminuiu a perda de peso fresco durante o armazenamento, aumentou a quantidade de enzimas antioxidantes e aumentou a resistência mecânica das hastes. A longevidade das hastes de Tuberosas (*Polianthes tuberosa L*) também foram positivamente afetadas após serem cultivadas com nanopartículas de Si nas concentrações de 400 mg L^{-1} (KARIMIAN et al., 2021) e em rosas tradadas com 800 g L^{-1} de Si via solo (GEERDINK et al., 2020).



S_1= y = 2,1804x + 2,1673 R²=0,7091
S_2 = y = -3,198x2 + 28,669x - 50,937 R² = 0,9263
S_3 = y = 1,3441x + 5,0611 R² = 0,9829
S_4 = y = 1,1959x + 5,8523 R² = 0,5894



$Long_{3.9}$ = -0,0078+11,98 R² = 0,7589
$Long_{5.2}$ = 0,00008x2 - 0,0278x + 14,068
R² = 0,8244

Figura 17. Longevidade total (dias) de zinias cv "Gigante da California" cultivadas sob diferentes níveis de irrigação e doses de Si.

A longevidade das flores de corte é limitada por diversos fatores, como o esgotamento das reservas de carboidratos devido à respiração, transpiração e produção de etileno, infecção por fungos e bactérias, murcha, danos mecânicos, temperatura de armazenamento e qualidade da água (DA COSTA et al., 2021). O experimento foi realizado durante a primavera (outubro a dezembro), período de altas temperaturas e alta umidade relativa do ar, o que pode ter afetado negativamente a longevidade das hastes. Estudos anteriores relataram maior longevidade das zínias quando cultivadas durante o outono-inverno na região, período em que a temperatura é mais baixa na região (MARTINS et al., 2021a). Fatores ambientais, como temperatura e umidade relativa do ar, têm sido documentados como tendo uma forte correlação com a longevidade das flores, devido à sua influência na função estomática, taxa

de transpiração e relação com a água, que são todos importantes para a longevidade das flores (KALINOWSKI et al., 2022; MORTENSEN & FJELD, 1998; TORRE et al., 2003).

A variação no peso fresco e na taxa de absorção de água estão diretamente associadas à longevidade das hastes. À medida que a absorção de água diminui, a massa fresca das hastes tende a diminuir, induzindo a senescência das flores (MARTINS et al., 2021a). Alguns estudos foram realizados para investigar os efeitos positivos do Si na longevidade e qualidade de diferentes espécies de flores de corte (GEERDINK et al., 2020; Karimian et al., 2021; Song et al., 2021). Ainda assim pouca informação sobre os efeitos do Si em flores de corte cultivadas em condições de estresse hídrico está disponível.

5. CONCLUSÕES

A reposição de 100% da demanda hídrica das zínias proporcionou maior produção, qualidade e longevidade das hastes florais. Entretanto, a suplementação do substrato com 150 mg-1 planta Si demonstrou ter um impacto significativo no aumento de área foliar, além de promover uma produção superior de biomassa, especialmente nos níveis mais elevados de irrigação.

A despeito do fato de que o incremento progressivo da suplementação com Si tenha um impacto adverso no diâmetro das flores, não se observou uma influência estatisticamente significativa na qualidade comercial das flores, além de se ter constatado efeito benéfico das dosagens mais baixas (75 mg por planta de Si) na longevidade total das hastes.

No entanto, os resultados apresentados nesse trabalho apontam a importância de se analisar os teores de Si no solo para justificar a adubação silicatada em zinias somente quando suas concentrações no solo forem baixas. Por isso, fica proposto uma classificação acordo com a disponibilidade de Si no solo para o cultivo de Zinias, com o intuito de auxiliar nessa tomada de decisão.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADATIA, M. H.; BESFORD, R. T. The Effects of Silicon on Cucumber Plants Grown in Recirculating Nutrient Solution. **Annals of Botany**, v. 58, n. 3, p. 343-351, 1 set. 1986.

ALLAN, R.; PEREIRA, L.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. **FAO Irrigation and drainage paper 56**. [s.l: s.n.]. v. 56.

AVILA, R. G.; MAGALHÃES, P. C.; DA SILVA, E. M.; DE SOUZA, K. R. D.; CAMPOS, C. N.; DE ALVARENGA, A. A.; DE SOUZA, T. C. Application of Silicon to Irrigated and Water Deficit Sorghum Plants Increases Yield via the Regulation of Primary, Antioxidant, and Osmoregulatory Metabolism. **Agricultural Water Management**, v. 255, p. 107004, set. 2021.

BAKHAT, H. F.; BIBI, N.; ZIA, Z.; ABBAS, S.; HAMMAD, H. M.; FAHAD, S.; ASHRAF, M. R.; SHAH, G. M.; RABBANI, F.; SAEED, S. Silicon Mitigates Biotic Stresses in Crop Plants: A Review. **Crop Protection**, v. 104, p. 21-34, fev. 2018.

BERTHELSEN, S.; NOBLE, A. D.; KINGSTON, G.; HURNEY, A.; RUDD, A.; GARSIDE, A. **Final Report SRDC Project CLW009 Improving Yield and Ccs in Sugarcane through the Application of Silicon Based Amendments**. 2003. Disponível em: <https://elibrary.sugarresearch.com.au/handle/11079/12957>. Acesso em: 2 jun. 2023.

BYBORDI, A. Effect of Ascorbic Acid and Silicium on Photosynthesis, Antioxidant Enzyme Activity, and Fatty Acid Contents in Canola Exposure to Salt Stress. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 11, n. 10, p. 1610-1620, out. 2012.

CAMARGO, M. S. D.; ROCHA, G.; KORNDÖRFER, G. H. Silicate fertilization of tropical soils: silicon availability and recovery index of sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1267-1275, out. 2013.

CARNEIRO, T. F.; FINGER, F. L.; SANTOS, V. R. dos; NEVES, L. L. de M.; BARBOSA, J. G. Influência da sacarose e do corte da base da haste na longevidade de inflorescências de *Zinnia elegans*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1065-1070, ago. 2002.

CASAROLI, D.; JONG VAN LIER, Q. DE. Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 59-66, fev. 2008.

CHAKMA, R.; SAEKONG, P.; BISWAS, A.; ULLAH, H.; DATTA, A. Growth, Fruit Yield, Quality, and Water Productivity of Grape Tomato as Affected by Seed Priming and Soil Application of Silicon under Drought Stress. **Agricultural Water Management**, v. 256, p. 107055, out. 2021.

CHEN, C.; LEWIN, J. Silicon as a nutrient element for *Equisetum arvense*. **Canadian Journal of Botany**, v. 47, n. 1, p. 125-31, 1 jan. 1969.

CHOAB, N.; ALLOUHI, A.; EL MAAKOUL, A.; KOUSKSOU, T.; SAADEDDINE, S.; JAMIL, A. Review on Greenhouse Microclimate and Application: Design Parameters, Thermal Modeling and Simulation, Climate Controlling Technologies. **Solar Energy**, v. 191, p. 109-137, 1 out. 2019.

DA COSTA, L. C.; DE ARAUJO, F. F.; RIBEIRO, W. S.; DE SOUSA SANTOS, M. N.; FINGER, F. L. Postharvest Physiology of Cut Flowers. **Ornamental Horticulture**, v. 27, p. 374-385, 28 jun. 2021.

DE TOMBEUR, F.; TURNER, B. L.; LALIBERTÉ, E.; LAMBERS, H.; MAHY, G.; FAUCON, M.-P.; ZEMUNIK, G.; CORNELIS, J.-T. Plants Sustain the Terrestrial Silicon Cycle during Ecosystem Retrogression. **Science**, v. 369, n. 6508, p. 1245-1248, 4 set. 2020.

DEHGHANIPOODEH, S.; GHOBADI, C.; BANINASAB, B.; GHEYSARI, M.; SHIRANIBIDABADI, S. Effect of Silicon on Growth and Development of Strawberry under Water Deficit Conditions. **Horticultural Plant Journal**, v. 4, n. 6, p. 226-232, nov. 2018.

DEMIREL, K.; ÇAMOĞLU, G.; AKÇAL, A.; NAR, H.; KAHRIMAN, F.; GENÇ, L. Effect of Water Deficit on Flowering and Growth Characteristics of *Zinnia elegans*. **Journal of Ornamental Plants**, v. 11, n. 2, p. 77-88, 1 jun. 2021.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 91, n. 1, p. 11-17, 4 jan. 1994.

FERRÓN-CARRILLO, F.; URRESTARAZU, M. Effects of Si in nutrient solution on leaf cuticles. **Scientia Horticulturae**, v. 278, p. 109863, 27 fev. 2021.

FRANTZ, J. M.; LOCKE, J. C.; DATNOFF, L.; OMER, M.; WIDRIG, A.; STURTZ, D.; HORST, L.; KRAUSE, C. R. Detection, Distribution, and Quantification of Silicon in Floricultural Crops Utilizing Three Distinct Analytical Methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 39, n. 17-18, p. 2734-2751, out. 2008.

GAVA, R.; FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; DE ALMEIDA, B. M.; DE FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R. Estratégias de manejo de déficit hídrico na irrigação da cultura da soja. **Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas**, v. 10, n. 3, p. 305-315, 29 set. 2016.

GEERDINK, G. M.; ORSI, B.; TEZOTTO-ULIANA, J. V.; PESSOA, C. O.; SASAKI, F. F. C.; KLUGE, R. A. Pre-harvest silicon treatment improves quality of cut rose stems and maintains postharvest vase life. **Journal of Plant Nutrition**, v. 43, n. 10, p. 1418–1426, 14 jun. 2020.

GIRARDI, L. B.; PEITER, M. X.; BELLÉ, R. A.; ROBAINA, A. D.; TORRES, R. R.; KIRCHNER, J. H.; BEN, L. H. B. Evapotranspiração e coeficiente de cultura da alstroemeria (alstroemeria x hybrida) cultivada em estufa. **Irriga**, v. 21, n. 4, p. 817-829, 6 out. 2016.

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: FPB**, v. 32, n. 6, p. 481-494, jul. 2005.

GUNES, A.; PILBEAM, D. J.; INAL, A.; COBAN, S. Influence of Silicon on Sunflower Cultivars under Drought Stress, I: Growth, Antioxidant Mechanisms, and Lipid Peroxidation. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 39, n. 13-14, p. 1885-1903, jul. 2008.

GUNTZER, F.; KELLER, C.; MEUNIER, J. D. Benefits of plant silicon for crops: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, n. 1, p. 201-213, 1 jan. 2012.

HALEVY, A. H.; MAYAK, S. Senescence and Postharvest Physiology of Cut Flowers, Part 1. Em: **Horticultural Reviews**. [s.l.] John Wiley & Sons, Ltd, 1979. p. 204-236.

HASANUZZAMAN, M.; NAHAR, K.; ANEE, T. I.; KHAN, M. I. R.; FUJITA, M. Silicon-Mediated Regulation of Antioxidant Defense and Glyoxalase Systems Confers Drought Stress Tolerance in Brassica Napus L. **South African Journal of Botany**, v. 115, p. 50-57, 1 mar. 2018.

HAYNES, R. J. A contemporary overview of silicon availability in agricultural soils. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 177, n. 6, p. 831-844, dez. 2014.

INCROCCI, L.; THOMPSON, R. B.; FERNANDEZ-FERNANDEZ, M. D.; DE PASCALE, S.; PARDOSSI, A.; STANGHELLINI, C.; ROUPHAEL, Y.; GALLARDO, M. Irrigation Management of European Greenhouse Vegetable Crops. **Agricultural Water Management**, v. 242, p. 106393, dez. 2020.

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. **Silica in Soils, Plants, and Animals.** Advances in Agronomy. [s.l.] Elsevier, v. 19, p. 107-149. 1967.

KALINOWSKI, J.; MOODY, E. P.; DOLE, J. M. Improving hydration and vase life of cut Zinnia. **Scientia Horticulturae**, v. 293, p. 110661, 5 fev. 2022.

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

KAMENIDOU, S.; CAVINS, T. J.; MAREK, S. Silicon supplements affect floricultural quality traits and elemental nutrient concentrations of greenhouse produced gerbera. **Scientia Horticulturae**, v. 123, n. 3, p. 390-394, jan. 2010.

KARIMIAN, N.; NAZARI, F.; SAMADI, S. Morphological and Biochemical Properties, Leaf Nutrient Content, and Vase Life of Tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) Affected by Root or Foliar Applications of Silicon (Si) and Silicon Nanoparticles (SiNPs). **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, n. 5, p. 2221-2235, 1 out. 2021.

KIRDA, C. **Deficit irrigation practices**. Disponível em: <https://www.fao.org/3/y3655e/y3655e03.htm>. Acesso em: 12 maio. 2023.

KORNDÖRFER, G. H.; COELHO, N. M.; SNYDER, G. H.; MIZUTANI, C. T. Avaliação de métodos de extração de silício em solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 101-106, mar. 1999.

LACERDA, V. R.; ACEVEDO, A. F. G.; MARQUES, I. C. da S.; DELLABIGLIA, W. J.; FERRAZ, A. K. L.; BASÍLIO, L. S. P.; BROETTO, F. Silicon as a Mitigator of Water Deficit Stress in Radish Crop. **Scientia Horticulturae**, v. 291, p. 110600, 3 jan. 2022.

LAWLOR, D. W. MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. Principles of plant nutrition. **Annals of Botany**, v. 93, n. 4, p. 479-480, 23 fev. 2004.

LOYOLA, C. E.; DOLE, J. M.; DUNNING, R. North American Specialty Cut Flower Production and Postharvest Survey. **HortTechnology**, v. 29, n. 3, p. 338-359, jun. 2019.

MA, C. C.; LI, Q. F.; GAO, Y. B.; XIN, T. R. Effects of silicon application on drought resistance of cucumber plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 50, n. 5, p. 623-632, 1 fev. 2004.

MA, D.; SUN, D.; WANG, C.; QIN, H.; DING, H.; LI, Y.; GUO, T. Silicon Application Alleviates Drought Stress in Wheat Through Transcriptional Regulation of Multiple Antioxidant Defense Pathways. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 35, n. 1, p. 1-10, 1 mar. 2016.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, v. 11, n. 8, p. 392-397, ago. 2006.

MARTINS, R. D. C. F.; PÊGO, R. G.; CRUZ, E. S. D.; BUENO, M. M.; CARVALHO, D. F. D. Postharvest Quality of Cut Zinnia Flowers Cultivated Under Different Irrigation Levels and Growing Seasons. **Journal of Agricultural Studies**, v. 9, n. 1, p. 303, 20 jan. 2021a.

MARTINS, R. da C. F.; PÊGO, R. G.; CRUZ, E. S. da; ABREU, J. F. G.; CARVALHO, D. F. de. Production and Quality of Zinnia under Different Growing Seasons and Irrigation Levels. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 45, p. e033720, 25 jun. 2021b.

MEDICI, L. O.; ROCHA, H. S. da; CARVALHO, D. F. de; PIMENTEL, C.; AZEVEDO, R. A. Automatic Controller to Water Plants. **Scientia Agricola**, v. 67, p. 727-730, dez. 2010.

MELO, S. P. de; KORNDÖRFER, G. H.; KORNDÖRFER, C. M.; LANA, R. M. Q.; SANTANA, D. G. de. Silicon Accumulation and Water Deficit Tolerance in Brachiaria Grasses. **Scientia Agricola**, v. 60, p. 755-759, dez. 2003.

MORTENSEN, L. M.; FJELD, T. Effects of air humidity, lighting period and lamp type on growth and vase life of roses. **Scientia Horticulturae**, v. 73, n. 4, p. 229-237, 16 abr. 1998.

OLIVEIRA, M. S. de; CARVALHO, D. F. de; GOMES, D. P.; PEREIRA, F. A. C.; MEDICI, L. O. Production of Cut Sunflower under Water Volumes and Substrates with Coconut Fiber. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, p. 859-865, dez. 2018.

OLIVEIRA, L. A. D.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, A. C. Acumulação de silício em arroz em diferentes condições de pH da rizosfera. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, p. 685-690, ago. 2007.

ONOZAKI, T. Dianthus. In: VAN HUYLENBROECK, J. (Ed.). **Ornamental Crops**. Handbook of Plant Breeding. Cham: Springer International Publishing, 2018. v. 11p. 349-381.

PÊGO, R. G.; CARVALHO, D. F. D.; MARTINS, R. D. C. F. **Cultivo de Zínia e Seu Potencial Para o Mercado de Flores de Corte**: Informe Técnico (Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro). Recife, Brasil: Even3, 2021. Disponível em: <https://cursos.ufrrj.br/posgraduacao/ppgf/itv1n42021/>. Acesso em: 1 jun. 2023.

PEREIRA, H. S.; VITTI, G. C.; KORNDORFER, G. H. Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 1, p. 101–108, fev. 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**, v. 53, n. 4, p. 1605-1614, 2013.

RUIZ-SANCHEZ, M. C.; DOMINGO, R.; CASTEL, J. R. Review. Deficit irrigation in fruit trees and vines in Spain. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 8, p. 5-20, 11 nov. 2010.

S. LISAR, S. Y.; MOTAFAKKERAZAD, R.; M., M.; M. RAHM, I. M. Water Stress in Plants: Causes, Effects and Responses. In: RAHMAN, I. MD. M. **Water Stress**. [s.l.] InTech, 2012.

SANTOS, J. J. S. dos; PÊGO, R. G.; COUTO, B. R. M.; BUENO, M. M.; CARVALHO, D. F. de. Evaluation of water requirement, commercial quality, and yield response factor of gladiolus produced with automated irrigation in different growing periods. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, p. e017220, 2020.

SAVVAS, D.; NTATSI, G. Biostimulant activity of silicon in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 66-81, nov. 2015.

SCHWAB, N. T.; PEITER, M. X.; BELLÉ, R. A.; BACKES, F. A. A. L.; ROBAINA, A. D.; FERRAZ, R. C. CONSUMO HÍDRICO DE CRAVINA SUBMETIDA A DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO E TAMANHOS DE VASO. **IRRIGA**, v. 18, n. 2, p. 328–336, 18 jun. 2013.

SHEKARI, F.; SOLTANIBAND, V.; JAVANMARD, A.; ABBASI, A. The impact of drought stress at different stages of development on water relations, stomatal density and quality changes of rapeseed (Brassica napus L.). **Iran Agricultural Research**, v. 34, n. 2, p. 81–90, 21 jan. 2016.

SONG, J.; LI, Y.; HU, J.; LEE, J.; JEONG, B. R. Pre- and/or Postharvest Silicon Application Prolongs the Vase Life and Enhances the Quality of Cut Peony (Paeonia Lactiflora Pall.) Flowers. **Plants**, v. 10, n. 8, p. 1742, ago. 2021.

SONG, Z.; WANG, H.; STRONG, P. J.; SHAN, S. Increase of Available Soil Silicon by Si-Rich Manure for Sustainable Rice Production. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34, n. 4, p. 813-819, out. 2014.

STIMART, D.; BOYLE, T. Zinnia. In: ANDERSON, N. O. (Ed.). **Flower Breeding and Genetics**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2006a. p. 337-357.

STIMART, D. P.; BROWN, D. J. Regulation of postharvest flower senescence in Zinnia elegans Jacq. **Scientia Horticulturae**, v. 17, n. 4, p. 391-396, ago. 1982.

SZULC, W.; RUTKOWSKA, B.; HOCH, M.; PTASIŃSKI, D.; KAZBERUK, W. Plant Available Silicon in Differentiated Fertilizing Conditions. **Plant, Soil and Environment**, v. 65, n. 5, p. 233–237, 31 maio 2019.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G.; PAULO CESAR TEIXEIRA, C. G. K. D. **Manual de métodos de análise de solo.** [s.l.] Brasília, DF: Embrapa, 2017., 2017.

THOMPSON, R. B.; GALLARDO, M.; VALDEZ, L. C.; FERNÁNDEZ, M. Determination of lower limits for irrigation management using in situ assessments of apparent crop water uptake made with volumetric soil water content sensors. **Agricultural Water Management**, v. 92, p. 13-28, 1 fev. 2007.

TOKUNAGA, T. K. TENSIOMETRY. In: HILLEL, D. (Ed.). **Encyclopedia of Soils in the Environment**. Oxford: Elsevier, 2005. p. 131-134.

TORRE, S.; FJELD, T.; GISLERØD, H. R.; MOE, R. Leaf Anatomy and Stomatal Morphology of Greenhouse Roses Grown at Moderate or High Air Humidity. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 128, n. 4, p. 598-602, 1 jul. 2003.

TORRES, A. M. Taxonomy of Zinnia. **Brittonia**, v. 15, n. 1, p. 1, 30 jan. 1963.

TSAI, Y. Z.; CHENG, M. L.; HUANG, Q. Z.; LO, W. C.; LI, M. H.; HSU, S. Y. Effect of Effective Saturation and Ceramic Cup Properties on the Response Time of Tensiometers. **Journal of Hydrology**, v. 582, p. 124445, 1 mar. 2020.

TUBANA, B. S.; BABU, T.; DATNOFF, L. E. A Review of Silicon in Soils and Plants and Its Role in US Agriculture: History and Future Perspectives. **Soil Science**, v. 181, n. 9/10, p. 393-411, set. 2016.

TUBAÑA, B. S.; HECKMAN, J. R. Silicon in Soils and Plants. In: RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E. (Eds.). **Silicon and Plant Diseases**. Cham: Springer International Publishing. p. 7-51. 2015.

TWUMASI, P.; VAN IEPEREN, W.; WOLTERING, E. J.; EMONS, A. M. C.; SCHEL, J. H. N.; SNEL, J. F. H.; VAN MEETEREN, U.; VAN MARWIJK, D. EFFECTS OF WATER STRESS DURING GROWTH ON XYLEM ANATOMY, XYLEM FUNCTIONING AND VASE LIFE IN THREE ZINNIA ELEGANS CULTIVARS. **Acta Horticulturae**, n. 669, p. 303–312, fev. 2005.

VAN BOCKHAVEN, J.; DE VLEESSCHAUWER, D.; HÖFTE, M. Towards establishing broad-spectrum disease resistance in plants: silicon leads the way. **Journal of Experimental Botany**, v. 64, n. 5, p. 1281-1293, mar. 2013.

VOOGT, W.; SONNEVELD, C. Chapter 6 Silicon in horticultural crops grown in soilless culture. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Eds.). **Studies in Plant Science**. Silicon in Agriculture. [s.l.] Elsevier, v. 8p. 115-131. 2001.

WANG, S.; WANG, F.; GAO, S. Foliar application with nano-silicon alleviates Cd toxicity in rice seedlings. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 4, p. 2837-2845, 1 fev. 2015.

WHEALY, C. A. 2 - Carnations. In: LARSON, R. A. (Ed.). **Introduction to Floriculture (Second Edition)**. New York: Academic Press. p. 43-65. 1992.

ZHAO, D.; HAO, Z.; TAO, J.; HAN, C. Silicon Application Enhances the Mechanical Strength of Inflorescence Stem in Herbaceous Peony (*Paeonia lactiflora* Pall.). **Scientia Horticulturae**, v. 151, p. 165-172, 28 fev. 2013.

ZHU, Y.; GONG, H. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34, n. 2, p. 455-472, abr. 2014.