UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CAMPUS DE DRACENA

Luís Guilherme Delovo Carara
Graduando em Engenharia Agronômica

DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO, REPRODUTIVO E AVALIAÇÃO FISIOLÓGICA DO ALGODOEIRO IRRIGADO E DE SEQUEIRO EM FUNÇÃO DE ADUBAÇÃO SILICATADA

Dracena
2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CAMPUS DE DRACENA

Luís Guilherme Delovo Carara
Graduando em Engenharia Agronômica

DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO, REPRODUTIVO E AVALIAÇÃO FISIOLÓGICA DO ALGODOEIRO IRRIGADO E DE SEQUEIRO EM FUNÇÃO DE ADUBAÇÃO SILICATADA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas – Unesp, Câmpus de Dracena como parte das exigências para graduação em Engenharia Agronômica.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Ferrari

Dracena
2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
UNESP – CÂMPUS DE DRACENA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: "DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO, REPRODUTIVO E AVALIAÇÃO FISIOLÓGICA DO ALGODOEIRO IRRIGADO E DE SEQUEIRO EM FUNÇÃO DE ADUBAÇÃO SILICATADA"

Modalidade: Trabalho de Atividades de Pesquisa

Autor: Luís Guilherme Delovo Carara

Orientador (a): Samuel Ferrari

Número de Créditos: 12

Data da aprovação e correção de acordo com as sugestões da Banca: 12/07/2022

Samuel Ferrari	Paulo Renato Matos Lopes	Vagner do Nascimento

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Luís Guilherme Delovo Carara, nascido em 01 de janeiro de 1997, na cidade de Dracena/SP. Ingressou na UNESP- Universidade Estadual Paulista, campus Dracena em 2018. Desde o segundo ano de graduação atuei no grupo de estudos ‘’TECH AGRO’’ – Grupo de Pesquisa em Tecnologia na Agricultura", sob orientação do Prof. Dr. Samuel Ferrari, desenvolvendo projeto de Iniciação Científica com a cultura do algodoeiro, principalmente, mas também participei no auxílio da condução de trabalhos de iniciação científica com manejo de arroz, feijão, amendoim, soja, milho, irrigação e adubação. Adquiri conhecimento sobre ciclo e manejo cultural e de pragas e doenças dessas grandes culturas e irrigação, além de aprender a planejar e executar projetos, agir com rapidez na solução de problemas, organizar atividades, desenvolver relatórios e gerenciar pessoas e tempo. Ainda, com a apresentação de artigos e resumos científicos em eventos e congressos aprendi a desenvolver textos técnicos e científicos e ter uma boa fala, comportamento e exposição de opinião em apresentações em público. Fui bolsista de Iniciação Científica FAPESP por três anos consecutivos, com realização de trabalho com a cultura do algodoeiro juntamente com irrigação e adubação, o qual deu origem ao meu Trabalho de Conclusão de Curso.

DEDICATÓRIA

Ao meu pai Luís Osmar Carara, minha mãe Vanda Delovo Carara, e meus irmãos Lucas Henrique, Eduardo Vinícius e João Vitor que sempre estiveram ao meu lado e são exemplos fundamentais para a minha vida pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por sempre estar ao meu lado, e por ter me concedido força, saúde e paz, além de iluminar todos os meus caminhos mostrando-me sempre a trilha para se alcançar a felicidade.

Aos meus pais Vanda Delovo Carara e Luís Osmar Carara, meus irmãos Lucas Henrique Delovo Carara, Eduardo Vinicius Delovo Carara, João Vitor Delovo Carara e minha namorada Talita dos Santos Verona que de longe ou de perto sempre acreditaram em mim e me apoiaram incondicionalmente, sem eles nada disso seria possível.

Ao meu orientador Prof. Dr. Samuel Ferrari, pelo conhecimento transmitido, paciência e a pronta disponibilidade que sempre teve quando precisei. Ainda, pela sabedoria humana e troca de experiencias que me foi concedida durante todo o período de convivência e a amizade cultivada durante minha graduação em Dracena.

Aos amigos de curso, Gabriel, Luis Fernando, Eduardo, Paulo, Isabela Thiago, Fernando, Alexandre pela amizade e companheirismo.

A todos os professores do curso de Graduação em Engenharia Agronômica da UNESP, campus de Dracena, pelos ensinamentos e contribuição em minha carreira acadêmica, além de todos os funcionários e infraestrutura da instituição de ensino.

A todos àqueles que embora não mencionados contribuíram para a realização do trabalho e estiveram comigo nesta etapa importante.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo-FAPESP, pela bolsa de estudo (Processo: 2019/10673-9) e apoio financeiro ao desenvolvimento do projeto.

RESUMO

O silício desempenha um papel importante nas relações planta-ambiente, pois pode proporcionar às culturas melhores condições para suportarem adversidades edáficas, climáticas e biológicas, resultando em maior produtividade. Objetivou-se com esse trabalho avaliar o efeito fisiológico, vegetativo e reprodutivo da adubação silicatada via foliar na cultura do algodoeiro irrigado e em condições de sequeiro. Experimento conduzido na UNESP, campus Dracena-SP, com solo classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, com textura arenosa. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial com parcelas subdivididas, com quatro blocos e 8 repetições. As parcelas foram compostas pelo uso de irrigação no algodoeiro ou pela condução da cultura em sequeiro. As subparcelas foram compostas pelas doses de silício (0, 55, 110, 220, 440 g Si ha^{-1}) aplicadas via foliar e divididas em três aplicações nos estágios B1, F1 e F6. No pleno florescimento do algodoeiro, foram realizadas medições indiretas do teor de clorofila e parâmetros fisiológicos. Ainda, no pleno florescimento e na maturidade do algodoeiro, foram realizadas avaliações de alturas, diâmetro do caule, número de nós e comprimento do primeiro e terceiro ramos reprodutivos. Na maturidade do algodoeiro, foram determinados os componentes de produção e produtividade de algodão em caroço. Não houve ocorrência de doença Ramulária. A altura do algodoeiro foi maior quando cultivado em sistema irrigado na maturidade do algodoeiro. O diâmetro de caule, comprimento do primeiro e terceiro ramo reprodutivo e o índice de clorofila não obtiveram diferenças significativas quanto as doses e irrigação. As plantas submetidas ao estresse hídrico tiveram menor número de nós que as plantas irrigadas. O número de capulhos por planta foi 19,9% maior em condições de irrigação comparado ao sequeiro, e produtividade 8,5% maior quando manejado com irrigação. As plantas cultivadas em condições de irrigação apresentaram condutância estomática e taxa de transpiração foliar significativamente maiores. Não ocorreram efeitos significativos dos valores da taxa de assimilação líquida de CO_2, concentração interna de CO_2 na câmara estomática, temperatura interna da folha e eficiência do uso da água tanto para aplicação de silício quanto para o manejo de irrigação. A aplicação de diferentes doses de Si no algodoeiro não proporcionou diferença significativa nas médias das características vegetativas, reprodutivas e fisiológicas, somente para teor de Si nas folhas houve resultados significativos. O aumento das doses de Si diminuiu o teor de silício nas folhas independente do manejo da irrigação. O uso de irrigação proporcionou maior altura de plantas, maior condutância estomática e maior taxa de transpiração foliar. A produtividade do algodoeiro aumentou em sistema de manejo irrigado, devido ao maior número de capulhos por planta.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum* L. Silício. Solo Arenoso. Condições Hídricas. Fisiologia. Produtividade.

ABSTRACT

Silicon plays an important role in plant-environment relationships, as it can provide crops with better conditions to withstand edaphic, climatic and biological adversities, resulting in greater productivity. The objective of this research was to evaluate the physiological, vegetative and reproductive effect of silicate fertilization via foliar in irrigated cotton culture and under rainfed conditions. Experiment conducted at UNESP - Dracena-SP, with soil classified as dystrophic Red Yellow Argisol, with sandy texture. The experimental design was in randomized blocks in a factorial scheme with split plots, with four blocks and 8 replications.The plots will be composed by the use of irrigation in the cotton plant or by conducting the culture in rainfed. The subplots will be composed of silicon doses (0, 55, 110, 220, 440 g Si ha^{-1}) applied via foliar and divided into three applications. At full flowering of cotton (80 days after plant emergence) indirect measurements of chlorophyll content and physiological parameters were performed. Still in full flowering and maturity of the cotton, evaluations of heights, stem diameter, number of nodes, and the length of the first and third reproductive branches were carried out. At cotton maturity, the components of production and seed cotton yield were determined. There was no occurrence of Ramularia disease. The height of the cotton plant was higher when cultivated in an irrigated system at the maturity of the cotton plant. The stem diameter, length of the first and third reproductive branches and the chlorophyll index did not show significant differences in terms of doses and irrigation. Plants subjected to water stress had fewer nodes than irrigated plants. The number of open bolls per plant was 19.9% higher under irrigation conditions compared to rainfed, and yeld 8.5% higher when managed with irrigation. Plants grown under irrigation conditions showed significantly higher stomatal conductance and leaf transpiration rate. There were no significant effects of the values of net CO_2 assimilation rate, internal concentration of CO_2 in the stomatal chamber, internal leaf temperature and water use efficiency for both silicon application and irrigation management. The application of different doses of Si in the cotton plant did not provide significant difference in the averages of the vegetative, reproductive and physiological characteristics, only for Si content in the leaves there were significant results. The increase in the doses of Si decreased the silicon content in the leaves regardless of the irrigation management. The use of irrigation provided higher plant height, higher stomatal conductance and higher leaf transpiration rate. Cotton yield increased in irrigated management system, due to the greater number of bolls per plant.

Keywords: *Gossypium hirsutum* L., Silicon. Sandy Soil. Water Conditions. Physiology. Yield.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Precipitação e temperatura média quinzenal durante o período de condução do experimento 26
Figura 2 - Calagem (a/b) e gessagem (c) realizada em 31/08/2020 na área experimental (a/b) 28
Figura 3 - Semeadura do algodoeiro realizada em 18/11/2020 28
Figura 4 - Adubação nitrogenada com ureia aos 25 DAE, realizada em 20/12/2020 29
Figura 5 - Tensiômetros instalados em 09/12/2020 30
Figura 6 - Aspersor utilizado para as irrigações 31
Figura 7 - Irrigação do algodoeiro em 27/12/2020 com 32 DAE (a), irrigação realizada em 11/01/2021 com 47 DAE (b) 31
Figura 8 - Folhas murchas do algodoeiro em manejo em sequeiro (a), folhas turgidas após irrigação em manejo irrigado (b) 31
Figura 9 - Primeira aplicação no estágio B1 realizada em 31/12/220 com 36 DAE (a), segunda aplicação no estágio F1 realizada em 19/01/2021 com 55 DAE (b), terceira aplicação no estágio F6 realizada em 05/02/2021 com 72 DAE (c) 32
Figura 10 - Aplicação de produto fitossanitário realizado em 18/01/2021 33
Figura 11 - Emergência do Algodoeiro (a). Algodoeiro com 3 DAE (b). Algodoeiro com 14 DAE (c). Algodoeiro com 38 DAE (d). Algodoeiro com 92 DAE (e). Algodoeiro com 132 DAE (f) 34
Figura 12 - Planta previamente marcada para avaliações *(a)*. Avaliação fisiológica (dispositivo IRGA) realizada em 14/02/2021 35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise química do solo utilizado no experimento 27
Tabela 2 - Dados da curva de retenção de água no solo, com valores de tensão em centímetros de coluna de água (cca) e umidade volumétrica em $cm^3.cm^{-3}$ da área experimental. 30
Tabela 3 - Coeficientes gerados pelo modelo de GENUCHTEN (1980) obtidos a partir da curva de retenção de água no solo. 30
Tabela 4 - Produtos utilizados para controle de pragas, doenças e plantas daninhas 32
Tabela 5 - Altura de plantas, número de nós, diâmetro de caule, comprimento do 1º e 3º ramo reprodutivo e índice de clorofila (SPAD) do algodoeiro em pleno florescimento 37
Tabela 6 - Altura de plantas, número de nós, diâmetro de caule, comprimento do 1º e 3º ramo reprodutivo do algodoeiro na maturidade 39
Tabela 7 - Número de capulhos por planta, peso médio de capulhos, produtividade do algodão em caroço e teor de Si foliar 40
Tabela 8 - Desdobramento entre doses de silício e manejo de irrigação para o teor de silício foliar do algodoeiro 42
Tabela 9 - Variáveis fisiológicas do algodoeiro 43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15

2 OBJETIVOS 18

2.1 Objetivo Geral 18

2.2 Objetivos Específicos 18

3 REVISÃO DE LITERATURA 19

3.1 Algodoeiro e sua importância econômica 19

3.2 O silício na agricultura 21

3.3 O silício na planta 22

3.4 O silício e o estresse hídrico 24

4 MATERIAL E MÉTODOS 26

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 37

6 CONCLUSÃO 45

7 REFERÊNCIAS 46

1 INTRODUÇÃO

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch) apresenta fibras com características de cor, brilho, finura, resistência, maturidade, uniformidade de comprimento, alongamento, comprimento e sedosidade que conferem uma das mais importantes fontes de riqueza para o agronegócio nacional e mundial (COSTA et al., 2006).

Devido à grande importância do cultivo de algodoeiro no cenário internacional e a participação crescente dessa produção no cenário nacional, torna-se interessante o desenvolvimento de meios e tecnologias que favoreçam o aumento deste rendimento. Nota-se que, entre estudos com foco na melhoria da produção de culturas agrícolas, existe um interesse cada vez maior pela adubação silicatada (MAUAD et al., 2003 e LIMAFILHO et al., 2007), justificada principalmente pela disponibilidade de fontes comerciais. Estas pesquisas têm apresentado resultados benéficos dos efeitos do silício em algumas culturas agrícolas com grande importância econômica, como nos casos do milho, cana de açúcar, arroz, trigo, gramíneas forrageiras, dentre outras (GAMA, 2014).

Com todos os impactos positivos que pode proporcionar, acredita-se que o silício seja uma alternativa com alto potencial na melhoria das culturas agrícolas, sendo uma delas, o algodoeiro. Isso porque o silício, mesmo que não seja considerado um elemento essencial (GIONGO et al., 2011), tem a capacidade de melhorar alguns processos morfofisiológicos e bioquímicos desejáveis. Como exemplo, promove acúmulo de silicatos polimerizados nas células epidérmicas resultando em uma dupla camada silício-cutícula que reduz a transpiração, o que resulta num menor consumo hídrico (PEIXOTO et al., 2011).

O algodoeiro tem seu rendimento baseado pelo ambiente em que é cultivado e por suas características genéticas. Os fatores desse ambiente que impactam no seu rendimento são: solo, clima, nutrientes, pragas, doenças e água (um dos fatores mais importantes) (BELTRÃO, 1994). A porção Oeste do estado de São Paulo é a segunda maior microrregião produtora de algodão do estado, com aproximadamente 1.600 hectares de cultura na safra 2017/2018 em solo de textura arenosa em sua maioria, sendo assim, apresenta uma baixa capacidade de retenção de água (IEA, 2017). Essa região é caracterizada por

ter clima do tipo tropical, com inverno seco e verão chuvoso (BOIN, 2000). A precipitação anual média nos anos de 2017 e 2018 foi de 1282 mm e 1266 mm respectivamente, porém existe uma má distribuição e irregularidades das precipitações o que pode comprometer a produtividade do algodoeiro. Nos meses de fevereiro e dezembro (16 dias sem a ocorrência de chuva) de 2017 ocorrem 40 e 211 mm de precipitação respectivamente, enquanto em 2018, para os mesmos meses, as precipitações foram de 202 (12 dias sem chuvas) e 77 mm (UNESP, 2019). Em janeiro de 2018, a precipitação total foi de 125 mm, porém houve 20 dias sem chuva.

Larcher (2006) afirmou que a deficiência hídrica na cultura do algodoeiro provoca a diminuição do volume celular e uma progressiva desidratação do protoplasto, tendo como resposta a diminuição da turgescência e, associada a isso, a diminuição do crescimento em extensão do caule. Sob estresse hídrico normalmente há redução da expansão foliar, da altura das plantas e do número e taxa de crescimento dos ramos reprodutivos e vegetativos por planta, o que incide em menor crescimento e produtividade do algodoeiro (ARRUDA et al., 2002, KERBAUY, 2004). O déficit hídrico resulta na diminuição da resistência e na espessura da fibra, assim como no diâmetro do caule e em consequência, na produtividade do algodoeiro. Por outro lado, a disponibilidade hídrica adequada favorece o aumento da produtividade e na melhoria da qualidade da fibra (NUNES FILHO et al., 1998, CORDÃO SOBRINHO et al., 2007). A irrigação pode proporcionar maior número de capulhos por planta na colheita, pois a sua utilização promove maior retenção de botões florais (BALKCOM et al., 2007). Além disso, com o suprimento hídrico adequado, o processo fotossintético é beneficiado e a deposição de celulose na fibra na etapa de crescimento atinge o nível adequado (ROSOLEM, 2001).

Atualmente, a cotonicultura irrigada no Brasil corresponde a apenas 8% da área irrigável desta cultura, o que a torna um campo de expansão considerável, que possui como fator positivo os ganhos exponenciais de produtividade, estabilidade de produção e ganhos em qualidade das fibras quando comparada a agricultura de sequeiro (EMBRAPA, 2014). As necessidades hídricas da cotonicultura variam de acordo com o estágio fenológico em que as plantas se encontram (AQUINO et al., 2012). Segundo Bezerra et al. (2010), no intervalo compreendido entre a fase inicial e o

surgimento dos botões florais, a demanda hídrica não supera os 2 mm por dia, enquanto na fase posterior, onde o crescimento vegetativo é acelerado, essa demanda aumenta, podendo ser superior aos 8 mm por dia. O estágio que sofre maior impacto negativo do déficit hídrico é o reprodutivo, durante a floração e a formação das maçãs, pois a ocorrência do déficit hídrico pode ocasionar a queda das estruturas reprodutivas e menor produtividade da cultura. (ARRUDA et al., 2002; BEZERRA et al., 2010).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o efeito fisiológico, vegetativo e reprodutivo da adubação silicatada via foliar na cultura do algodoeiro irrigado e em condições de sequeiro.

2.2 Objetivos Específicos

Verificar se em regiões de solos arenosos a irrigação pode permitir a obtenção de maior produtividade ao algodoeiro;

Investigar se o uso de silício aplicado via foliar no algodoeiro pode proporcionar menor transpiração e menor consumo hídrico;

Certificar se a utilização de silício pode constituir uma alternativa para minimizar o efeito danoso da falta de água à fisiologia e ao seu desenvolvimento;

Analisar se o silício pode contribuir para amenizar os efeitos causados pela doença Ramularia no algodoeiro.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Algodoeiro e sua importância econômica

A família Malvaceae, a qual pertence o algodoeiro, apresenta distribuição mundial com centro de dispersão nas regiões tropicais. Esta família possui 85 gêneros e mais de 1.500 espécies (JOLY, 1983). A importância econômica dessa família está nas espécies produtoras de fibras e o algodoeiro é a planta produtora de fibra mais importante do mundo (BORÉM; FREIRE, 2014).

Com origens distintas, alguns autores afirmam ser originário do Continente Americano, África Central, Paquistão e Índia. No Brasil, com suas próprias técnicas, os índios já cultivavam e convertiam o algodão em fios e tecidos (LUNARDON, 2007). O gênero *Gossypium* possui 52 espécies de ampla distribuição, mas apenas quatro espécies do gênero são cultivadas e exploradas economicamente. No Brasil, são encontradas três espécies de algodoeiro: *G. hirsutum* L., *G. barbadense* L. e G*. mustelinum* (Mier). Destas, *G. hirsutum* apresenta duas raças, dentre elas *G. hirsutum latifolium* Hutch, denominado de algodoeiro “herbáceo” ou “anual” (GONDIM-TOMAZ et al., 2016).

O início da domesticação da cultura do algodoeiro, *G. hirsutum* L., foi realizado há mais de 4.000 anos no sul da Arábia, onde foi fabricado o primeiro tecido e papel com essa fibra. Outras civilizações antigas em 4.500 A.C já utilizavam a domesticação dessa cultura. Com todo o desenvolvimento do novo maquinário de fiação no século XVIII, iniciou o domínio do mercado mundial de fios e tecidos (AMPA, 2012).

O algodoeiro apresenta metabolismo fotossintético C3 e hábito de crescimento indeterminado, tornando-o morfologicamente complexo. Durante boa parte do ciclo da planta, há diversos eventos ocorrendo simultaneamente, como crescimento vegetativo, aparecimento de gemas reprodutivas, florescimento, crescimento e maturação de frutos (BELTRÃO et al. 2008). Cada um destes eventos é importante para a produção final, mas é necessário que eles ocorram de modo balanceado. Entender os principais eventos fisiológicos que ocorrem durante cada estágio de crescimento é importante para o manejo adequado da cultura (ROSOLEM, 2001).

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é considerado mundialmente uma das mais importantes culturas de fibras. No mundo, são plantados cerca de 35

milhões de hectares ao ano (ABRAPA, 2021) resultando numa produção em torno de 26,5 milhões de toneladas (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2021).

O principal item na produção do algodoeiro é o fruto e sua massa é composta pelas sementes (52%), fibras (40%) e demais estruturas botânicas (8%). As sementes contêm aproximadamente 15% de óleo, 3% de fibras, 40% de proteínas e 42% de tegumentos. As fibras, estruturas compostas por camadas de celulose, são o principal produto econômico do algodoeiro (BELTRÃO et al.1999).

No Brasil, de acordo com Dutra e Medeiros Filho (2009), as áreas de maior expressão cultivadas com algodão estão situadas nos Estados do Mato Gosso, Bahia e Goiás. Estes autores reportaram que, a cadeia do algodão constitui-se em uma das principais atividades deste país, representando em torno de 15% da economia nacional. A estimativa para a safra 2021/22 realizada pela CONAB (2022) aponta para um aumento na produção brasileira de algodão em relação à safra anterior na ordem de 19,3%, saltando de 2.359,0 mil toneladas para 2.815,4 mil toneladas de pluma. Aponta também para um aumento na área em 16,8%, chegando a 1.600,9 mil hectares.

Nos últimos anos houve aumento em produtividade da cultura em razão dos avanços genéticos e melhorias do sistema de produção, mas essa produtividade não é maior em razão da ocorrência de pragas e doenças que acometem a cultura.

As condições edafoclimáticas das regiões produtoras como altas temperaturas, veranicos, solos arenosos na sua maioria e a suscetibilidade das cultivares às doenças levaram ao aumento dos custos de controle. Essa situação resultou no aumento do uso dos insumos químicos com consequente aumento nos custos de produção (FREIRE, 2007; BORÉM; FREIRE, 2014).

Um outro gargalo do sistema de produção do algodão é o manejo nutricional. Os fertilizantes são responsáveis por 20-30% dos custos de produção do algodoeiro (ROCHESTER, 2007), e, embora muitos trabalhos na literatura abordem este tema, as exigências nutricionais do algodão, especialmente para novas variedades e para novas práticas de cultivo ainda tem espaço para ser exploradas (VIEIRA et al., 2018). Nesse contexto, estudos que visam acrescentar informações para garantir a nutrição adequada do algodão

são necessários para melhoria do rendimento e redução de custos de produção aumentando a sustentabilidade do sistema produtivo, o lucro e reduzindo danos ambientais (CARVALHO, 2007).

3.2 O silício na agricultura

O silício pode ser considerado um elemento agronomicamente essencial, notadamente, devido aos inúmeros benefícios que a adubação silicatada pode oferecer às plantas, aumentando a quantidade e a qualidade do produto colhido (FERREIRA, 2008).

O silício é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre (cerca de 28,8% da crosta terrestre) depois do oxigênio (TUBANA et al., 2016; NEU et al., 2017). No entanto, a disponibilidade de Si em solos tropicais é limitada principalmente pelos altos níveis de dessilicação de minerais primários de silicato (EPSTEIN, 2009; HAYNES et al., 2017; WALSH et al., 2018; LINDEN et al., 2019). Além da dessilicação, o intemperismo químico de silicatos primários e minerais aluminossilicatos é acompanhado pela liberação e lixiviação de cátions básicos e o desenvolvimento de solos de baixa saturação por bases (KEEPING et al., 2017). Como parte deste processo, íons relativamente imóveis de Al e Fe reagem com parte do Si para formar minerais argilosos secundários dominados por sesquióxidos de Al e Fe e caulinitas (EPSTEIN, 2009; HAYNES, 2014; KEEPING et al., 2017).

Esses solos altamente intemperizados são ácidos e, como resultado, podem ser ricos em formas solúveis de Al, (SANCHEZ, 1976; FAGERIA et al., 1988; KEEPING et al., 2017) que podem reagir com Si para formar hidroxialuminossilicatos insolúveis. A perda de Si através desses processos de intemperismo é mais severa nas regiões tropicais e subtropicais, onde as chuvas e as temperaturas são altas, e em menor grau, em regiões temperadas (KEEPING et al., 2017).

Em geral, as soluções de solos apresentam teores de Si na fase líquida variando entre 2,8 e 16,8 mg dm^{-3}, e o equilíbrio dinâmico do elemento no solo depende do pH (EPSTEIN, 2009). Além disso, as principais fontes de Si nas soluções do solo são a decomposição de resíduos vegetais, dissociação do ácido monossilícico polimérico (H_4SiO_4), liberação de Si a partir de óxidos e

hidróxidos de Fe e Al, dissolução de minerais cristalinos e adição de fertilizantes de Si e água de irrigação (KORNDÖRFER et al., 2004; MARAFON; ENDRES, 2013). O cultivo intensivo remove o Si do solo, estima-se que anualmente 190-204 milhões de Mg de Si são retirados dos solos aráveis do mundo (MEENA et al., 2014). Em áreas cultivadas, a remoção das culturas não permite a reciclagem de Si por plantas e o ciclo biogeoquímico de Si é distorcido (BAKHAT et al., 2018). Dessa forma, a diminuição do Si disponível pode ter impactos significativos na produção de cereais se não for devidamente restaurada (GUNTZER et al., 2012).

O conteúdo de Si em solos condições tropicais, como o Cerrado brasileiro, pode ser inferior a 1% devido à presença de processos de dessilicação extremamente ativos (FUJII et al., 2018) e que algumas culturas (principalmente gramíneas, por exemplo, cana-de-açúcar, arroz, trigo e milho) pode remover Si rapidamente e em grande quantidade (TUBANA et al., 2016).

Entre as espécies vegetais, o arroz e a cana-de-açúcar contêm H_4SiO_4 em cerca de 10% do peso seco acima do solo e são capazes de remover entre 150 e 700 kg Si ha^{-1} ano^{-1} (MEENA et al., 2014; KEEPING, 2017; KEEPING et al., 2017). O arroz e a cana-de-açúcar acumulam Si como opala de sílica e corpos de sílica na parte aérea e nas raízes e podem absorver várias vezes mais Si do que os minerais nutricionais comuns, como N, P e K (AGOSTINHO et al., 2017).

3.3 O silício na planta

A concentração de silício no organismo vegetal é bastante ampla, inclusive entre cultivares da mesma espécie, onde o percentual do elemento encontrado em alguns vegetais pode variar entre 1 e 10%, podendo assumir valores levemente superior ou inferior. Cabe a observância de que, as monocotiledôneas possuem maior concentração de Si no organismo em comparação com as dicotiledôneas (NOCCHI, 2019).

O Si é considerado um elemento agronomicamente benéfico para muitas monocotiledôneas tais como arroz, cana-de-açúcar, cereais de inverno e para algumas dicotiledôneas (RODRIGUES, 2010).

O Si é absorvido pelas plantas na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4), disponível na solução do solo, e, através de transportadores, acumula-se principalmente na parte aérea junto à cutícula como ácido silícico polimerizado, que é depositado como sílica amorfa hidratada, principalmente no retículo endoplasmático, em espaços intercelulares e paredes celulares (COSKUN et al., 2019).

A deposição de sílica na parede das células ameniza os efeitos da transpiração, e confere maior eficiência fotossintética às plantas (HURTADO, 2020). Além disso, a deposição de sílica na parede das células torna a planta mais resistente à ação de fungos e insetos. Isso ocorre pela associação da sílica com constituintes da parede celular, tornando-as menos acessíveis às enzimas de degradação (resistência mecânica) dos invasores.

De acordo com Oliveira et al. (2010), a absorção de Si está relacionada a alguma forma de defesa, seja contra estresse biótico ou abiótico. Assim as plantas absorvem mais esse elemento em condições de estresse, possibilitando maior resistência.

De acordo com Zuccarini (2008), pode-se destacar, como benefícios para as plantas com o uso do silício, o aumento da eficiência do uso da água, com diminuição da transpiração, favorece a translocação de carbono para as sementes e passagem mais rápida da fase vegetativa para a reprodutiva. Goussain (2002) e Basagli (2003) apontam ainda como efeitos positivos do silício o estímulo à produção de fitoalexinas (fenóis), aumento da resistência da parede celular e regulação da evapotranspiração, melhoria da arquitetura foliar, tornando-as mais eretas, proporciona redução na preferência alimentar de insetos e incidência de doenças, principalmente fúngicas, além do aumento da taxa fotossintética. De forma análoga, Locarno et al. (2011) apresentam que o uso de silício na adubação pode impactar positivamente no índice de clorofila das folhas. Esse impacto é benéfico, pois as folhas participam do processo de absorção de energia luminosa para conversão em ATP.

Farias (2012) aponta que os efeitos do silicato de potássio aplicado via foliar proporcionam um aumento da área foliar, do teor de clorofila e na altura das plantas do algodoeiro, mas em concentrações superiores a 960 mg L^{-1} de silício pode ocorrer fitotoxidade no algodoeiro, diminuindo a altura e a área foliar das mesmas. Ferraz et al. (2014) notaram uma melhora na eficiência quântica

do fotossistema II e na taxa de assimilação de CO_2, assim como uma redução na fluorescência inicial e máxima por meio da utilização do silicato de potássio em aplicação foliar no algodoeiro.

Os cultivares BRS Safira e BRS Rubi foram estudados por Ferraz et al. (2017) em 11 condições do semiárido e verificou-se que os algodoeiros tiveram um incremento no desenvolvimento atingindo o ponto máximo de 100 mg L^{-1} de silício, quando aplicado silicato de potássio via foliar. Segundo Barros et al. (2019), a aplicação foliar de Si no algodoeiro cultivado em condições de baixa precipitação promove aumento do número de capulhos por planta, da massa de capulhos e da produtividade de fibra de algodão.

3.4 O silício e o estresse hídrico

A deficiência hídrica é um dos estresses que mais influencia o crescimento da planta, devido à influência da água na divisão e expansão celular. Além disso, o fechamento dos estômatos reduz a transpiração, o que pode aumentar a eficiência no uso de água pelas plantas, porém com comprometimento da assimilação de CO_2 o que leva a redução da taxa fotossintética (STEPONKUS, 1990; KUMAR; SINGH, 1998; HASANUZZAMAN et al., 2014).

Em condições de estresse, há aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) que causam uma cascata de reações oxidativas, resultando na redução de pigmentos como clorofila e destruição de membranas pela peroxidação lipídica (FAROOQ et al., 2013; HUSSAIN et al., 2015; TRIPATHI et al., 2015). No entanto, formam-se sistemas complexos de proteção para competir com o estresse oxidativo, que consiste em diversas enzimas antioxidantes como a superóxido dismutase, peroxidase e catalase.

O termo estresse oxidativo refere-se a uma situação de sérios desequilíbrios entre a produção de EROs e as defesas antioxidantes. Em princípio, o estresse oxidativo pode resultar da diminuição de antioxidantes, ou então do aumento de EROs. Normalmente, as células toleram o estresse oxidativo brando, o qual frequentemente resulta na modificação da regulação do sistema de defesa antioxidante na tentativa de restaurar o balanço oxidante e antioxidante (HALLIWELL; GUTTERIDGE, 1999). No geral, o estresse oxidativo implica em um conjunto de eventos prejudicais à planta, onde as EROs

desencadeiam reações a partir de radicais livres que, de maneira indiscriminada, atingem qualquer tipo de macromolécula alterando a funcionalidade. Dessa forma, o efeito benéfico do silício tem sido associado justamente ao aumento da capacidade de defesa antioxidante na deficiência hídrica (ADREES et al., 2015; ANWAAR et al., 2015; CAO et al., 2015 e KIM et al., 2017).

O Si pode atuar na redução dos estresses abióticos caudados por seca, salinidade e metais pesados, porém os mecanismos de envolvidos ainda são poucos compreendidos, sendo variável para cada espécie. Aumentos da tolerância ao estresse hídrico pela ação do Si foram verificadas em arroz (MAUAD, 2006), sorgo apresentando maior taxa de fotossíntese (HATTORI et al. 2005), trigo no menor potencial hídrico das plantas (GONG et al. 2005), batata (CRUSCIOL et al. 2013; PILON, 2011) e cana-de-açúcar com maior número de folhas totais e comprimento de plantas, sobre estresse hídrico (BEZERRA, 2015).

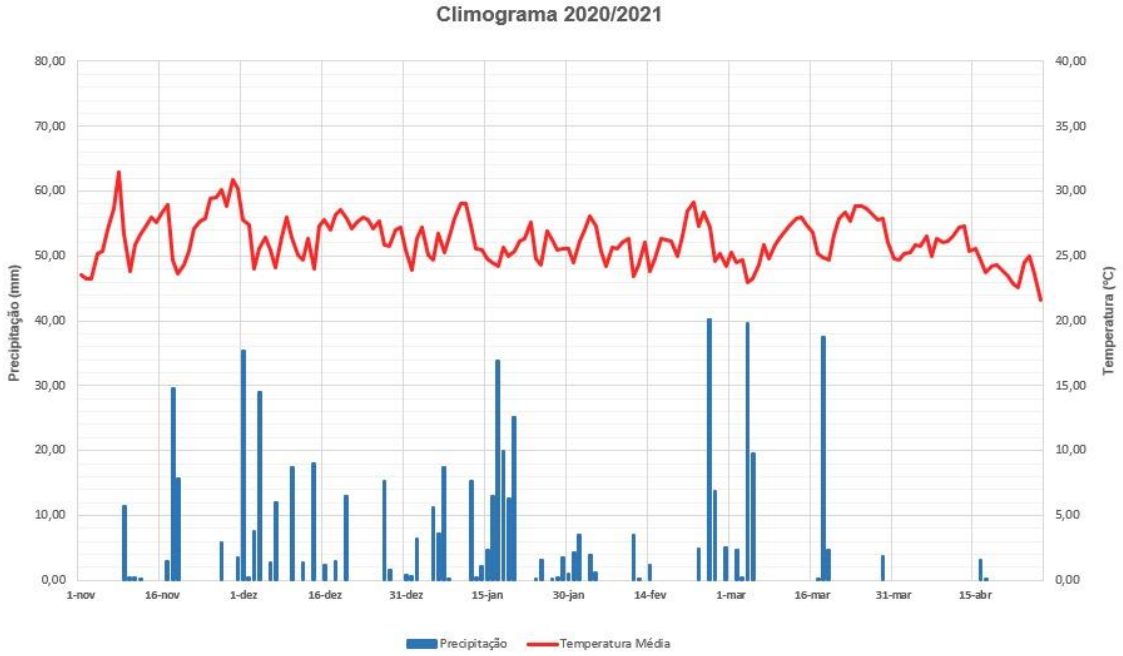
Com base no acima exposto, o papel do silício como elemento benéfico é claro quando se considera sua atuação em condições desfavoráveis bióticas e abióticas, que levam ao déficit hídrico. Assim, a atenuação dos danos causados devido a falta de água pela adubação silicatada está ligada ao ajustamento do potencial hídrico, com aumento do teor relativo de água nas folhas, aumento da fotossíntese, além de incremento da produção e da ativação da defesa antioxidante (AHMED et al., 2011).

Ainda, a fim de minimizar os riscos da má distribuição temporal e espacial das precipitações pluviométricas e do déficit hídrico, a utilização da irrigação possibilita que as plantas cheguem ao seu potencial produtivo máximo através da manutenção da umidade. Para tal, é necessário o conhecimento das demandas hídricas da cultura para que os processos fisiológicos e metabólicos não sejam comprometidos (BEZERRA et al. 2009).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental na UNESP/FCAT – Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas – Dracena – SP, localizada nas coordenadas geográfica latitude 21° 29’ S, longitude 51° 32’ W e altitude de 396 metros. O clima é classificado predominantemente do tipo Aw (Figura 1) de acordo com a classificação koppen, o solo é classificado como ARGISSOLO VERMELHO AMARELO distrófico (SANTOS et al., 2013). A textura do solo na camada 0-20 cm, determinada pelo método da pipeta, no laboratório de solos da FCAT/Unesp foi: 86,6 g/kg de argila, 836,5 g/kg de areia e 76,9 g/kg de silte.

Figura 1 - Precipitação e temperatura média quinzenal durante o período de condução do experimento. Dracena-SP.



Fonte: autoria própria.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial com parcelas subdivididas, com quatro blocos e oito repetições. As parcelas compostas pelo uso de irrigação no algodoeiro (100% da evapotranspiração da cultura – ETc) ou pela condução da cultura em sequeiro. As subparcelas compostas pelas doses de silício (0, 55, 110, 220 e 440 g Si ha^{-1}) aplicadas via foliar no algodoeiro, divididas em 3 aplicações nos estágios, B1 (início da fase reprodutiva-primeiro botão floral visível), F1 (primeiro botão floral do primeiro ramo reprodutivo de floração) e F6 (abertura da primeira flor do sexto

ramo reprodutivo), com aproximadamente 32, 51 e 67 dias após a emergência (DAE), respectivamente.

As doses utilizadas foram estabelecidas baseando-se em trabalhos de Ferraz et al. (2017), Souza Júnior (2018) e Barros et al. (2019). A fonte de silício utilizada foi do produto comercial Silexo (11% de Si e 10% de K_2O p/v), nas doses de 0, 500, 1000, 2000 e 4000 mL ha^{-1} do produto comercial em função das doses de silício estabelecidas. O potássio foi corrigido via adubação foliar, nas mesmas épocas, com KCl branco para fertirrigação (60% K_2O) em cada parcela, a depender das doses do Silexo aplicada com o objetivo de isolar o efeito do silício nas plantas de algodoeiro.

O experimento foi implantado em área que estava com a cultura do algodoeiro na safra 2018/2019 e que nos anos anteriores (15 anos) estava com pastagem de *Urochloa brizantha* cv. Marandú. A área de cada unidade experimental foi de 18 m^2, as dimensões de cada unidade eram de 6,0 m de comprimento por 3,0 m de largura, contendo 4 linhas de semeadura do algodoeiro com espaçamento entre linhas de 0,75 m. A área útil de cada parcela foi constituída pelas 2 linhas centrais, desprezando 0,50 m em ambas das extremidades de cada linha.

Em agosto de 2020, foram coletadas duas amostras compostas de solo, nas profundidades de 0-0,2 e 0,2-0,4 m, formadas por 20 amostras simples, para análise química do solo (Tabela 1) (RAIJ et al., 2001).

Tabela 1 - Análise química do solo utilizado no experimento. Dracena-SP

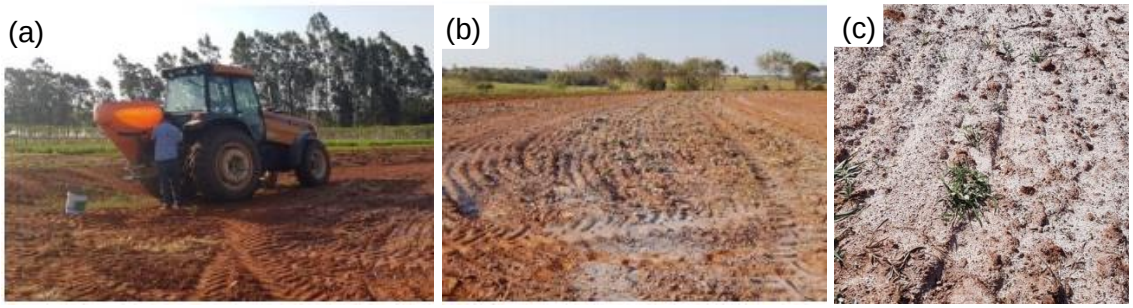
Amostra	pH	M.O.	P	H+A	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SB	CTC	V%
		(g dm^{-3})	(mg dm^{-3})	----------(mmol$_c$ dm^{-3})----------						
0-20 cm	4,9	15	7	19	1,9	10	7	18,1	37,1	48,8
20-40cm	4,2	12	6	25	1,7	5	3	28,2	34,8	28,2

Amostra	Fe2+	Cu2+	Mn2+	Zn2+	B
	----------(g dm^{-3})----------				
0-20 cm	8	0,7	4,7	1,6	0,20
20-40 cm	16	1,0	5,7	1,1	0,16

Fonte: elaborado pelo autor.

Em seguida, no dia 31/08/2020 foi aplicado 520 kg ha^{-1} de calcário e 1 t ha^{-1} de gesso agrícola (Figura 2) com base na análise química do solo levando em consideração as recomendações de Fuzatto et al. (2014) para elevar a saturação por bases do solo a 60%, sendo realizado na sequência gradagem niveladora para incorporar o calcário ao solo.

Figura 2 – Calagem (a/b) e gessagem (c) realizada em 31/08/2020 na área experimental. Dracena-SP.



Fonte: autoria própria.

A semeadura do algodoeiro (Figura 3) foi realizada mecanicamente no dia 18/11/2020, sendo utilizadas 14 sementes m^{-1}. Após o estabelecimento das plântulas foi feito o desbaste, deixando-se 7 plantas por m^{-1} (BASF, 2019). O tratamento das sementes foi feito com carbofurano e carboxina+tiram (1500 e 300 mL, dos produtos comerciais/100 kg sementes).

Figura 3 - Semeadura do algodoeiro realizada em 18/11/2020. Dracena-SP

Fonte: autoria própria.

Utilizou-se a cultivar de algodoeiro FM 983GLT de ciclo tardio (180 a 200 dias), com altura de plantas classificado como alta. Resistente à bacteriose e à virose (doença azul), rendimento de fibra de 40-41% e população de plantas entre 85.000 e 90.000 plantas ha^{-1} (BASF, 2019).

A adubação básica nos sulcos de semeadura foi de 320 kg ha^{-1} do formulado 08-28-16 calculado com base nos teores dos elementos revelados no

resultado da análise química, e levando-se em consideração as recomendações de Fuzatto et al. (2014), assim como a adubação nitrogenada (100 kg ha^{-1} de N) e potássica (50 kg ha^{-1} de K_2O) de cobertura (Figura 4), dividida em duas aplicações, aos 25 (110 kg ha^{-1} de ureia) e 45 (250 kg ha^{-1} do formulado 20-00-20) DAE.

Figura 4 - Adubação nitrogenada com ureia aos 25 DAE, realizada em 20/12/2020. Dracena-SP

Fonte: autoria própria.

Para caracterizar a capacidade de armazenamento de água no solo e acompanhar ou estimar a deficiência hídrica no solo no tratamento sequeiro durante o desenvolvimento da cultura do algodoeiro foram instaladas três baterias de tensiômetros de pulsão (Figura 5) em cada tratamento de manejo, sequeiro e irrigado, com 3 tensiômetros nas profundidades de 0,15, 0,3 e 0,6 m (KLAR, 1991). As leituras foram efetuadas no período da manhã por volta das 7:30 horas por tensímetro digital em KPa e transformados em centímetros de coluna de água. De posse dos valores (médias das três repetições nas respectivas profundidades), pela expressão de Genuchten (1980) achou-se a umidade volumétrica, e através dos cálculos determinou-se a CADatual ou CAD80 KPa por profundidade e por fim fez a somatória dos valores.

Neste caso específico, para o algodoeiro em solo arenoso foi adotado o potencial matricial de água no solo quando o tensiômetro acusar tensão de -80 KPa, nesse momento foi realizado o manejo de reposição de água via irrigação. Acima deste valor considerou-se déficit hídrico para cultura (sequeiro).

De posse dos dados da CCAS e dos respectivos coeficientes gerados pelo modelo de Genuchten (1980) foi realizado os cálculos para a determinação da umidade da capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e

da umidade no potencial matricial adotado para o manejo da irrigação na cultura do algodoeiro quando este atingir o valor de -80 KPa.

Tabela 2 - Dados da curva de retenção de água no solo, com valores de tensão em centímetros de coluna de água (cca) e umidade volumétrica em $cm^3.cm^{-3}$ da área experimental. Dracena-SP

Profundidade (cm)	Tensão de água no solo (cca)								DS*
	Sat	40	100	300	500	1000	5000	15000	
	Umidade volumétrica ($cm^3.cm^{-3}$)								(g/cm^3)
00 - 20	0,468	0,294	0,213	0,167	0,133	0,110	0,095	0,070	1,55
20 - 40	0,437	0,289	0,198	0,143	0,121	0,101	0,083	0,057	1,53
40 - 60	0,406	0,230	0,192	0,146	0,120	0,097	0,085	0,071	1,63

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 3 - Coeficientes gerados pelo modelo de GENUCHTEN (1980) obtidos a partir da curva de retenção de água no solo. Dracena-SP.

Profundidade (cm)	Coeficientes gerados pelo modelo						
	α	m	N	θr	θs	θ_{CC}	θ_{PMP}
				$cm^3.cm^{-3}$			
00 - 20	0,088	0,182	2,586	0,070	0,468	0,129	0,077
20 - 40	0,062	0,264	1,972	0,057	0,437	0,115	0,062
40 - 60	0,130	0,030	14,982	0,071	0,406	0,108	0,076

α, **m**, **n** =coeficientes gerados pelo modelo; θr =umidade residual; θs =umidade de saturação; θ_{CC} =umidade de capacidade de campo; θ_{PMP} =umidade de ponto de murcha permanente.

Figura 5 - Tensiômetros instalados em 09/12/2020. Dracena-SP.

Fonte: autoria própria.

As irrigações (Figuras 7) para as parcelas irrigadas foram realizadas de acordo com as necessidades hídricas, com média de 6 dias entre as irrigações com um sistema de aspersão convencional com eficiência de 80%, com espaçamento dimensionado com 12 x 12 m entre aspersores e linhas de irrigação, com intensidade de aplicação de 10 mm h^{-1} e pressão de serviço (PS) de 30 mca (Figura 6). As irrigações foram realizadas para manter o algodoeiro em 100% da evapotranspiração da cultura – ETc, baseado na estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), e no coeficiente da cultura (Kc) de acordo

com cada fase fenológica do algodoeiro. Para evitar aplicação de água nas parcelas vizinhas deixou-se um espaçamento (isolamento) de 18 metros entre as parcelas com e sem irrigação.

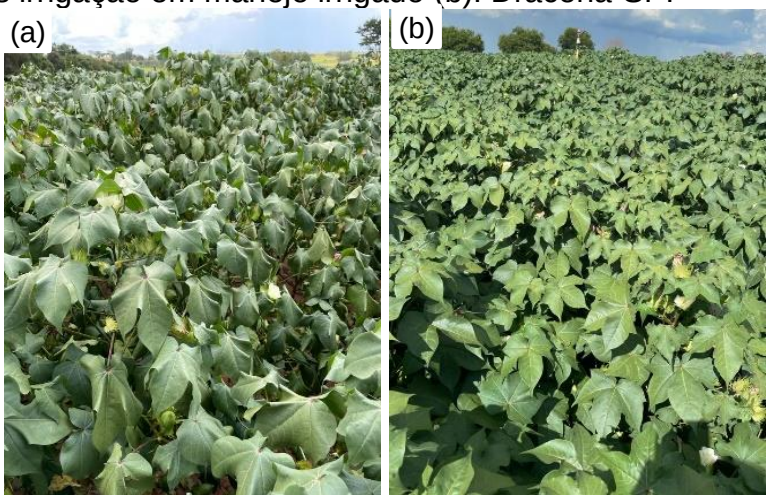
Figura 6 - Aspersor utilizado para as irrigações. Dracena-SP.

Fonte: autoria própria.

Figura 7 – Irrigação do algodoeiro em 27/12/2020 com 32 DAE (a) e irrigação e realizada em 11/01/2021 com 47 DAE (b). Dracena-SP.

Fonte: autoria própria.

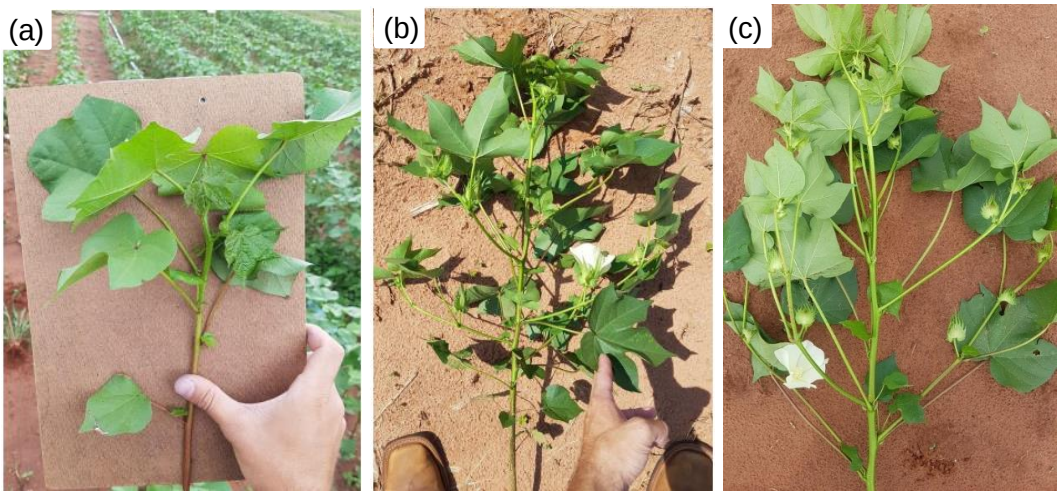
Figura 8 - Folhas murchas do algodoeiro em manejo em sequeiro (a) e folhas turgidas após irrigação em manejo irrigado (b). Dracena-SP.



Fonte: autoria própria.

As aplicações das doses de silício (Figura 9) e para a correção do potássio foram realizadas nos dias 31/12/2020 (estágio B1), 19/01/2021 (estágio F1) e 05/02/2021 (estágio F6), na forma de jato dirigido, com pulverizador tipo costal de CO_2 com pressão e volume constantes, de 200 L ha^{-1}, munido de barra de aplicação de alumínio com 6 bicos e espaçamento de 50 cm entre bicos. As aplicações foram entre 8:00 e 9:00 h, com ausência ou pouca incidência de vento além de um anteparo de lona plástica para evitar deriva da calda.

Figura 9 - Primeira aplicação no estágio B1 realizada em 31/12/2020 com 36 DAE (a), segunda aplicação no estágio F1 em 19/01/2021 com 55 DAE (b), terceira aplicação no estágio F6 em 05/02/2021 com 72 DAE (c). Dracena-SP.



Fonte: autoria própria.

O controle de pragas, doenças, plantas daninhas e uso de regulador de crescimento na área das parcelas experimentais foi realizado com produtos químicos recomendados para a cultura do algodoeiro (Tabela 4 e Figura 10).

Tabela 4 - Produtos utilizados para controle de pragas, doenças e plantas daninhas. Dracena-SP

Produto comercial	Ingrediente ativo	Dose	Época
Pix	Cloreto de mepiquate	0,06 L p.c. ha^{-1}	33 DAE
Roundap Original DI	Glifosato	3 L p.c.ha^{-1}	33 DAE
Poquer	Cletodim	0,6 L p.c ha^{-1}	33 DAE
Malathion 1000 EC Cheminova	Malationa	1 L p.c. ha-1	33 DAE
Actara 250 WG	Tiametoxam	200 g p.c. ha^{-1}	38 DAE
Pix	Cloreto de mepiquate	0,2 L p.c. ha^{-1}	45 DAE
Sperto	Acetameprido+bifentrina	300 g p.c.ha^{-1}	45 DAE
Pirate	Clorfenapir	1,5 L p.c. ha^{-1}	49 DAE
Pirate	Clorfenapir	1,5 L p.c. ha^{-1}	54 DAE
Actara 250 WG	Tiametoxam	200 g p.c. ha^{-1}	54 DAE

Pix	Cloreto de mepiquate	0,15 L p.c. ha^{-1}	54 DAE
Malathion 1000 EC Cheminova	Malationa	1,5 L p.c ha^{-1}	62 DAE
Actara 250 WG	Tiametoxam	200 g p.c. ha^{-1}	62 DAE
Fastac 100 SC	Alfa-cipermetrina	0,3 L p.c. ha^{-1}	62 DAE
Pix	Cloreto de mepiquate	1 L p.c. ha^{-1}	62 DAE
Malathion 1000 EC Cheminova	Malationa	1 L p.c ha^{-1}	66 DAE
Actara 250 WG	Tiametoxam	200 g p.c. ha^{-1}	66 DAE
Pirate	Clorfenapir	1 L p.c. ha^{-1}	70DAE
Pirate	Clorfenapir	1,5 L p.c. ha^{-1}	74 DAE
Actara 250 WG	Tiametoxam	200 g p.c. ha^{-1}	74 DAE
Pirate	Clorfenapir	1 L p.c. ha^{-1}	82 DAE
Actara 250 WG	Tiametoxam	200 g p.c. ha^{-1}	82 DAE
Pirate	Clorfenapir	1 L p.c. ha^{-1}	94 DAE
Malathion 1000 EC Cheminova	Malationa	1,5 L p.c ha^{-1}	95 DAE
Malathion 1000 EC Cheminova	Malationa	1 L p.c ha^{-1}	101 DAE
Pirate	Clorfenapir	1 L p.c. ha^{-1}	101 DAE
Malathion 1000 EC Cheminova	Malationa	1 L p.c ha^{-1}	118 DAE
Pirate	Clorfenapir	1 L p.c. ha^{-1}	118 DAE
Punto	Diuron+Tidiazurom	0,14 L p.c ha^{-1}	

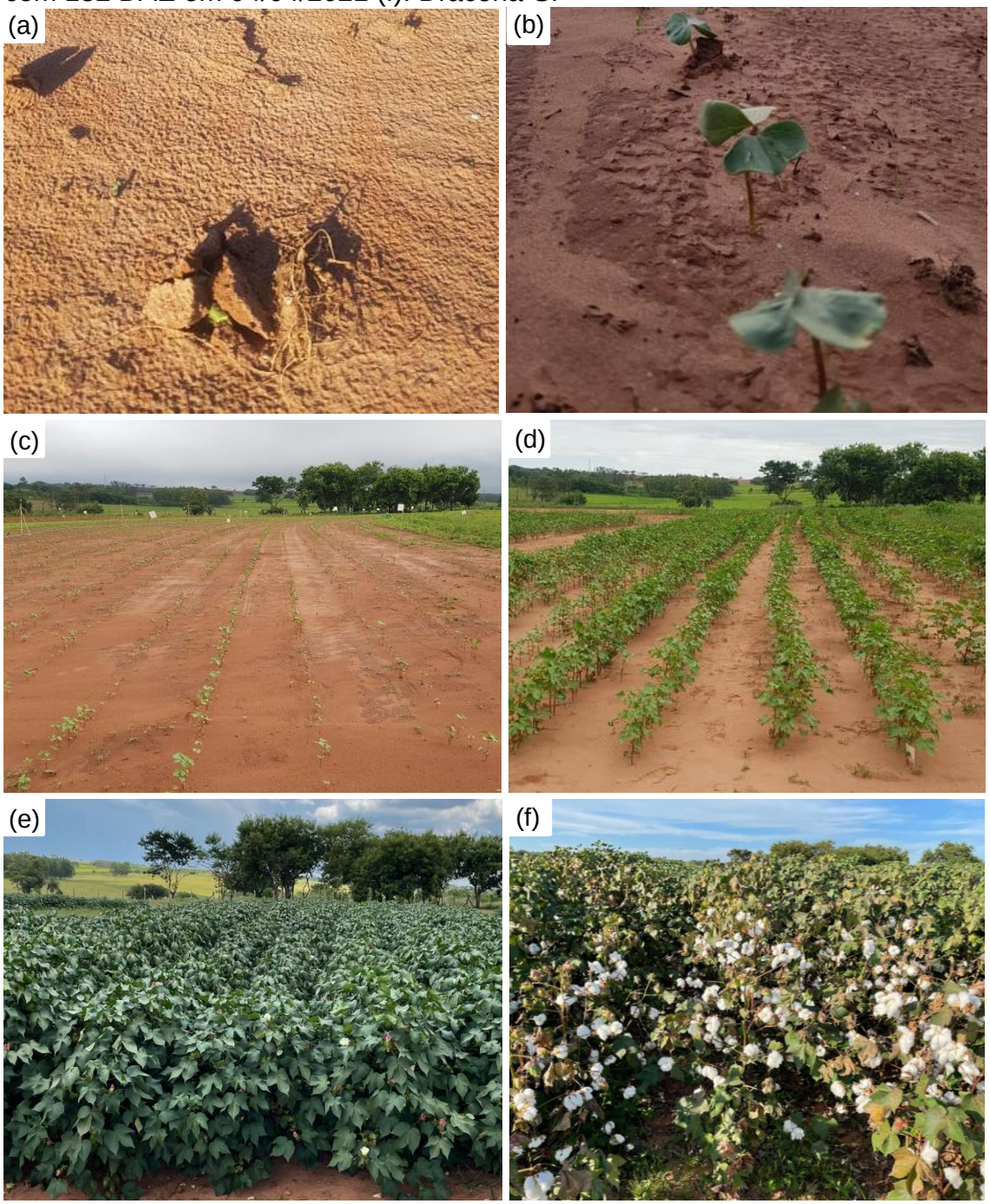
Fonte: elaborado pelo autor.

No dia 16/04/2021, realizou-se a aplicação do desfolhante Punto na dosagem de 0,14 L p.c. ha^{-1}, e a colheita foi realizada no dia 29/04/2021.

Figura 10 - Aplicação de produto fitossanitário realizado em 18/01/2021. Dracena-SP

Fonte: autoria própria.

Figura 11 - Emergência do Algodoeiro em 24/11/2020 (a). Algodoeiro com 3 DAE em 27/11/2020 (b). Algodoeiro com 14 DAE em 07/12/2020 (c). Algodoeiro com 38 DAE. 31/12/2020 (d). Algodoeiro com 92 DAE em 23/02/2021 (e). Algodoeiro com 132 DAE em 04/04/2021 (f). Dracena-SP



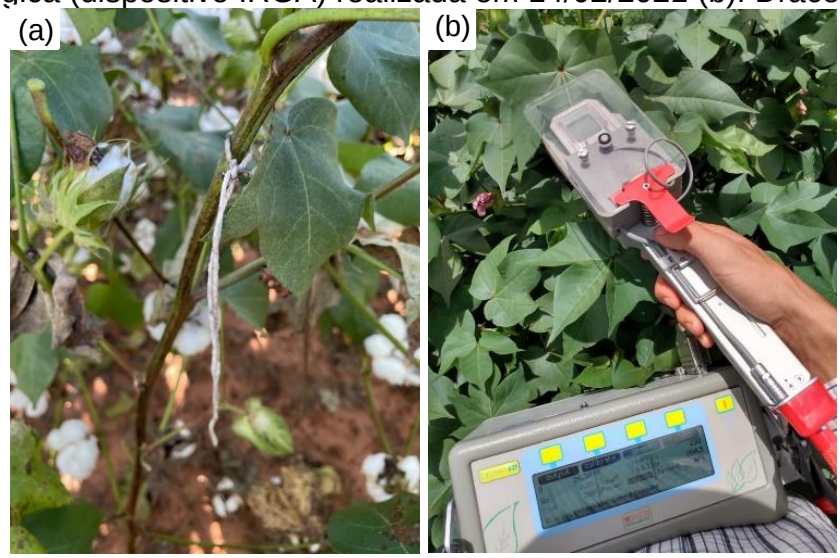
Fonte: autoria própria.

No pleno florescimento do algodoeiro (75 dias após a emergência das plantas-05/02/2021) foram realizadas medições indiretas do teor de clorofila na quinta folha desenvolvida do ápice para a base em 10 plantas por parcela com o clorofilômetro Falker CFL 1030. Nessa ocasião também foram avaliados os

seguintes parâmetros fisiológicos: taxa de assimilação líquida de CO_2 (A - µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}); condutância estomática (gs-mol H_2O m^{-2} s^{-1}); concentração interna de CO_2 na câmara subestomática (Ci-µmol mol^{-1} com 380 ppm de CO_2); taxa de transpiração nas folhas (E - mmol H_2O m^2 s^{-1}); temperatura interna da folha (ºC); e eficiência do uso da água ((WUE-A / E - µmol $mmol^{-1}$) (LISBOA et al., 2019). As avaliações foram realizadas na região mediana da quinta folha completamente expandida, estando totalmente expostas à radiação solar, no período compreendido entre às 10h00min às 14h00min. Utilizou-se o dispositivo de troca gasosa IRGA (Analisador de Gás Infravermelho), ADC BioScientific Ltd, modelo LC-Pro (Figura 12).

Ainda no pleno florescimento (79 DAE –10/02/2021) do algodoeiro foram coletadas 10 folhas (quinta folha) por unidade experimental para realização de diagnose foliar de Si. Foram realizadas avaliações em plantas previamente marcadas (Figura 12) de suas alturas com uso de trena, diâmetro do caule utilizando-se paquímetro, número de nós, e o comprimento do primeiro e terceiro ramos reprodutivos com fita métrica. As avaliações de incidência de Ramulária, foram realizadas aos 57 DAE (12/12/2020), a segunda aos 77 DAE (08/02/2021) e a terceira com 107 DAE (10/03/2021). Na maturidade do algodoeiro foram realizadas as avaliações vegetativas e determinados os componentes de produção, na área útil de cada parcela de plantas por metro quadrado, número de capulhos por planta, peso médio de 20 capulhos e produtividade de algodão em caroço.

Figura 12. Planta previamente marcada para avaliações (a). Avaliação fisiológica (dispositivo IRGA) realizada em 14/02/2021 (b). Dracena-SP



Fonte: autoria própria.

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância e posteriormente à análise de regressão polinomial para o fator quantitativo e teste de Tukey para o fator qualitativo, a 5% de probabilidade, empregando a metodologia descrita por Banzatto e Kronka (2013) utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As avaliações de incidência de ramularia, foram realizadas aos 57 DAE, a segunda aos 77 DAE e a terceira com 107 DAE, porém pelas avaliações realizadas não houve ocorrência da doença.

Conforme os dados analisados no pleno florescimento, a altura do algodoeiro, o número de nós, o diâmetro de caule, o comprimento do primeiro e terceiro ramo reprodutivo e o índice de clorofila não obtiveram diferenças significativas quanto ao manejo da irrigação. As doses de silício não influenciaram nas características vegetativas tampouco ao índice de clorofila. Não houve interação dos tratamentos para essas características avaliadas (Tabela 5).

Tabela 5 - Altura de plantas, número de nós, diâmetro de caule, comprimento do 1º e 3º ramo reprodutivo e índice de clorofila (SPAD) do algodoeiro em pleno florescimento. Médias seguidas por letras iguais na coluna não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns=não significativo. Dracena-SP

Manejo (M)	Altura	Número de nós	Diâmetro do caule	Comprimento do 1º ramo	Comprimento do 3º ramo	Leitura SPAD
	cm		mm	cm	cm	
Irrigado	109,13	15,56	17,81	33,01	33,80	60,49
Sequeiro	107,43	15,64	17,50	33,20	32,23	56,14
Doses de Silício ($g\ ha^{-1}$) (DS)						
0	108,42	15,83	17,46	34,14	34,32	56,90
55	112,92	16,25	18,35	36,42	33,26	57,59
110	105,58	15,44	17,91	31,58	32,22	56,56
220	103,92	15,36	16,78	30,86	31,17	58,62
440	110,58	15,11	17,03	32,53	30,12	61,91
y=	$108,28^{ns}$	$15,60^{ns}$	$17,66^{ns}$	$33,11^{ns}$	$32,22^{ns}$	$58,32^{ns}$
Valor de p						
M	0,3976	0,7981	0,5127	0,9261	0,3104	0,0613
DS	0,0534	0,2787	0,3588	0,4480	0,6610	0,5817
M*DS	0,8916	0,8852	0,7652	0,4830	0,6171	0,5809
CV%	7,12	8,65	10,36	23,92	14,17	15,08

Fonte: elaborado pelo autor.

Na maturidade do algodoeiro, a altura de plantas (Tabela 6) foi maior no tratamento com irrigação (8,04 cm mais altas). Isso evidencia o papel fundamental que a água desempenha no desenvolvimento e crescimento das plantas. Segundo Echer (2014), o crescimento expansivo de entrenós é muito

sensível ao potencial de água e, dessa forma, quando há déficit de água, um dos primeiros efeitos é a redução do crescimento celular. Esse resultado está de acordo com Taiz et al. (2017) que afirmaram que a deficiência hídrica provoca decréscimo na turgescência celular diminuindo o crescimento por alongamento.

Cordão et al. (2018) observaram que o déficit hídrico restringiu o crescimento de cultivares de algodoeiro herbáceo (BRS 286 e BRS 336). Na cultivar BRS 286, os déficits foram em todas as fases fenológicas, quando comparados ao tratamento irrigado, ocorrendo o mesmo na BRS 336, exceto na fase de maçã. No geral, em ambas as cultivares, as plantas de algodão apresentaram as menores médias de altura quando o déficit foi aplicado nas fases de crescimento inicial, de botão floral e de flor, sendo que, a partir da fase de maçã, foram menos afetadas por este fator, provavelmente devido estarem próximas a atingir o crescimento máximo varietal.

As plantas que foram submetidas ao estresse hídrico tiveram menor número de nós que as plantas irrigadas (Tabela 6). Este resultado já era esperado, pois como houve redução da altura nas plantas sob condição de estresse (Tabela 6), consequentemente o número de nós também é reduzido. As doses de Si não influenciaram nos números de nós das plantas e não houve interação entre as doses de Si x Condições hídricas.

Resultados semelhantes foi encontrado por Silva (2020), quando irrigados 100% da capacidade de campo (CC) houve uma média de 13,87 nós por planta aos 65 DAE, já quando irrigado somente 30% da CC a média de nós por plantas foi de 11,87. Kawakami et al. (2010) verificaram que as plantas de algodão estressadas pela água exibiam um menor número de nós do que as plantas bem regadas. Essa redução está relacionada à diminuição da estatura, pois, segundo Singh et al. (2006), o número de nós diminui com a diminuição da altura da planta.

Pelos resultados apresentados nas Tabela 5 e 6, foi possível constatar que as doses crescentes de silício e as condições hídricas no algodoeiro não proporcionaram alterações significativas no diâmetro do caule e nos comprimentos de 1º e 3º ramos reprodutivos nas datas de avaliação, e não houve interação entre as doses de Si x Condições hídricas.

Entretanto, mesmo o diâmetro de caule não ter sido influenciado pelas condições hídricas, em sistema irrigado, o diâmetro foi pouco maior, tanto no

pleno florescimento quanto na maturidade do algodoeiro (Tabelas 5 e 6). Uma possível explicação para esses resultados é que na medida em que as plantas ganhavam altura, ocorreu ganho diretamente proporcional em diâmetro caulinar. Nocchi (2019) e Silva (2020), ao analisar a cultura do algodoeiro sob déficit hídrico, observaram resultados significativos para aumento do diâmetro caulinar proporcionalmente ao ganho em altura das plantas, possibilitando estabelecer uma relação de associação entre os caracteres.

Tabela 6 - Altura de plantas, número de nós, diâmetro de caule, comprimento do 1º e 3º ramo reprodutivo do algodoeiro na maturidade. Médias seguidas por letras iguais na coluna não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns=não significativo. Dracena-SP

Manejo (M)	Altura	Número de nós	Diâmetro do caule	Comprimento do 1º ramo	Comprimento do 3º ramo
	cm		mm	cm	cm
Irrigado	133,57 a	21,97 a	17,99	35,29	38,12
Sequeiro	125,53 b	20,58 b	17,59	33,99	38,46
Doses de Silício (g ha^{-1}) (DS)					
0	128,17	21,33	17,74	34,64	37,53
55	135,33	22,03	18,66	36,47	40,64
110	125,00	21,08	18,28	33,53	36,72
220	127,08	21,17	16,84	34,25	38,36
440	132,17	20,75	17,25	34,30	38,19
y=	129,55^{ns}	21,27^{ns}	17,69^{ns}	34,64^{ns}	17,40^{ns}
Valor de p					
M	0,0007	0,0003	0,3354	0,2412	0,8477
DS	0,0346	0,2399	0,4793	0,1647	0,6794
M*DS	0,7349	0,8249	0,7629	0,3884	0,8530
CV%	6,58	6,44	13,56	18,12	17,40

Fonte: elaborado pelo autor.

Em relação à altura de plantas na maturidade do algodoeiro (Tabela 6), para doses de silício, o valor de p>f apresentou resultado significativo. No entanto na análise de regressão polinomial não houve significância para linear e quadrática.

O número de capulhos por planta (Tabela 7) foi 19,9% maior em condições de irrigação comparado ao sequeiro, sendo o principal responsável pela produtividade 8,5% maior quando manejado com irrigação.

Tabela 7 - Número de capulhos por planta, peso médio de capulhos, produtividade do algodão em caroço e teor de Si foliar. Médias seguidas por letras iguais na coluna não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns=não significativo. Dracena-SP

Manejo (M)	Número de capulhos por planta	Peso médio de capulhos	Produtividade Algodão em caroço	Silício Foliar
		g	kg ha^{-1}	g kg^{-1}
Irrigado	20,13 a	5,00	5712,40 a	-
Sequeiro	16,13 b	4,87	5225,87 b	-
Doses de Silício (g ha^{-1}) (DS)				
0	19,00	4,92	5185,92	-
55	19,25	4,83	5849,83	-
110	17,83	4,92	5362,75	-
220	17,33	5,08	5265,58	-
440	17,75	4,92	5681,58	-
y=	18,2^{ns}	4,93^{ns}	5469,13^{ns}	-
Valor de p				
M	0,0000	0,3343	0,0200	0,0000
DS	0,4651	0,8377	0,1939	0,0000
M*DS	0,4702	0,6266	0,7036	0,0059
CV%	16,72	10,73	14,28	3,21

Fonte: elaborado pelo autor.

Segundo Echer (2014), a fase de início de florescimento e, principalmente no pico de florescimento, onde também ocorre o enchimento das maças, o déficit de água ocasionou maiores reduções de produtividade e qualidade do algodão, por ocorrer o abortamento dos frutos mais jovens da planta para manter o provimento de carboidratos para as maçãs mais velhas.

Vasconcelos et al. (2018) comentaram que, dos fatores ambientais que podem provocar a abscisão no algodoeiro, a deficiência hídrica no solo é considerada o principal. Ainda, com a falta de água no solo ocorre menor crescimento vegetativo, especialmente em altura, concorrendo para menor número de ramos produtivos e consequentemente, menor produtividade (CORDÃO SOBRINHO et al., 2007).

O número de capulhos por planta apresentou diferença significativa em relação ao sistema de manejo da irrigação. Esse efeito pode ser explicado pelo florescimento contínuo do algodoeiro. Com isso no cultivo de sequeiro, parte dos botões florais abortaram pela falta de água, resultando em menor quantidade de

capulhos no final do ciclo. Por outro lado, no cultivo irrigado houve maior retenção de estruturas reprodutivas, principalmente na parte superior da planta. Um dos benefícios da irrigação é a maior retenção de botões florais, resultando em maior número de capulhos por planta na colheita (BALKOM et al., 2007).

Cordão et al. (2018) obtiveram resultados semelhantes, sem déficit em todo o ciclo de duas cultivares (BRS 286 e BRS 336) de algodoeiro herbáceo com produtividade satisfatória. Na cultivar BRS 286 houve redução no número de até 33,9% e na BRS 336 de até 49,6% quando houve déficit hídrico. Este comportamento também foi observado por Batista et al. (2010), os quais afirmaram que a irrigação resultou em maior número de estruturas reprodutivas, altura de plantas, número de capulhos por planta e consequente maior produtividade de algodão em caroço. Também se assemelham a resultados de Zonta et al. (2017), os quais comentaram que o déficit hídrico provocou maiores perdas em rendimento de algodão durante a primeira flor e a primeira maçã, devido à alta demanda de água nessas fases ocorrendo abscisão das estruturas reprodutivas.

O peso médio de capulhos não diferenciou entre o manejo de doses e irrigação. A aplicação de silício não influenciou nos componentes de produção e na produtividade (Tabela 7).

De acordo com os dados apresentados na Tabela 7, para o teor de Si foliar houve resultado significativo para sistema de irrigação, doses de Si e para a interação entre manejo da irrigação e doses de Si.

O maior teor de silício nas folhas do algodoeiro cultivado em sequeiro (Tabela 8) é justificado pelo fato do Si otimizar alguns processos morfofisiológicos e bioquímicos desejáveis, sendo dessa forma mais requerido. Isso se deve ao fato de algumas espécies cultivadas sob estresse hídrico, acumular e realizar a polimerização de silicatados nas células epidérmicas formando uma dupla camada silício-cutícula que reduz de forma substancial a transpiração convergindo para um menor consumo hídrico (PEIXOTO et al., 2011).

Tabela 8 - Desdobramento entre doses de silício e manejo de irrigação para o teor de silício foliar do algodoeiro. Médias seguidas por letras iguais na linha não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **=significativo a 1%, *=significativo a 5% e ns= não significativo. Dracena-SP.

Doses de Silício	**Manejo**	
(g ha^{-1})	Irrigado	Sequeiro
0	5,73 b	7,08 a
55	5,48 b	6,90 a
110	5,43 b	6,80 a
220	4,88 b	6,73 a
440	4,83 b	6,80 a
y=	5,745 – 0,00024x (r^2=0,92**)	7,005-0,000073x (r^2=0,72*)
CV%	3,21	

Fonte: elaborado pelo autor.

Nesse trabalho, a aplicação de doses de Si promoveu resultado significativo para teor de Si foliar, observando-se que as plantas do algodoeiro não acumularam Si conforme se aumenta as doses na aplicação na planta. Com irrigação, a dose 440 g Si ha^{-1}, o teor de Si foliar foi 15,7% menor quando comparado a testemunha, e quando manejado em condições de sequeiro a aplicação de 440 g Si ha^{-1} o teor foi 3,9% menor comparado a dose 0 g Si ha^{-1}.

No entanto, Nocchi (2019), estudando doses de Si em sistema irrigado e sequeiro na cultura do algodoeiro, observou que o teor de Si na folha aumentou com a elevação das doses aplicadas, afirmando que o Si fica acumulado na folha, especificamente na parede celular. Ferreira (2008), estudando o efeito do silício no algodoeiro, também observou quantidades crescentes de silício conforme o aumento das doses. Já Silva (2020) não obteve diferença significativa para o teor foliar de Si no algodoeiro utilizando doses de 0; 100; 200 e 400 g Si ha^{-1}. Além do tipo de solo, a espécie vegetal e as variedades influenciam sobremaneira na quantidade de Si absorvido pelas plantas. Em alguns casos não é verificado o efeito da adubação silicatada em plantas não acumuladoras de Si (CAMARGO, 2016).

Verificou-se que as plantas cultivadas em condições de irrigação apresentaram condutância estomática (CE) e taxa de transpiração foliar (TTF)

significativamente maiores. Não ocorreram efeitos significativos dos valores da taxa de assimilação líquida de CO_2 (TAL), concentração interna de CO_2 na câmara estomática (CI), temperatura interna da folha (TIF) e eficiência do uso da água (EUA). As doses de silício não influenciaram nas variáveis fisiológicas, assim como não houve interação entre manejo e dose (Tabela 9).

Tabela 9 - Variáveis fisiológicas no pleno florescimento do algodoeiro. Médias seguidas por letras iguais na coluna não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns= não significativo. Dracena-SP

Manejo (M)	TAL	CE	CI	TTF	TIF	EUA
	A - µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}	gs-mol H_2O m^{-2} s^{-1}	Ci-µmol mol^{-1} com 380 ppm de CO_2	E - mmol H_2O m^{-2} s^{-1}	ºC	WUE-A / E - µmol $mmol^{-1}$
Irrigado	16,46	0,45 a	259,58	5,00 a	35,88	3,33
Sequeiro	14,14	0,39 b	264,25	4,45 b	35,46	3,16
Doses (g Si ha^{-1}) (DS)						
0	14,75	0,41	261,49	4,61	35,43	3,29
55	14,64	0,44	262,36	4,88	35,77	3,03
110	15,22	0,45	263,31	4,80	35,58	3,21
220	17,27	0,37	254,70	4,50	35,72	3,63
440	14,62	0,42	267,71	4,83	35,84	3,06
y=	$15,30^{ns}$	$0,42^{ns}$	$261,91^{ns}$	$4,73^{ns}$	$35,67^{ns}$	$3,24^{ns}$
Valor de p						
M	0,1323	0,0492	0,5986	0,0119	0,1513	0,5257
DS	0,7694	0,4328	0,9195	0,7275	0,9006	0,6591
M*DS	0,5225	0,6858	0,4867	0,8028	0,8354	0,3735
CV%	30,95	23,51	10,58	13,63	2,5	26,53

TAL=taxa de assimilação líquida de CO_2; CE=condutância estomática; CI=concentração interna de CO_2 na câmara subestomática; TTF=taxa de transpiração foliar; TIF= temperatura interna foliar; EUA=eficiência do uso da água.

Diante de tais resultados (Tabela 9), evidencia-se que efeitos do estresse hídrico sobre a condutância estomática foram expressivos, uma vez que, com o fechamento estomático, a condutância é reduzida. O mecanismo do fechamento dos estômatos no intuito de restringir a perda de água por transpiração, pode ser considerado uma estratégia adaptativa. Estômatos abertos possibilitam a absorção e saída de gás carbônico e ao fecharem, economizam água e restringem o risco de desidratação (DIAS, 2020).

Portanto, a redução na condutância estomática e da transpiração, evidencia que fatores de ordem estomática atuam sobre as atividades de trocas gasosas das plantas de algodoeiro, quando submetidos ao estresse hídrico. Logo, os parâmetros fisiológicos são dependentes da abertura estomática e consequentemente, necessita da disponibilidade de água no solo (TAIZ et al., 2017).

Para taxa de assimilação líquida (fotossíntese), resultados semelhantes foram encontrados por Araújo et al. (2015), estudando duas variedades de algodoeiro, pois não verificaram diferenciação entre os genótipos e os tratamentos de déficit hídrico para fotossíntese líquida. O aparato fotossintético do algodoeiro pode continuar em atividade para garantir que haja fotoassimilados para a divisão celular, no início do déficit hídrico (YEATES, 2014). No entanto, Silva (2020) constatou que, sem aplicação de silicato de cálcio a fotossíntese diminuiu linearmente com o aumento dos níveis de água no solo. Com os níveis de água no solo de 30, 50 e 70% da CC, apresentaram ajuste polinomial quadrático, tendo o maior valor da fotossíntese com a dose de 131, 140, 310 g ha^{-1} $CaSiO_3$, respectivamente.

6 CONCLUSÃO

A aplicação de doses de Si no algodoeiro não proporciona diferença significativa nas médias das características vegetativas, reprodutivas e fisiológicas.

A aplicação de doses crescentes de Si reduz o teor de silício nas folhas independente do manejo da irrigação.

O uso de irrigação proporciona maior altura média e número de nós das plantas, maior condutância estomática e taxa de transpiração foliar.

A produtividade do algodoeiro cultivado em solo arenoso aumenta em sistema de manejo irrigado, pois a irrigação proporciona maior número de capulhos por planta.

7 REFERÊNCIAS

ABRAPA, Associação Brasileira dos Produtores de Algodão, Brasília, 2021. **Estatísticas: Mundo** Disponível em:< http://www.abrapa.com.br/biblioteca/Paginas/Biblioteca.aspx.>. Acesso 04/04/2022.

ADREES, M., ALI, S., RIZWAN, M., ZIA-UR-REHMAN, M., IBRAHIM, M., ABBAS, F., FARID, M., QAYYUM, M.F., IRSHAD, M.K. Mechanisms of siliconmediated alleviation of heavy metal toxicity in plants: a review. **Ecotoxicol. Environ**. Saf. 119, 186–197. 2015.

AGOSTINHO, F.B.; TUBANA, B.S.; MARTINS, M.S.; DATNOFF, L.E. Effect of different silicon sources on yield and silicon uptake of rice grown under varying phosphorus rates. **Plants, Basel**, v.6, n.3, p.E35, 2017.

AHMED, M.; HASSEN, F.; KHURSHID, Y. Does silicon and irrigation have impact on drought tolerance mechanism of sorghum? **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, n. 12, p. 1808-1812, 2011.

AMPA - Associação Mato-grossense dos Produtores de Algodão. História do Algodão. Cuiabá, Mato Grosso. 2012.

ANWAAR, S.A., ALI, S., ALI, S., ISHAQUE, W., FARID, M., FAROOQ, M.A., NAJEEB, U., ABBAS, F., SHARIF, M. Silicon (Si) alleviates cotton (Gossypium hirsutum L.) from zinc (Zn) toxicity stress by limiting Zn uptake and oxidative damage. **Environ. Sci. Pollut**. Res.22, 3441–3450. 2015.

AQUINO, L.A. de A.; AQUINO, R.F.B.A.; SILVA, T.C.; SANTOS, D.F. dos; BERGER, P.G. Aplicação do fósforo e da irrigação na absorção e exportação de nutrientes pelo algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.355-361, 2012.

ARAÚJO, W.P.; ALMEIDA, E. S. A. B. de.; PEREIRA, J. R.; ZONTA,J. H.; CORDÃO M. A. Taxa de fotossintese líquida e transpiração do algodoeiro herbáceo sob déficit hídrico. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, Fortaleza-CE**, Anais**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2015.

ARRUDA, F. P.; ANDRADE, A. P.; SILVA, I. F.; PEREIRA, E. P.; GUIMARÃES, M. A. M. Emissão/Abscisão de estruturas reprodutivas do algodoeiro herbáceo, cv. CNPA 7H: Efeito do estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, p.21-27, 2002.

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**, United Kingdom, v.104, p.21-34, 2018.

BALKCOM, K.S; SHAW, J.N.; REEVES, D.W.; BURMESTER, C.H.; CURTIS, L.M. Irrigated cotton response to tillage systems in the Tennessee Valley. **Journal of Cotton Science**, Sidney, v. 11, p. 2-11, 2007.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S. do N. **Experimentação Agrícola**. 4 Ed. Jaboticabal: FUNEP, 2013.

BARROS, T. C., PRADO, R. DE M., ROQUE, C. G., ARF, M. V., VILELA, R. G. (2019) Silicon and salicylic acid in the physiology and yield of cotton, **Journal of Plant Nutrition**, 42:5, 458-465, DOI: 10.1080/01904167.2019.1567765

BASAGLI, M. A. B.; MORAES, J. C.; CARVALHO, G. A.; ECOLE, C. C.; GONÇALVES-GERVÁSIO, R. C. R. Efeito da aplicação de silicato de sódio na resistência de plantas de trigo ao pulgão-verde Schizaphisgraminum (Rond.) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, v. 32, n. 3, p. 659-663, 2003.

BASF. Disponível em http:// agriculture.basf.com/br/pt/Proteção-deCultivos/Sementes/FiberMax/FM-983GLT.html>. Acesso em: 09 de maio de 201

BATISTA, C. R.; AQUINO, L. A. de; SILVA, T. R.; SILVA, H. R. F. crescimento e produtividade da cultura do algodão em resposta a aplicação de fósforo e métodos de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.4, n.4, p.197– 206, 2010.

BELTRÃO, N. E de M.; SOUZA, J. G. de; GUERRA, J. S.; TAKIZAWA, E. Manejo cultural do algodoeiro herbáceo na região do cerrado. In: FARIAS, F. J. C.; AGUIAR, P. H.; FREIRE, E. C.; HIROMOTO, D. M. (ed.) **Mato Grosso: liderança e competitividade**. Rondonópolis: Fundação MT, 1999. p. 70-86. (Boletim, 3).

BELTRÃO, N. E. de M. et al. Recomendações técnicas para o cultivo do algodoeiro herbáceo de sequeiro e irrigado nas regiões Nordeste e Norte do Brasil. Campina Grande: Embrapa Algodão, 1994. 72 p. **(EMBRAPA - CNPA. Circular Técnica, 17)**.

BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P.; CARDOSO, G. D.; VALE, L. S.; ALBUQUERQUE, W. G. Ecofisiologia do algodoeiro. In: BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. (ed.). O agronegócio do algodão no Brasil. 2. ed. v. 1. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2008. p. 61-110.5

BEZERRA, B. K. L. Adubação com silício e tolerância ao déficit hídrico em cana-de-açúcar. 2015, 74 f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/126456/000845209.pdf?seq uenc e=1&isAllowed=y. Acesso em: 16 mar. 2022.

BEZERRA, J. R. C.; AZEVEDO, P. V. DE; SILVA, B. B. DA; DIAS, J. M. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do algodoeiro BRS-200 Marron, irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.625-632, 2010.

BEZERRA, J. R. C.; DIAS, J. M.; PEREIRA, J. R.; GUEDES, F. X. Consumo hídrico do algodoeiro BRS 200 Marrom. Campina Grande: Embrapa CNPA/Emparn, 2009. 10p. (**Embrapa CNPA. Circular Técnica, 129)**.

BEZERRA, J. R. C.; ZONTA, J. H.; RODRIGUES, J. P. Manejo da irrigação. In: BORÉM, A.; FREIRE, E. C. (Ed.). **Algodão: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2014. cap.13, p. 271-294.

BOIN, Marcos Norberto. **Chuvas e erosões no oeste paulista: uma análise climatológica aplicada. 2000**. 264 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2000.

BORÉM, A.; FREIRE, E. C. Algodão do plantio à colheita. Ed, UFV. Viçosa. BRIDGE, J. Nematodes. In: HILLOCKS, R.J. **Cotton Disease.** CAB International, UK. O. p.331-353, 2014.

CAMARGO, M. S. Efeito do silício na tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 155, 9 p. 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/309465267_Efeito_do_silicio_na_tolerancia _das_plantas_aos_estresses_bioticos_e_abioticos. Acesso em: 01 out. 2021.

CAO,L.B; MA, MA, Q.; ZHAO, Q.; WANG, L.; XU, K. Effects of silicon on absorbed light allocation, antioxidant enzymes and ultrastructure of chloroplasts in tomato leaves under simulated drought stress. **Scientia Horticulturae**, v. 194, p. 53-62. 2015.

CARVALHO, M. C. S. Adubação de cobertura do algodoeiro cultivado em condições de sequeiro na região do Cerrado. Campina Grande: Embrapa Algodão; 2007. (**Comunicado Técnico, 347**).

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos.** Sétimo levantamento. v. 6, n. 6, março, 2019.

CORDÃO SOBRINHO, F. P.; FERNANDES, P. D.; BELTRÃO, N. E. DE M.; SOARES, F. A. L.; TERCEIRO NETO, C. P. C. Crescimento e rendimento do algodoeiro BRS – 200 com aplicações de cloreto de mepiquat e lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p.284-292, 2007.

CORDÃO, M. A.; ARAÚJO, W. P; PEREIRA, J. R.; ZONTA, J. H.; LIMA, R. F. DE; FERREIRA, F. N. Cultivares de algodoeiro herbáceo sob déficit hídrico aplicado em fases fenológicas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.13, n.3, p.313-321, 2018.

COSKUN D, DESHMUKH R, SONAH H, MENZIES JG, REYNOLDS O, MA JF, KRONZUCKER HJ, BÉLANGER RR (2019) The controversies of silicon’s role in plant biology. **New Phytologist** 221:1–19.

COSTA, J. N; SANTANA, J. C. F; WANDERLEY, M. J. R; ANDRADE, J.E.O; SOBRINHO, R. E. Padrões universais para a classificação do algodão. Campina Grande: Embrapa, 2006.

CRUSCIOL, C. A. C.; PULZ, A. L.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P.; LIMA, G. P. P. Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. **Crop Science, Madison**, v. 49, n. 3, p. 949-954, 2009.

DUTRA, A. S.; MEDEIROS FILHO, S. Influência da pré-hidratação das sementes de algodão na resposta do teste de condutividade elétrica. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 45-52, 2009.

ECHER, F. R. O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes. Cuiabá-MT. **Instituto Mato-grossense do Algodã**o - Imamt, 2014. 123 p.

EMBRAPA. Sistemas de produção Embrapa. **Cultivo do algodão irrigado**. 2014. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br . Acesso em: 02 de maio. 2019.

EPSTEIN, E. Silicon: its manifold roles in plants. **Annals of Applied Biology**, United Kingdom, v.155, p.155-160, 2009.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; WRIGHT, R.J. Aluminium toxicity in crop plants. **Journal of Plant Nutrition,** New York, v.11, n.3, p.303-319, 1988.

FARIAS, A.T.V. **Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro em função de doses de silício e ácido salicílico.** 2012. 63f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2012.

FAROOQ, M.A., ALI, S., HAMEED, A., ISHAQUE, W., MAHMOOD, K., IQBAL, Z. Alleviation of cadmium toxicity by silicon is related to elevated photosynthesis, antioxidant enzymes; suppressed cadmium uptake and oxidative stress in cotton. **Ecotoxicol. Environ**. Saf. 96, 242–249. 2013.

FERRAZ, S.R.L.; MACÊDO BELTRÃO, N.E.; MELO, A.S.; MAGALHÃES, I.D.; FERNANDES, P.D.; SOCORRO ROCHA, M. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica de cultivares de algodoeiro herbácio sob aplicação de silício foliar. **Semina: Ciências Agrárias,** v.35, n.2, p.735-748, 2014.

FERRAZ, S.R.L.; MEDEIROS, A.M.; ROBERTO, P.; VIÉGAS, A.; MELO, A.S.; SILVA, P.C.; MAGALHÃES, I.D.; BARBOSA, M.A.; NETO, J.D.; ORLUCHUKWY, J.A. Potassiumsilicateoptimizesthegrowthofnaturallycoloredfibercotton in theSemi-arid. **Journal of Experimental Agriculture International**, v.17, n.4, p.1-14, 2017.

FERREIRA, Silvio Marcos. **O efeito do silício na cultura do algodoeiro (Gossypium hirsutum l.): aspectos bioquimicos, qualidade de fibra e produtividade.** 2008. 68 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia

Agronômica, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

FREIRE, E. F. **Algodão no Cerrado do Brasil**. Brasília: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. Gráfica e Editora Positiva. Brasília. 2007.

FUJII, K.; SHIBATA, M.; KITAJIMA, K.; ICHIE, T.; KITAYAMA, K.; TURNER, B.L. Plant-soil interactions maintain biodiversity and functions of tropical forest ecosystems. **Ecological Research**, New York, v.33, p.149-160, 2018.

FUZATTO, M.G.; CIA, E.; CARVALHO, L.H.; KONDO, J.I. Algodão. In: AGUIAR, A.T. da E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M.E.A.G.Z.; TUCCI, M.L.S.; CASTRO, C.E.F. de (eds). Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas. Campinas: Instituto Agronômico, 2014. p. 11-14. **(Boletim Técnico, 200).**

GAMA, J.S.N. **Adubação silicatada na produção e qualidade de sementes e fibras de algodão (gossypiumhirsutum l.)**. Tese (Doutorado)- Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2014.

GENUCHTEN, M.T van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.,** 44:892-898, 1980.

GIONGO, V.; BOHNEN, H. Relação entre alumínio e silício em genótipos de milho resistente e sensível a toxidez de alumínio. **Bioscience Journal**, v.27, p.348-356, 2011.

GONDIM-TOMAZ, R. M. A.; ERISMANN, N. d. M.; CIA, E.; KONDO, J. I. et al. Teor de óleo e composição de ácidos graxos em sementes de diferentes genótipos de algodoeiro. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 19, p. e2015071, 2016.

GONG, H.; ZHU, X.; CHEN, K.; WANG, S.; ZHANG, C. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. **Plant Science**, v.169, p.313-321, 2005.

GOUSSAIN, M. M.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G.; NOGUEIRA, N. L.; ROSSI, M. L. Efeito da Aplicação de Silício em plantas de milho no desenvolvimento diológico da dagarta-do-dartuchoSpodopterafrugiperda (J.E.Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 2, p. 305-310, 2002.

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

HALLIWEL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. Free radicais in biology and medicine. **New York: Oxford University Press**, 1999. 936 p.

HASANUZZAMAN, M., NAHAR, K., GILL, S.S., FUJITA, M. Drought stress responses in plants, oxidative stress, and antioxidant defense. **Climate Change and Plant Abiotic Stress Tolerance**, 209–250. 2014.

HATTORI, T.; INANAGA, S.; ARAKI, H.; AN, P.; MORITA, S.; LUXOVÁ, M.; LUX, A. Application of silicon enhanced drought tolerance in sorghum bicolor. **Physiology Plant**, v.123, p. 459-466, 2005.

HAYNES, R.J. A contemporary overview of silicon availability in agricultural soils. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Temuco, v.177, p.831-44, 2014.

HAYNES, R.J. The nature of biogenic Si and its potential role in Si supply in agricultural Soils. **Agriculture, Ecosystems & Environment, Netherlands**, v.245, p.100-111, 2017.

HUSSAIN, I., ASHRAF, M.A., RASHEED, R., ASGHAR, A., SAJID, M.A., IQBAL, M. Exogenous application of silicon at the boot stage decreases accumulation of cadmium in wheat(Triticum aestivum L.) grains. **Braz. J. Bot**. 38, 223–234. 2015.

IEA. Instituto de Economia Agrícola. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. São Paulo, 2017. Disponível em: http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=14414. INSTITUTO MATOGROSSENSE DO ALGODÃO – IMAmt. Disponível em http://www.imamt.com.br/home/paginas/24/>. Acesso em: 25 de abril. 2019. KERBAUY, G.B. **Fisiologia Vegetal.** Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 452pp, 2004.

JOLY, A. B. Botânica: Introdução à taxonomia vegetal. São Paulo: Nacional, 1983. 777p

KAWAKAMI, E. M.; OOSTERHUIS, D. M.; SNIDER, J. L. Physiological effects of 1- methylcyclopropene on well-watered and water-stressed cotton plants. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 29, p. 280–288, 2010.

KEEPING, M.G. Uptake of silicon by sugarcane from applied sources may not reflect plant-available soil silicon and total silicon content of sources. **Frontiers in Plant Science**, United Kingdom, v.8, p. 760, 2017.

KEEPING, M.G.; MILES, N.; RUTHERFORD, R.S. Liming an acid soil treated with diverse silicon sources: Effects on silicon uptake by sugarcane (Saccharum spp. hybrids). **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.40, n.10, p.1417-1436, 2017.

KIM, Y.-H., KHAN, A.L., WAQAS, M., LEE, I.J. Silicon regulates antioxidant activities of crop plants under abiotic-induced oxidative stress: a review. **Front. Plant Sci**. 8. 2017.

KLAR, A. E. **Irrigação: freqüência e quantidade**. São Paulo: Nobel, 1991. v. 1. 156 p.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; NOLLA, A. Análise de silício: solo, planta e fertilizante. Uberlândia, GPSi/ ICIAG/UFU, 50p, 2004 (**Boletim Técnico, 2**).

KUMAR, A.; SINGH, D. P. Use of physiological indices as a screening technique for drought to tolerance in oilseed. Brassica species. **Annals of Botany**, London, v. 81, s.n., p. 413-420,1998.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal.** Tradução: Prado, C. H. B. A. São Carlos: Rima, 2006. 531 p.

LIMA-FILHO, O. F.; TSAI, S. M. Crescimento e produção do trigo e da aveia branca suplementados com silício. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA – Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007. 38 p. - **Circular Técnico**, ISSN 1679-0456; n. 41.

LINDEN, C.H.; DELVAUX, B. The weathering stage of tropical soils affects the soilplant cycle of silicon, but depending on land use. **Geoderma, Netherlands**, v.351, p.209-220, 2019.

LISBOA, L.A.M.; NAKAYAMA, F.T.; CIA, O.; FIGUEIREDO, P.A.M.; RAMOS, S.B.; VIANA, R.S.; VITORINO, R.; CELESTRINO, T.S.; FERRARI, Samuel. Different light radiation intensities on cotton: A physiological approach. **Journal of Experimental Agriculture International**. v.35, p.1 - 8, 2019.

LOCARNO, M.; FOCHI, C. G.; PAIVA, P. D. O. Influência da adubação silicatada no teor de clorofila em folhas de roseira. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 2, p. 287- 290, 2011

LUNARDON, M. T. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. Análise da conjuntura agropecuária safra 2007/08 – Algodão. Paraná, 2007. 14p.

MARAFON, A.C.; ENDRES, L. Silicon: fertilization and nutrition in higher plants. **Revista de Ciências Agrárias/ Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Manaus, v.56, n.4, p.380-388, 2013.

MAUAD, M.; GRASSI FILHO, H.; CRUSCIOL, C. A. C.; CORRÊA, J. C.; Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 867- 873, 2003.

MEENA, V.; DOTANIYA, M.; COUMAR, V.; RAJENDIRAN, S.; KUNDU, S.; RAO, A.S. A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: **Biological Sciences**, Prayagraj, v.84, p.505–518, 2014.

NEU, S.; SCHALLER, J.; DUDEL, E.G. Silicon availability modifies nutrient use efficiency and content, C:N:P stoichiometry, and productivity of winter wheat (Triticum aestivum L.). **Scientific Reports**, Berlin, v.7, p.40829, 2017.

NOCCHI, R. C. F. **Aplicação foliar de silício em algodoeiro herbáceo em função da disponibilidade de água**. 2019. 93 f. Dissertação (Mestrado em

Agronomia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2019. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/182414/nocchi_rcf_me_ilha.pdf? sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 01 out. 2021.

NUNES FILHO, J.; LIMA E SÁ, V. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, I. S.; COUTINHO, J. L. B.; SANTOS, V. F. Efeito de lâminas de irrigação sobre o rendimento e qualidade da fibra de cultivares de algodoeiro herbáceo (Gossypium hirsutum L. r. latifolium Hutch). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, p.295-299, 1998.

OLIVEIRA, L. A.; ABREU JÚNIOR, C. H.; CARNEIRO, J. M. T.; BENDASSOLLI, J. A. Mecanismos de Absorção do silício pelas Plantas. In: **Silício na Agricultura**: Anais do V Simpósio Brasileiro sobre Silício na Agricultura. Viçosa, MG: UFV. 2010. p. 61-88.

PEIXOTO, M. L.; MORAES, J. C.; SILVA, A. A.; ASSIS, F. A. Efeito do silício na preferência para oviposição de Bemisia tabaci biótipo b (genn.) (hemiptera: aleyrodidae) em plantas de feijão (Phaseolus vulgaris L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 3, p. 478-481, 2011.

PEIXOTO, P. C.; CRUZ, T. V. da; PEIXOTO, M. de F. da S. P. Análise quantitativa do crescimento de plantas: conceitos e prática**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, v. 7, n. 13, p. 51-76, 2011.

PILON-SMITS, E.A., QUINN, C.F., TAPKEN, W., MALAGOLI, M., SCHIAVON, M. Physiological functions of beneficial elements. **Curr. Opin. Plant Biol**., 12 (3), 267–274. 2009.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas Instituto Agronômico, 2001. 285p.

ROCHESTER, I. J. Nutrient uptake and export from an Australian cotton field. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 77, n. 3, p. 213-223, 2007.

RODRIGUES, F. A. **Silício na Agricultura**: Anais do V Simpósio Brasileiro sobre Silício na Agricultura. Viçosa, MG: UFV. 2010.

ROSOLEM, C. A. Ecofisiologia e manejo da cultura do algodoeiro. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 147-160. (**Boletim, 4**).

SANCHEZ, P.A. **Properties and Management of Soils in the Tropics**. New York: John Wiley and Sons. 1976. 618p.

SANTOS, H. G.; JOCOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREARAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F. OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**.3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 353p. 2013.

SANTOS, H. G.; JOCOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREARAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F. OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**.3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 353p. 2013.

SILVA, D. B. **Caracterização fisiológica, bioquímica e anatômica de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.var. *latifolium* Hutch) em função da aplicação foliar de silício**. 2020. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2020. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/handle/11449/192041. Acesso em 21 set. 2021.

SINGH, V.; PALLAGHY, C. K.; SINGH, D. Phosphorus nutrition and tolerance of cotton to water stress: I. Seed cotton yield and leaf morphology. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 96, p. 191–198, 2006.

SOUZA JÚNIOR, J. P. de. Silício como mitigador de deficiência e toxicidade de boro na cultura do algodão cultivado em solução nutritiva. **Dissertação de Mestrado** - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, 2018.

STEPONKUS, P. L. Cold acclimation and freezing injury from a perspective of the plasma membrane. In: KATTERMAN, F. (Ed.). **Environmental injury to plants**. London: Academic Press Inc. cap. 1, p.1-15, 1990.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

TRIPATHI, D.K., SINGH, V.P., PRASAD, S.M., CHAUHAN, D.K., DUBEY, N.K., RAI, A.K. Silicon-mediated alleviation of Cr (VI) toxicity in wheat seedlings as evidenced by chlorophyll florescence, laser induced breakdown spectroscopy and anatomical changes. **Ecotoxicol. Environ.** Saf. 113, 133–144. 2015.

TUBANA, B.S.; TAPASYA, B.; DATNOFF, L.E. A review of silicon in soils and plants and its role in US agriculture: History and future perspectives. **Soil Science**, Philadelphia, v.181, n.9-10, p.393-411, 2016.

UNESP. FCAT. Dados da Estação Meteorológica Automática (EMA) - **Data Logger CR10X - Campbell Scientific.** Dracena - SP, 2019

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Cotton: world markets and trade. **ATA Journal**, v. 8, n. 5, p. 18–24, 2021.

VASCONCELOS, U. A. A.; CAVALCANTI, J. J. V.; FARIAS, F. J. C.; VASCONCELOS W. S.; SANTOS, R. C. DOS. Diallel analysis in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) for water stress tolerance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.18. p.24-30, 2018

VIEIRA, J. L. V.; NARDI, K. T.; SILVA, G. R. A.; MOREIRA, L. A. et al. Nutrient Uptake by High-Yielding Cotton Crop in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 42, 2018.

WALSH, O.S.; SHAFIAN, S.; MCCLINTICK-CHESS, J.R.; BELMONT, K.M.; BLANSCET, S.M. Potential of silicon amendment for improved wheat production. **Plants, Basel**, v.7, p.E26, 2018.

YEATES, E. Efeito do estresse hídrico na fisiologia do algodoeiro. In: ECHER, F. R. **O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes.** Cuiabá: Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMAmt), 2014. Cap. 3, p.63-77, 2014.

ZONTA, J. H.; BRANDÃO, Z. N.; RODRIGUES, J. I. da S.; SOFIATTI, V. Cotton response to water deficits at different growth stages. **Rev. caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 4, p. 980 – 990, 2017.

ZUCCARINI, P. Effects of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of (Phaseolus vulgaris) under NaCl stress. **Biologia Plantarum**, v. 52, n. 1, p. 157-160, 2