

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA – CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

RAIANA CREPALDI DE FARIA NOCCHI

**APLICAÇÃO FOLIAR DE SÍLCIO EM ALGODOEIRO HERBÁCEO EM FUNÇÃO
DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA**

Ilha Solteira
2019

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

RAIANA CREPALDI DE FARIA NOCCHI

**APLICAÇÃO FOLIAR DE SÍLCIO EM ALGODOEIRO HERBÁCEO EM FUNÇÃO
DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia – UNESP – Câmpus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Especialidade: Sistemas de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Enes Furlani Junior

**Ilha Solteira
2019**

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

N756a Nocchi, Raiana Crepaldi de Faria.
Aplicação foliar de silício em algodoeiro herbáceo em função da
disponibilidade de água / Raiana Crepaldi de Faria Nocchi. -- Ilha Solteira: [s.n.],
2019
91 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2019

Orientador: Enes Furlani Junior
Inclui bibliografia

1. *Gossypium hirsutum* L. raça *latifolium* Hutch. 2. Adubação silicatada. 3.
Estresse hídrico. 4. Nutrição de plantas.


Raiane da Silva Santos



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título:

AUTORA: RAIANA CREPALDI DE FARIA

ORIENTADOR: ENES FURLANI JUNIOR

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA,
área: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ENES FURLANI JUNIOR

Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio-Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. MARCO EUSTAQUIO DE SA

Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio-Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. SAMUEL FERRARI

Departamento de Agronomia / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena

Ilha Solteira, 21 de maio de 2019.

DEDICO

Aos meus pais, Claudia Maria Munhaes Crepaldi de Faria e Sandro Marcio de Faria, e a minha irmã Raísa Crepaldi de Faria por sempre acreditarem no meu potencial, por todo o apoio e suporte para lutar pelos meus objetivos, pelos ensinamentos valiosos a mim passados e por estarem sempre ao meu lado em todos os momentos da minha vida.

Ao meu tio e segundo pai Cleder Mateus Munhaes Crepaldi, pelo apoio não somente dedicado a mim como também a minha família, e também pelo amor, paciência e dedicação, obrigada pelos bons momentos.

Ao meu marido Adilson Esteves Jardim Nocchi Junior pela amizade e companheirismo ao longo de todos esses anos, e também por todo amor, carinho, paciência e dedicação.

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora Aparecida por todas as bênçãos, paz, saúde e proteção concedidas, além de guiar e iluminar meus caminhos durante minha jornada.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, em especial à Faculdade de Engenharia, campus de Ilha Solteira, por proporcionar excelentes condições de aprendizado aos alunos da instituição.

Aos professores do curso de Pós-graduação da Agronomia UNESP - Ilha Solteira, pelo empenho e dedicação aos alunos desta universidade, sempre acreditando em um futuro melhor.

Ao Prof. Dr. Enes Furlani Junior, pelo conhecimento transmitido, confiança, incentivo e paciência, manifesto minha enorme gratidão pela grande contribuição em minha vida acadêmica e pessoal.

A todos os funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão – FEPE pela ajuda e suporte dados no desenvolvimento deste experimento.

As minhas amigas e companheiras de laboratório e pós-graduação Noemi e Amanda pela paciência, pelos infinitos conselhos, por sempre quererem o meu bem e me ajudar espontaneamente. Sem a ajuda de vocês minha jornada teria sido muito mais árdua.

Aos Técnicos de Laboratório: Alexandre Marques da Silva e Selma Maria Buzetti Moraes pelos ensinamentos de técnicas laboratoriais.

Aos funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Engenharia, UNESP/Campus de Ilha Solteira.

A professora Dra. Aline Redondo Martins e ao técnico de laboratório de física Elton pela contribuição do estudo anatômico e histoquímico. Sua ajuda abrilhantou ainda mais os resultados desse trabalho. Finalmente conseguimos enxergar a planta de algodoeiro por dentro.

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

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

(Marthin Luther King)

RESUMO

O silício tem papel importante nas relações planta-ambiente, pois pode dar às culturas melhores condições para suportarem adversidades climáticas, edáficas e biológicas, tendo como resultado aumento e a melhora nas condições fisiológicas da planta. Objetivou-se, com este trabalho, estudar o efeito da adubação silicatada via foliar (silicato de cálcio) na cultura do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. raça *latifolium* Hutch), sobre suas características fisiológicas e agronômicas, visando avaliar sua resposta com a diminuição da disponibilidade hídrica através de análises fisiológicas e bioquímicas, bem como a anatomia, biometria e a constituição histoquímica do limbo foliar. Foram realizados dois experimentos. O 1º experimento foi realizado em casa de vegetação, o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), com seis repetições, no esquema fatorial 6 x 2, sendo os fatores: 5 concentrações de silicato de cálcio (50;100;150;200 e 400 mg L⁻¹) e a testemunha (sem aplicação), e 2 níveis de água no solo (capacidade de campo (CC) e 1/3 da capacidade de campo (1/3 CC)). O Si foi aplicado em três períodos, aos 30, 45 e 60 dias após a emergência (DAE). Concluiu-se que a altura da planta, o diâmetro do caule, o número de nós, o número de ramos reprodutivos e número de estruturas reprodutivas foram afetados, de maneira negativa pelo déficit hídrico e positiva para o irrigado. A fotossíntese, condutância estomática, transpiração e conteúdo interno de CO₂ foram reduzidos com a utilização de doses de silício. O algodoeiro mostrou-se uma planta que acumulou Si conforme se aumenta as doses na aplicação, sendo os maiores teores na folha, seguida do caule. O 2º experimento foi realizado em condições de campo, na região de Cerrado, cujo delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 6x2 totalizando 12 tratamentos, com 4 repetições, perfazendo um total 48 parcelas. Os tratamentos foram constituídos por 5 doses de Si (50, 100, 150, 200 e 400 g ha⁻¹) e as plantas testemunhas (0,0 sem Si) e dois sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado). As aplicações das doses de Si foram realizadas via foliar e parcelado em duas aplicações realizadas aos 50 e 70 dias após a emergência (DAE). As irrigações foram realizadas por um sistema de aspersão convencional fixo. A altura da planta, diâmetro do caule e número de nós foram afetados de maneira negativa pelo déficit hídrico ao qual o algodoeiro foi submetido. O tratamento sem déficit hídrico (irrigado) promoveu maiores altura, diâmetro do caule e número de nós na planta de algodão. A fotossíntese, condutância estomática, transpiração e conteúdo de CO₂ foram reduzidos com a utilização de doses de silício. O sistema de irrigação proporcionou uma maior solubilidade para os macronutrientes e uma melhor absorção dessas nutrientes pelas plantas. Houve uma relação positiva do Si com o Fe, havendo

uma maior absorção de Fe pelas plantas pois a liberação de Silício dos óxidos e hidróxidos de ferro. O Si mostrou que espessou as camadas de epiderme da folha, houve uma maior turgescência da folha nas plantas irrigadas do que a que estavam em sequeiro. A produtividade do algodoeiro foi maior nas plantas irrigadas. Para os parâmetros para a qualidade de fibra, observou-se que resistência da fibra, reflectância, teor de amarelamento e índice de maturidade foram maiores no sistema irrigado e o grau de folhas foi significativo as aplicações de doses de Si. A dose recomendada de Si seria a de 100 kg.ha^{-1} , pois apresentou uma maior média na maioria dos parâmetros analisados.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum* L. raça *latifolium* Hutch. Adubação silicatada. Estresse hídrico. Nutrição de plantas.

ABSTRACT

The silicon plays an important role in plant-environment relationships, as it can give crops better conditions to withstand climatic, edaphic and biological adversities, resulting in increased and improved physiological conditions of the plant. The objective of this work was to study the effect of leaf silica fertilization (calcium silicate) on the herbaceous cotton (*Gossypium hirsutum* L. breed *latifolium* Hutch), on its physiological and agronomic characteristics, in order to evaluate its response with the decrease of water availability through physiological and biochemical analyzes, as well as the anatomy, biometry and histochemical constitution of the leaf blade. Two experiments were carried out. The first experiment was carried out in a greenhouse, and the experimental design was a randomized (DIC), with six replications, in the factorial scheme 6 x 2, with the following factors: 5 calcium silicate concentrations (50, 100, 150 (Field capacity (CC) and 1/3 of the field capacity (1/3 CC)) and the control (without application), and 2 levels of water in the soil. Si was applied in three periods, at 30, 45 and 60 days after emergence (AED). It was concluded that the plant height, stem diameter, number of nodes, number of reproductive branches and number of reproductive structures were negatively affected by water deficit and positive for irrigated. The photosynthesis, stomatal conductance, transpiration and internal CO₂ content were reduced with the use of silicon doses. The cotton showed a plant that accumulated Si as the doses increase in the application, being the highest contents in the leaf, followed by the stem. The second experiment was carried out under field conditions in the Cerrado region. The experimental design was a randomized block design, in a 6x2 factorial scheme, with a total of 12 treatments, with 4 replications, making a total of 48 plots. The treatments consisted of 5 doses of Si (50, 100, 150, 200 and 400 g ha⁻¹) and the control plants (0.0 without Si) and two cultivation systems (dry and irrigated). The applications of Si doses were performed via foliar and split in two applications at 50 and 70 days after emergence (AED). Irrigations were performed by a fixed conventional sprinkler system. Plant height, stem diameter and number of nodes were negatively affected by the water deficit to which the cotton was submitted. The treatment without water deficit (irrigated) promoted higher height, stem diameter and number of nodes in the cotton plant. Photosynthesis, stomatal conductance, transpiration and CO₂ content were reduced with the use of silicon rates. The irrigation system provided greater solubility for the macronutrients and a better absorption of these nutrients by the plants. There was a positive relation of Si with Fe, with a higher Fe absorption by the plants as the release of Silicon from the iron oxides and hydroxides. The Si showed that it thickened the layers of the epidermis of the leaf, there was a greater turgescence

of the leaf in the irrigated plants than the one that were in the dry one. Cotton yield was higher in irrigated plants. For the parameters for the fiber quality, it was observed that fiber strength, reflectance, yellowing content and maturity index were higher in the irrigated system and the degree of leaves was significant the applications of Si rates. The recommended rate of Si would be 100 kg.ha^{-1} , as it presented a higher mean in most of the analyzed parameters.

Key words: *Gossypium hirsutum* L. var. *Latifolium* Hutch. Silicate fertilization. Water stress. Plant nutrition.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1-** Visão geral do experimento conduzido em casa de vegetação, aos 51 dias após a emergência (DAE). Ilha Solteira, 2017 31
- Figura 2 –** Dados climáticos obtidos no período de dezembro a maio para o ano agrícola 2017/18. Selvíria-MS. 47
- Figura 3-** Visão geral do experimento conduzido em campo, aos 87 dias após a emergência (DAE). Selvíria, 2018..... 51
- Figura 4-** Secções transversais da região internervural de folhas de genótipos de algodoeiro herbáceo genótipo TMG 11 WS em função de doses de silício e da disponibilidade de água. Selvíria – MS, ano agrícola 2017/2018 78
- Figura 5-** Secções transversais da região internervural de folhas de genótipos de algodoeiro herbáceo genótipo TMG 11 WS em função de doses de silício e da disponibilidade de água. Selvíria – MS, ano agrícola 2017/2018. 79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Características químicas iniciais do solo utilizado no experimento, 0,0-0,20 m, proveniente da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP (FEPE), localizada no município de Selviria – MS, 2017	30
Tabela 2- Altura (cm) de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses de silício e da disponibilidade de água de água no solo, Ilha Solteira, 2017.....	34
Tabela 3- Diâmetro (cm) de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses de silício e da disponibilidade de água no solo, Ilha Solteira, 2017.	35
Tabela 4- Números de nós de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses de silício e da disponibilidade de água no solo, Ilha Solteira, 2017.....	36
Tabela 5- Números de ramos reprodutivos de estruturas reprodutivas (botão floral, flor e fruto) de plantas de algodoeiro herbáceo aos 65 DAE, em função de doses de silício e da disponibilidade de água no solo, Ilha Solteira, 2017.....	37
Tabela 6- Índice SPAD de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses de silício e da disponibilidade de água no solo, Ilha Solteira, 2017.....	38
Tabela 7- Concentração de CO ₂ interno de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses de silício e da disponibilidade de água no solo, Ilha Solteira, 2017.....	40
Tabela 8 - Transpiração de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses de silício e da disponibilidade de água no solo, Ilha Solteira, 2017.....	41
Tabela 9- Condutância estomática de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses de silício e da disponibilidade de água no solo, Ilha Solteira, 2017.....	42
Tabela 10- Fotossíntese de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses de silício e da disponibilidade de água no solo, Ilha Solteira, 2017.....	43
Tabela 11- Teor de Si em diferentes nas partes da planta de algodoeiro herbáceo em função de doses de silício e da disponibilidade de água no solo, Ilha Solteira, 2017.....	44

Tabela 12- Resultados da análise química do solo da área experimental na profundidade de 0,0- 0,20 cm. Selvíria-MS, 2017.....	48
Tabela 13 - Altura (cm) de plantas de algodoeiro herbáceo, genótipo TMG 11 WS em função de doses de silício e da disponibilidade de água. Selvíria – MS, ano agrícola 2017/2018.....	56
Tabela 14- Diâmetro (cm) de plantas de algodoeiro herbáceo, genótipo TMG 11 WS em função de doses de silício e da disponibilidade de água. Selvíria – MS, ano agrícola 2017/2018.....	58
Tabela 15- Número de nós do caule de plantas de algodoeiro herbáceo, genótipo TMG 11 WS em função de doses de silício e da disponibilidade de água. Selvíria – MS, ano agrícola 2017/2018.....	60
Tabela 16- Índice de SPAD em folhas de algodoeiro herbáceo, genótipo TMG 11 WS em função de doses de silício e da disponibilidade de água. Selvíria – MS, ano agrícola 2017/2018.....	62
Tabela 17- Valores médios da fotossíntese líquida (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a concentração interna de CO_2 (C_i - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol ar}^{-1}$) em folhas de algodoeiro herbáceo, genótipo TMG 11 WS em função de doses de silício e da disponibilidade de água. Selvíria – MS, ano agrícola 2017/2018.....	65
Tabela 18- Teores foliar de macronutrientes em folhas de algodoeiro herbáceo, genótipo TMG 11 WS em função de doses de silício e da disponibilidade de água. Selvíria – MS, ano agrícola 2017/2018.....	68
Tabela 19- Teores foliar de manganês (Mn), zinco (Z), cobre (Cu), ferro (Fe) e silício (Si) de algodoeiro herbáceo, genótipo TMG 11 WS em função de doses de silício e da disponibilidade de água. Selvíria – MS, ano agrícola 2017/2018.....	70
Tabela 20- Massa de 20 capulhos e produtividade de algodoeiro herbáceo, genótipo TMG 11 WS em função de doses de silício e da disponibilidade de água. Selvíria – MS, ano agrícola 2017/2018.....	72

Tabela 21- Qualidade de fibra de algodoeiro herbáceo, genótipo TMG 11 WS em função de doses de silício e da disponibilidade de água. Selvíria – MS, ano agrícola 2017/2018.....75

Tabela 22- Espessura dos parâmetros da região internervural foliar de genótipos de algodoeiro herbáceo genótipo TMG 11 WS em função de doses de silício e da disponibilidade de água. Selvíria – MS, ano agrícola 2017/2018.77

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	O algodoeiro	18
2.1.1	<i>Breve história</i>	18
2.1.2	<i>Aspectos econômicos</i>	19
2.1.3	<i>Aspectos botânicos</i>	20
2.1.4	<i>Aspectos fisiológicos e bioquímicos</i>	22
2.2	Silício na agricultura	23
2.3	Principais fontes de silício	23
2.4	Silício no solo	23
2.5	Silício na planta	24
2.6	Essencialidade do silício	25
2.7	Efeitos benéficos do silício	25
2.8	Trocas gasosas	26
3	EXPERIMENTO 1 – Casa de vegetação	28
3.1	Introdução	28
3.2	Material e Métodos	29
3.2.1	<i>Descrição dos tratamentos</i>	29
3.2.2	<i>Genótipo</i>	31
3.2.3	<i>Descrição das variáveis avaliadas</i>	32
3.2.4	<i>Análise dos dados</i>	33
3.3	Resultados e Discussão	33
3.3.1	<i>Ano agrícola 2017</i>	33
3.3.1.1	<i>Altura de plantas</i>	33
3.3.1.2	<i>Diâmetro do caule</i>	34
3.3.1.3	<i>Número de nós do caule</i>	35
3.3.1.4	<i>Número de ramos reprodutivos e de estruturas reprodutivas</i>	36
3.3.1.5	<i>Índice SPAD</i>	38
3.3.1.6	<i>Índice de Concentração de CO₂ interno</i>	39
3.3.1.7	<i>Índice de transpiração</i>	40
3.3.1.8	<i>Índice de condutância estomática</i>	41
3.3.1.9	<i>Índice de fotossíntese</i>	42

3.3.1.10	<i>Teor de Si na raiz, caule e folha</i>	43
3.4	Conclusões	45
4	EXPERIMENTO 2. Fazenda de Pesquisa e Extensão	46
4.1	Introdução	46
4.2	Material e Métodos	47
4.2.1	<i>Descrição dos tratamentos</i>	47
4.2.2	<i>Precipitação e temperatura</i>	47
4.2.3	<i>Características do solo</i>	48
4.2.4	<i>Preparo do solo e adubação</i>	48
4.2.5	<i>Instalação do experimento e delineamento experimental</i>	48
4.2.6	<i>Controle de plantas daninhas</i>	50
4.2.7	<i>Controle fitossanitário</i>	50
4.2.8	<i>Colheita</i>	50
4.2.9	<i>Variáveis analisadas</i>	51
4.2.9.1	<i>Características agronômicas</i>	51
4.2.9.2	<i>Características tecnológicas da fibra</i>	53
4.2.9.3	<i>Análises laboratoriais</i>	53
4.2.9.4	<i>Medidas fotossintéticas</i>	53
4.2.9.10	<i>Análise dos dados</i>	54
4.3	Resultados e Discussão	54
4.3.1	<i>Ano agrícola 2018/2019</i>	54
4.3.1.1	<i>Altura de plantas</i>	54
4.3.1.2	<i>Diâmetro do caule</i>	57
4.3.1.3	<i>Número de nós do caule</i>	59
4.3.1.4	<i>Índice SPAD</i>	61
4.3.1.5	<i>Medidas fotossintéticas</i>	63
4.3.1.6	<i>Teor foliar de macronutriente</i>	66
4.3.1.7	<i>Teor foliar de micronutriente</i>	69
4.3.1.8	<i>Massa de 20 capulhos e produtividade</i>	71
4.3.1.9	<i>Qualidade da fibra do algodoeiro</i>	73
4.3.1.10	<i>Avaliação dos caracteres anatômicos do limbo foliar</i>	76
4.4	Conclusão	80
	REFERÊNCIAS	81

1 INTRODUÇÃO GERAL

O algodoeiro é considerado uma das plantas de mais completo aproveitamento, pois produz uma das mais importantes fibras têxteis do mundo e oferece variados produtos de utilidade com grande relevância na economia brasileira e mundial, figurando entre as dez maiores fontes de riqueza do agronegócio do Brasil (COSTA *et al.*, 2005).

O algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch.) é uma das principais culturas exploradas no Brasil. O país ocupa a quinta colocação dentre os países produtores de algodão. Ressalte-se que a cotonicultura se destaca no cenário nacional como cultura de expressiva importância para o agronegócio brasileiro (OLIVEIRA *et al.*, 2012). Acrescente-se que a cotonicultura já foi a principal atividade econômica para o agronegócio da região semiárida do Nordeste Brasileiro (DANTAS *et al.*, 2012).

Na safra 2011/2012 a área cultivada com algodão foi de 1.396,0 mil hectares, tendo a região Nordeste contribuído com 33% da área total. No Estado da Paraíba foram cultivados 0,2 mil ha com esta cultura (CONAB, 2012). Acrescente-se que no início de 2012 planejou-se cultivar no território paraibano cerca de 200 ha com algodão naturalmente colorido.

O potencial social, ambiental e econômico do algodão naturalmente colorido desenvolvido e cultivado na Paraíba é indiscutível. Porém, a cadeia produtiva necessita do emprego de tecnologias para ampliar a produção de algodão colorido (ABA, 2012). Uma alternativa viável para incremento de produção da cultura é a utilização de cultivares de algodão de fibra colorida e ecoadaptadas às condições edafoclimáticas do semiárido.

Outra prática potencial para otimização da cadeia produtiva do algodão é a aplicação de silício foliar, notadamente, em virtude desse elemento ter sido associado a diversos efeitos indiretos, dentre os quais destacam-se o aumento na capacidade fotossintética, redução da transpiração e aumento da resistência mecânica das células (GUERRERO *et al.*, 2011). Ferreira (2008) verificou ação positiva do silício em solução nutritiva sobre a fotossíntese, a transpiração, a condutância estomática e concentração interna de CO₂ do algodoeiro herbáceo cultivar 'BRS Cedro'.

Pesquisas envolvendo o crescimento e a fisiologia das plantas são importantes para subsidiar o desenvolvimento científico e tecnológico, notadamente, objetivando aumentar a eficiência do cultivo, incrementando a produção de algodão (OLIVEIRA *et al.*, 2012). De acordo com Floss (2004), a análise quantitativa do crescimento é o primeiro passo na análise de produção vegetal e requer informações que podem ser obtidas sem necessidade de

equipamentos sofisticados, sendo estas informações obtidas de forma direta de acordo com a dinâmica de produção de biomassa vegetal.

A mensuração de variáveis fisiológicas no algodoeiro pode auxiliar na identificação de estresses de natureza biótica e abiótica, proporcionando aos produtores e à comunidade científica maior segurança no momento de fazer intervenções estratégicas visando à contenção do agente estressante em tempo hábil. A avaliação das trocas gasosas é de fundamental importância, isso porque, de acordo com Paiva *et al.* (2005) a redução no crescimento das plantas está relacionada à diminuição da atividade fotossintética, o que pode ser resultante do aumento na resistência difusiva estomática, notadamente, pelo fato dos estômatos constituírem a principal via de troca gasosa entre as folhas e o meio externo (AMARAL *et al.*, 2006).

A quantificação de componentes bioquímicos, tais como pigmentos fotossintetizantes, conteúdo relativo de água na folha, concentração de proteínas e carboidratos solúveis, constitui uma alternativa importante para o monitoramento do estado nutricional e hídrico das plantas, caracterizando uma ferramenta de diagnóstico para os problemas metabólicos relacionados aos estresses bióticos e abióticos.

A ciência já demonstrou o envolvimento do silício em vários aspectos estruturais, fisiológicos e bioquímicos da vida das plantas, com papéis bastante diversos. O silício tem um papel importante nas relações planta-ambiente, pois pode dar à cultura melhores condições para suportar adversidades climáticas, edáficas e biológicas, tendo como resultado final um aumento e maior qualidade na produção. Estresses causados por temperaturas extremas, veranicos, metais pesados ou tóxicos, por exemplo, podem ter seus efeitos reduzidos com o uso do silício. Um dos efeitos benéficos que se sobressaem é o seu papel em reduzir a susceptibilidade das plantas a doenças causadas por fungos. A resistência das plantas às doenças pode ser aumentada por meio da formação de barreiras mecânicas e/ou pela alteração das respostas químicas da planta ao ataque do parasita, aumentando a síntese de toxinas que podem agir como substâncias inibidoras ou repelentes.

Diante do exposto, esta pesquisa teve como objetivo avaliar o efeito da adubação silicatada na cultura do algodoeiro herbáceo, sobre suas características fisiológicas e agronômicas, visando avaliar sua resposta com a diminuição da evapotranspiração por meio da aplicação via foliar, utilizando como fonte de Si, o silicato de cálcio.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O Algodoeiro

2.1.1 Breve história

Segundo Lunardon (2010) o algodão teve seu marco histórico inicial com os árabes, que mesmo de forma rudimentar já fiavam e teciam a fibra do algodão. Com o estreitamento do comércio entre o Oriente e a Europa o algodoeiro conquistou seu espaço frente à lã, que até o século XVII predominava nesse continente.

No Brasil, entre os séculos XIX e XX, o algodão constituía-se em uma das principais fontes de renda, notadamente, para a agricultura familiar nordestina. Devido à sua grande capacidade de resistência a seca e potencial de produção com pouca água, o algodoeiro propagou-se na região semiárida do Nordeste (BELTRÃO, 2003).

De acordo com Freire (1983) o tipo de algodoeiro mais cultivado no Nordeste, desde seu marco histórico, era o *Gossipium barbadense*, nativo do Brasil. A partir de 1850 foi introduzido no Nordeste, por meio de sementes importadas da América do Norte, o algodoeiro *Gossipium hirsutum* L. r. *latifolium*. O mesmo autor acrescenta que, o lançamento da cultivar ‘BR-1’ de algodoeiro herbáceo veio preencher a lacuna de genótipos adaptados às condições edafoclimáticas do semiárido nordestino.

Atualmente dispõe-se de várias cultivares adaptadas aos diversos ecossistemas brasileiros, com ênfase para as cultivares ‘BRS Topázio’ (VIDAL NETO *et al.*, 2010), ‘BRS Safira’ (CARVALHO *et al.*, 2007) e ‘BRS Rubi’ (CARVALHO *et al.*, 2009) com potencial para produção nas condições edafoclimáticas do semiárido nordestino.

É importante frisar que, recentemente, novas tecnologias para produção de algodão estão sendo disponibilizadas aos produtores, com destaque para a agricultura de precisão, manejo de reguladores de crescimento, com aplicação de hiperprecoces, novas tecnologias para o plantio direto e uso de genótipos transgênicos possuidores de genes que conferem resistência a agentes bióticos e abióticos, além de conferirem tonalidades coloridas as fibras (BELTRÃO; AZEVEDO, 2008).

2.1.2 Aspectos econômicos

Estudos confirmam que o algodoeiro já era conhecido há aproximadamente 4.000 anos a.C., sendo uma das principais plantas domesticadas pelo homem e uma das mais antigas, sendo a Índia o seu centro de origem. Há registros do cultivo dessa planta pelos indígenas (que transformavam o algodão em fios e tecidos) desde a época do descobrimento do Brasil (MEIRELLES, 2001).

Atualmente cerca de 81 países cultivam o algodoeiro, economicamente, liderados pela China, E.U.A. Índia, entre outros. Por sua grande resistência à seca o algodoeiro constitui-se em uma das poucas opções para cultivo em regiões semi-áridas, podendo fixar o homem ao campo, gerar emprego e renda no meio rural e meio urbano. É, portanto, atividade de grande importância social e econômica (SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA, IRRIGAÇÃO, PESCA E AQUICULTURA- SEAGRI, 2013).

Do algodoeiro praticamente tudo é aproveitado, principalmente o caroço, que representa em torno de 65% do peso da produção, e a fibra, representando 35% do peso da produção (WATKINS, 1981). De acordo com Soave e Moraes (1987) os restos de cultura como capulhos, caule, folhas e maçãs são utilizados na alimentação de animais em geral; O caroço (semente) é rico em óleo e contém 20-25% de proteína bruta; O óleo extraído da semente é refinado e destinado à alimentação humana e a fabricação de margarina e sabões; O bagaço (farelo ou torta), subproduto da extração do óleo, é destinado à alimentação animal (bovinos, aves, suínos) devido ao seu alto valor protéico (40-45% de proteína bruta); A fibra, principal produto do algodoeiro, tem mais de 400 aplicações industriais, entre as quais a confecção de fios para tecelagem (tecidos variados), algodão hidrófilo para enfermagem, confecção de feltro de cobertores, de estofamentos, obtenção de celulose, entre outros, e segundo Paiva *et al.* (2001), representa mundialmente mais de 40% da vestidura da humanidade.

No Brasil, a expansão da área algodoeira na década de 90 realizou-se por meio de culturas de grande magnitude, essencialmente mecanizadas, principalmente quanto à colheita, o que ocasionou uma série de alterações nas técnicas de cultivo devido à mudança do sistema de produção, que passou de empregadora de mão de obra baseada na agricultura familiar, à cultura altamente tecnificada e baseada na exploração por grandes empresas (CARVALHO; FURLANI JUNIOR, 1996), sendo que os maiores estados produtores são Mato Grosso, Goiás, São Paulo, Paraná e Minas Gerais (CASSETARI NETO; MACHADO, 2000).

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium*) é uma cultura que desempenha um papel de destaque no âmbito econômico, figurando dentre as principais culturas de interesse

para o agronegócio em diversas partes do mundo (CARDOSO *et al.*, 2010). Ressalte-se que, esta cultura é cultivada em mais de 80 países com produção superior a 20 milhões de toneladas de fibra por ano (BELTRÃO *et al.*, 2010).

A cultura encontra-se dentre as 10 principais espécies domesticadas pelo ser humano, entre mais de 230 mil espécies de plantas espermatófitas. Acrescente-se que, é a única espécie domesticada tida como cultura “trina”, notadamente, por produzir fibra, óleo utilizado para alimentação e energia (biodiesel) (BELTRÃO; AZEVEDO, 2008).

No Brasil, de acordo com Dutra & Medeiros Filho (2009) as áreas de maior expressão cultivadas com algodão estão situadas nos Estados da Bahia, Mato Grosso 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.

Atualmente, a produção do Brasil está em torno de 720.000 toneladas de caroço de algodão. Considerando-se uma cultivar com 25% de óleo na semente, caso esta produção toda fosse transformada em óleo, seriam produzidos 108.000.000 litros de óleo (CARVALHO *et al.* 2010), denotando valores expressivos, sobretudo para atender a demanda por matéria prima para a produção de biodiesel.

As plantas de algodoeiro são singulares, pois são fibrosas e oleaginosas, com teor de óleo na semente variando entre 14 a 25% (BELTRÃO, 2003), do qual 1-2% é de ácido graxo mirístico, 18-25% de palmítico, 1-25% de esteárico, 1-2 de palmitoléico, 17-38% de oléico e 45-55% de linoléico (SOLOMONS, 2002), dependendo da cultivar e do ambiente de cultivo, e são produtoras de proteínas de elevado valor biológico. Acrescente-se ainda que, as sementes têm grande importância, pois além de serem potenciais para a produção de óleo, ainda têm como co-produto o linter, que é bastante usado na fabricação de fios em tecelagem, tornando o cultivo do algodoeiro ainda mais atrativo para os produtores, incrementando desta forma a renda e qualidade de vida do homem do campo.

2.1.3 Aspectos botânicos

O algodoeiro pertence ao grupo das plantas dicotiledôneas, família das Malvaceae. Caracteriza-se por ser uma planta ereta, anual ou perene, dotada de raiz principal cônica, pivotante com número reduzido de raízes secundárias grossas e superficiais. O caule herbáceo ou lenhoso tem altura variável sendo dotado de ramos vegetativos. As folhas são pecioladas, geralmente cordiformes, de consistência coriácea ou não, inteira ou recortada possuindo de três a nove lóbulos. As flores são hermafroditas, axilares, isoladas ou não, apresentando coloração

creme, abrindo-se entre 9 e 10 horas. Os frutos são denominados de maçãs quando verdes e de capulhos quando se abrem, são capsulares de deiscência longitudinal, possuindo três a cinco lóculos, podendo chegar de seis a dez sementes. As sementes são revestidas de pelos, mais ou menos longos, denominados de fibra ou linter (SEAGRI, 2012).

O algodoeiro é um vegetal de elevada complexidade morfofisiológica (BELTRÃO *et al.*, 2010). Estes autores reportaram que a planta de algodoeiro herbáceo possui uma estrutura organográfica singular com dois tipos de ramificação, apresentando ramos frutíferos e vegetativos, dois tipos de macrofilo (frutíferos e vegetativos) flores completas possuindo um terceiro verticilo floral, as brácteas, que faz uma proteção extra e pode possuir, na base interna e externamente, glândulas de secreção, além de apresentar prófilos, folhas sem bainha com duas estípulas, dois tipos de glândulas e pelo menos duas gemas na base de cada folha.

O (*Gossypium hirsutum* L. var. *latifolium* Hutch) é uma planta de origem tropical e subtropical, necessitando de dias ensolarados com nebulosidade abaixo de 30% para apresentar elevadas produtividades e uma fibra de alta qualidade. A temperatura média deve estar acima de 20%, umidade relativa do ar em torno de 60%, inexistência de inversão térmica e de precipitação pluvial entre 500 a 1800 mm, sendo que as precipitações devem ser maiores nos períodos de floração, crescimento e desenvolvimento dos frutos, pois a energia solar é um dos componentes para abertura do fruto (BELTRÃO *et al.*, 1999). Trata-se de uma planta ereta, anual ou perene, dotada de raiz principal cônica, pivotante, profunda, e com pequeno número de raízes secundárias grossas e superficiais. O caule herbáceo ou lenhoso tem altura variável sendo dotado de ramos vegetativos e ramos frutíferos. As folhas são pecioladas, geralmente cordiformes, de consistência coriácea ou não é inteira ou recortada. As flores são hermafroditas, axilares, isoladas ou não, cor creme nas recém-abertas (que passa à rósea e purpúrea) com ou sem mancha purpúrea na base interna (SECRETARIA DE AGRICULTURA, IRRIGAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA DA BAHIA-SEAGRI BA, 2006).

Diversos eventos ocorrem ao mesmo tempo durante a maior parte do ciclo da planta, como crescimento vegetativo, aparecimento de gemas reprodutivas, florescimento, crescimento, e maturação dos frutos, sendo que cada um destes eventos é importante para a produção final, mas é necessário que ocorram de modo balanceado. Durante grande parte do ciclo da planta ocorre competição por carboidratos. Entender os principais processos fisiológicos que ocorrem durante cada estágio de crescimento é importante para o manejo adequado da cultura, e obtenção de produtividades que garantam a rentabilidade da lavoura (ROSOLEM, 2001).

O ciclo do algodoeiro pode ser dividido em 5 fases. 1° fase: período entre a semeadura e a emergência, ocorre a embebição e germinação da semente e estabelecimento dos cotilédones, com duração média de quatro a dez dias, podendo se prolongar sob condições desfavoráveis. 2° fase: surgimento do primeiro botão floral que geralmente ocorre aos 30 dias após emergência (DAE). 3° fase: aparecimento da primeira flor entre 45 a 60 DAE. 4° fase: abertura da primeira maçã (90 e 120 DAE). 5° fase: período de colheita, quando as maçãs estão completamente abertas, o que acontece em média aos 120 DAE, dependendo do genótipo e das condições ambientais (BELTRÃO; SOUZA, 2001).

2.1.4 Aspectos fisiológicos e bioquímicos

O algodoeiro é uma fibrosa possuidora de mecanismo fisiológico complexo, sendo bastante resistente à seca, notadamente, pelo eficiente mecanismo de ajustamento osmótico e, porém, muito sensível a anoxia e hipoxia, o que implicará em reduções no crescimento, e nas suas principais funções metabólicas tais como a fotossíntese, a respiração além de vários sistemas enzimáticos (BELTRÃO, 2007). O autor acrescenta que essa malvacea, apesar de possuir baixa eficiência assimilatória, não se satura em condições ecofisiológicas, com o máximo da densidade do fluxo radiante, o que a confere potencial para produzir cerca de 17,50 t ha⁻¹ de algodão em caroço.

É importante salientar que, o algodoeiro pode expressar variações na atividade metabólica por meio de variáveis fisiológicas. Isso porque, de acordo com Ferreira (2008) o algodoeiro herbáceo aumenta sua atividade fotossintética em resposta ao aumento gradativo de concentrações de silício fornecidas em solução nutritiva. Este autor também verificou redução na transpiração, na concentração interna de carbono e na condutância estomática. Ressalte-se que, essas constatações corroboram com o que Shi *et al.* (2005) e Takahashi (1995) mencionaram com relação a essas variáveis.

Brito *et al.* (2011) reportaram que o conhecimento pleno da fisiologia do algodoeiro consiste na inclusão de ferramentas e indicadores para os programas de melhoramento genético, auxiliando os pesquisadores na obtenção de cultivares mais resistentes aos estresses bióticos e abióticos. Os autores salientaram que algumas técnicas utilizadas para mensuração de variáveis fisiológicas são muito laboriosas e pouco práticas, notadamente, para os programas de melhoramento genético. Assim, variáveis bioquímicas como teor relativo de água na folha (COLLOM; VAZZANA, 2003), extrusão da membrana celular (MATA; LAMATTINA, 2001)

e concentração de pigmentos fotossintetizantes podem ser utilizadas como indicadores do estado geral das plantas.

2.2 Silício na agricultura

Os primeiros experimentos conduzidos em laboratório, casa de vegetação e campo utilizando-se o silício, foram realizados por volta de 1840, denotando resultados satisfatórios nas culturas de arroz, milho, trigo, cevada e cana-de-açúcar. Esse elemento já é utilizado na agricultura como fertilizante em diversos países, como o Brasil, Japão, Ilhas Maurícius, EUA, Austrália e África do Sul. No Brasil, já existem várias marcas de produtos silicatados, notadamente, pela inserção desse elemento na Legislação para Produção e Comercialização de Fertilizantes e Corretivos (KORNDORFER & OLIVEIRA, 2010). Os autores acrescentam que, o silício é capaz de auxiliar na proteção das plantas contra doenças, ataque de pragas e de estresses abióticos além de promover maior fertilidade e correção do pH do solo.

2.3 Principais fontes de silício

Em se tratando de silício (Si) para utilização na agricultura, diversos materiais têm sido empregados como fonte deste elemento. Dentre os materiais comumente utilizados como fonte de Si para as plantas destacamos: escórias de siderurgia, vollastonita, subprodutos da produção de fósforo elementar, silicato de cálcio, silicato de sódio, cimento, termofosfato, silicato de magnésio e silicato de potássio.

As fontes mais abundantes e menos onerosas economicamente de silicatos são as escórias siderúrgicas; essas escórias consistem no resíduo da siderurgia do ferro e do aço, as quais são originárias da reação do calcário e da sílica presentes no minério de ferro, onde esse processo ocorre normalmente em altas temperaturas (KORNDORFER; OLIVEIRA, 2010).

2.4 Silício no solo

O silício é um elemento extremamente abundante na crosta terrestre, sendo encontrado na natureza na forma de silicatos e principalmente, de sílica. A maioria dos solos são predominantemente silicatos e aluminossilicatos. É importante destacar que o ácido monossilícico, também denominado de ácido ortossilícico ou ainda ácido silícico consiste na

forma disponível para as plantas, ocorrendo principalmente na solução do solo, na água doce e em águas de todos os oceanos do mundo (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

De acordo com Lima Filho *et al.* (2005) o teor de silício disponível para as plantas está diretamente relacionado com a fertilidade natural do solo, onde evidencia-se que essa relação é positiva para as plantas. Os autores acrescentam que, alguns solos, a exemplo dos tropicais e subtropicais, sujeitos a intemperização e lixiviação, com cultivos sucessivos, tendem a apresentar baixo nível de silício trocável. É importante ressaltar que, solos arenosos são pobres em silício assimilável pelas plantas, pois são constituídos majoritariamente por quartzo.

As fontes predominantes de ácido silícico na solução do solo são: a decomposição de resíduos vegetais, dissociação de ácido silícico polimérico, liberação de silício dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, dissolução de minerais cristalinos e não cristalinos, adição de fertilizantes silicatados e a água de irrigação (LIMA FILHO *et al.*, 2010).

2.5 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 dicotiledôneas possuem menor concentração de Si no organismo em comparação com as monocotiledôneas (PILON-SMITS *et al.*, 2009).

Este elemento é absorvido pelas plantas na forma de ácido monossilícico, sendo depositado nos tecidos vegetais na forma de sílica amorfa, principalmente nas paredes celulares, onde passa a interagir com compostos fenólicos e pectinas, aumentando a rigidez e a força estrutural das plantas (CURRIE; PERRY, 2007).

O processo de absorção do ácido monossilícico, que possui carga neutra, ocorre pela dissolução através da membrana, podendo ocorrer pelo simplasto ou apoplasto. O mecanismo de absorção radicular do silício pelas plantas foi considerado passivo, entretanto alguns estudos (MA *et al.*, 2008; MITANI *et al.*, 2009; CHIBA *et al.*, 2009) científicaram absorção ativa por proteínas de membranas específicas, codificadas por genes específicos para este fim.

É importante frisar que este elemento confere às culturas melhores condições para suportarem adversidades climáticas, refletindo-se diretamente na produção das plantas (LIMA FILHO *et al.*, 2010).

2.6 Essencialidade do silício

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 autor acrescenta que embora seja constituinte majoritário nas plantas, esse elemento só foi considerado essencial para algumas plantas superiores.

É importante ressaltar que, por meio do decreto nº 4954, aprovado pela Presidência da República em 14 de janeiro de 2004, o silício foi incluído na lista de micronutrientes, podendo ser comercializado legalmente como fertilizante (LIMA FILHO, 2010). Em sentido amplo, o silício não é considerado um elemento essencial para o desenvolvimento pleno de todos os vegetais, o que se justifica pelo não atendimento de todos os critérios de essencialidade desse elemento (GIONGO; BOHNEN, 2011).

2.7 Efeitos benéficos do silício

O efeito benéfico do Si nas plantas é mais evidente em cultivos sob condições de estresse (MA; TAKAHASHI, 2002). Ma & Yamaji (2006) reportaram que esse elemento minimiza os estresses de salinidade, toxicidade provocados por metais e desequilíbrio de nutrientes, deficiência hídrica, altas e baixas temperaturas, geadas e raios ultravioleta.

A utilização de silício sob aplicação foliar pode constituir uma alternativa viável para minimizar o efeito danoso dos estresses bióticos e abióticos para as culturas (LIMA *et al.*, 2011). Isso porque o silício, apesar de não ser considerado um elemento essencial (GIONGO; BOHNEN, 2011), pode otimizar alguns processos morfofisiológicos e bioquímicos desejáveis por aumentar de forma significativa o rendimento de algumas espécies cultivadas, notadamente, pelo acúmulo e polimerização de silicatos 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).

2.8 Trocas gasosas

De acordo com Dornhoff e Shibles (1970), a fotossíntese é um mecanismo essencial para a sobrevivência das plantas, sendo o principal processo de fornecimento de carbono para o crescimento e desenvolvimento vegetal. Toda matéria orgânica acumulada numa planta durante seu crescimento tem origem no processo fotossintético de fixação de carbono atmosférico, o qual representa ao redor de 95% de toda sua fitomassa seca. Assim, qualquer fator ambiental que afetar a fotossíntese afetará o crescimento e acúmulo de fitomassa (SYVERTSEN; LLOYD, 1994), sendo assim, a fotossíntese é um dos processos fisiológicos-chaves fundamentais na modelagem de aspectos de crescimento da planta e é utilizada como ferramenta para indicar condições de estresses causadas pelo ambiente e na seleção de condições de crescimento apropriadas para diferentes espécies (ZHANG *et al.*, 2007).

Segundo Messinger *et al.* (2006), a fotossíntese e a respiração dependem de um constante fluxo de CO₂ e O₂ entrando e saindo da célula, sendo que esse fluxo livre é função da concentração de CO₂ e O₂ nos espaços intercelulares que dependem da abertura estomática, controladora majoritária do fluxo de gases.

A condutância estomática é controlada pelas células guardas que controlam a abertura estomatal através da turgidez. O comportamento estomático determina a demanda transpirativa a que as folhas estão potencialmente sujeitas e, portanto, determina a taxa de crescimento da planta (JARVIS; MCNAUGHTON, 1986). Vale ressaltar que condições propícias à fixação de carbono favorecem a abertura dos estômatos, enquanto que condições propícias à perda de água favorecem o seu fechamento (MEDINA *et al.*, 2005). Portanto reduções na condutância estomática com o intuito de diminuir a perda de água também reduzem as taxas fotossintéticas (PEARCY; PFTISCH, 1991).

Tendo em vista os argumentos mencionados, objetivou-se com este trabalho avaliar o crescimento, fisiologia e produção de algodoeiro herbáceo sob aplicação de silício via foliar nas condições de sequeiro e irrigado.

Para facilitar a compreensão dos vários itens estudados durante essa pesquisa, o trabalho foi subdividido em dois experimentos, a saber:

- **Experimento 1:** O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação tipo Pad e Fan, na UNESP de Ilha Solteira - SP, no Campus II. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), com seis repetições, no esquema fatorial 6x2, sendo os fatores: 5 concentrações de Silicato de Cálcio (50, 100, 150, 200 e 400 mg L⁻¹)

¹) e a testemunha, e 2 níveis de água no solo (capacidade de campo (CC) e 1/3 da capacidade de campo (1/3 CC)), o Si foi aplicado via foliar.

- **Experimento 2:** O experimento foi realizado em área experimental pertencente à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Unesp, localizada no município de Selvíria – MS (região de Cerrado). O delineamento experimental foi de blocos ao acaso (DBC), em esquema fatorial 6x2 totalizando 12 tratamentos, com 4 repetições, perfazendo um total 48 parcelas. Os tratamentos foram constituídos por 5 doses de Si (50, 100, 150, 200 e 400 kg ha⁻¹) e as plantas testemunhas (0,0 sem Si) e dois sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), o Si foi aplicado via foliar.

3 EXPERIMENTO 1 – Casa de vegetação

3.1 Introdução

O algodoeiro produz uma das mais importantes fibras têxteis do mundo com grande relevância na economia brasileira e mundial, figurando entre as dez maiores fontes de riqueza do agronegócio do Brasil (COSTA *et al.*, 2005).

Segundo a CONAB (2017) a previsão para a área cultivada na safra 2016/2017 é de aproximadamente 1.074,2 milhão de hectares e produtividade de 3.855 kg ha de algodão em caroço (fibra + sementes). De acordo com o estudo de projeções do agronegócio 2010/2011 a 2020/2021 realizado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA – Assessoria de Gestão Estratégica, 2010), o algodão em pluma terá um aumento de 4,3% na produção e 5,3% nas exportações.

Devido à grande importância dessa cultura no cenário mundial, torna-se evidente que se busquem meios necessários à maximização do seu rendimento. Na atualidade, inúmeras pesquisas relatam os efeitos benéficos do silício em algumas culturas de importância econômica, a exemplo da cultura do arroz, cana-de-açúcar, dentre outras, sendo poucos os estudos e resultados científicos sobre seu efeito no algodoeiro. Segundo Epstein e Bloom (2006), cientistas japoneses têm demonstrado os efeitos benéficos da fertilização de arroz com silício para o aumento da resistência a doenças e a toxicidade por metal e outras. De acordo com Lima Filho (2010), o silício tem papel importante nas relações planta-ambiente, pois pode dar às culturas melhores condições para suportarem adversidades climáticas, edáficas e biológicas, tendo como resultado final o aumento e a melhor qualidade da produção.

Dentre os benefícios proporcionados pelo silício, pode-se destacar ainda, o aumento da absorção de cálcio e magnésio, aumento da resistência da parede celular e regulação da evapotranspiração, estímulo à produção de fitoalexinas (fenóis), aumento da taxa fotossintética, além de melhorar a arquitetura foliar, a redistribuição do manganês na planta e proporcionar redução na preferência alimentar de insetos e incidência de doenças, principalmente fúngicas (GOUSSAIN *et al.*, 2002; BASAGLI *et al.*, 2003). O silício favorece também na translocação de carbono para as sementes, aumenta a eficiência de uso da água, com diminuição da transpiração e passagem mais rápida da fase vegetativa para a reprodutiva (ZUCCARINI, 2008).

A utilização de silício sob aplicação foliar pode constituir uma alternativa viável para minimizar o efeito danoso dos estresses bióticos e abióticos para as culturas (LIMA *et al.*, 2011). Isso porque o silício, apesar de não ser considerado um elemento essencial (GIONGO e BOHNEN, 2011), pode otimizar alguns processos morfofisiológicos e bioquímicos desejáveis por aumentar de forma significativa o rendimento de algumas espécies cultivadas, notadamente, pelo acúmulo e polimerização de silicatos 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). Além disso, a adubação foliar pode reduzir o tempo de retardamento entre a aplicação e a absorção pela planta, o que poderia ser importante durante uma fase de rápido crescimento.

Assim, acredita-se que o silício representa uma alternativa interessante, com grande potencial para ser utilizado na melhoria da produção agrícola brasileira. No entanto, a maioria dos resultados obtidos até o momento, é oriunda de outros países e em condições muito diferentes das encontradas no Brasil. Isto permite inferir que há um vasto campo a ser explorado, com trabalhos que visem melhorar o entendimento do papel e da importância do silício na agricultura (FARIAS, 2012).

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Descrição dos tratamentos

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação tipo Pad e Fan, com temperatura máxima de 30°C e umidade controlada, na UNESP de Ilha Solteira - SP, no Campus II, localizada a 20°43'09" de latitude sul e 51°33'79" de longitude oeste, com altitude em torno de 335 metros, no período de setembro a dezembro de 2017.

O solo utilizado para a instalação do experimento foi o Latossolo Vermelho Distrófico típico, muito argiloso, conforme classificação brasileira dos solos (EMBRAPA, 1999), proveniente da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP (FEPE), localizada no município de Selviria - MS, coletado na camada de 0 – 0,20 m.

A análise química do solo se encontra na Tabela 1. Esse solo foi seco ao ar e peneirado em malha de 4 mm. Depois de homogeneizado, separou-se uma amostra do mesmo para análises químicas. O solo foi corrigido e adubado de acordo com as recomendações técnicas para a cultura.

Tabela 1 - Características químicas iniciais do solo utilizado no experimento, 0,0-0,20 m, proveniente da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP (FEPE), localizada no município de Selviria – MS, 2017.

Presina	M.O	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V
mg/dm⁻³	g/dm⁻³	(CaCl₂)	mmol_c/dm³					(%)	
2	19	4,7	0,3	10	6	25	2	41,3	39

Fonte: Próprio autor.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), com seis repetições, no esquema fatorial 6 x 2, sendo os fatores: 5 concentrações de Silicato de Cálcio (50;100;150;200 e 400 mg L⁻¹) e a testemunha, e 2 níveis de água no solo (capacidade de campo (CC) e 1/3 da capacidade de campo (1/3 CC)), sendo que os vasos plásticos tinham a capacidade de 15 litros padronizados com a cor preta. Os vasos foram preenchidos igualmente com 15 kg de solo, devidamente pesados, em seguida sobrepostos em bancada e posteriormente foram saturados com água, cobertos com sacos de polietileno, para evitar a evaporação e deixados em repouso até a estabilização mais aproximada à CC (aproximadamente cinco dias). Após a estabilização da água no vaso, todos os vasos foram pesados obtendo-se a CC específica de cada vaso.

A semeadura foi realizada no dia 16 de setembro de 2017, em bandejas de germinação, preenchidas com substrato comercial. Quando as plântulas emitiram a primeira folha verdadeira foram transplantadas para o vaso, ficando duas plântulas por vaso, sendo escolhidas as de tamanho uniforme e ficando bem distribuídas no recipiente. Aos 30 DAE realizou-se o desbaste ficando uma planta por vaso, totalizando 72 plantas.

Diariamente os vasos eram pesados e a água perdida pela evapotranspiração repostas, até os 30 DAE. Após esse período, começou-se a diferenciar os regimes hídricos, com base no peso dos vasos inicialmente saturados. Os vasos continuaram sendo pesados todos os dias, no período da manhã, e as reposições de água eram feitas manualmente de conformidade com o manejo baseado em peso, estando de acordo com a porcentagem dos tratamentos utilizados.

O Si foi aplicado com um borrifador sem spray, utilizando-se como fonte o Silicato de Cálcio, contendo (88% de SiO_2 e 12% de CaO), sendo aplicado via foliar nas plantas e parcelado em três períodos, aos 30, 45 e 60 DAE.

Após a aplicação das doses de Silicato de Cálcio, realizou-se o balanceamento de Cálcio (Ca) via solo, sendo aplicado em solução nutritiva de Hoagland & Arnon (1950), a fim de que a concentração deste nutriente ficasse igual nas plantas e proporcionassem iguais condições nutricionais.

Não houve a aplicação de regulador de crescimento. O controle de plantas daninhas foi realizado via manual. O controle de pragas foi realizado via aplicação de inseticida e a praga encontrada e controlada foi a mosca branca (*Bemisiata baci*).

Figura 1- Visão geral do experimento conduzido em casa de vegetação, aos 51 dias após a emergência (DAE). Ilha Solteira, 2017.



Fonte: Da própria autora.

3.2.2 Genótipo

As sementes do algodão utilizadas foram do genótipo TMG 11 WS, apresentando porte baixo (0,90 a 1,20 m), ciclo precoce, resistência à ramulose e bacteriose, tolerante a nematoide, boa qualidade de fibra e alto potencial produtivo (TMG, 2012).

3.2.3 Descrição das variáveis avaliadas

As características agronômicas foram avaliadas em todas as plantas, tendo início aos 35 DAE, após 5 dias a aplicação dos tratamentos, até os 65 DAE. O experimento foi conduzido até aos 80 DAE, uma vez que não se avaliou os componentes de produção. Foram avaliados:

Altura da planta (cm): medição feita do solo ao ápice da planta com o auxílio de uma trena fixa a um suporte de madeira.

Diâmetro do caule (mm): medido na altura de 2 cm em relação ao solo, realizado com o auxílio de um paquímetro.

Número de nós: contagem do número total de nós do caule a cada medição da altura do algodoeiro.

Número de ramos reprodutivos: Realizado por contagem a cada medição da altura do algodoeiro.

Número de estruturas reprodutivas: contagem de todas as estruturas reprodutivas, como botão floral, flor e fruto.

Índice SPAD: foram realizadas leituras com medidor de clorofila portátil modelo SPAD-502, desenvolvido pela Minolta (1989).

Medidas fotossintéticas: a Taxa fotossintética líquida expressa por área (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a concentração interna de CO_2 na câmara subestomática (C_i - $\mu\text{mol mol}^{-1}$), foram avaliadas utilizando-se um equipamento portátil de trocas gasosas, (Infra Red Gas Analyser – IRGA, marca ADC BioScientific Ltd, modelo LC-Pro), sendo as condições inicialmente impostas para realização das medidas de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), providas por lâmpadas LED; 380 ppm de CO_2 e temperatura da câmara em 28°C .

Determinação dos teores de Si na planta: a análise das partes do algodoeiro foi realizada pela coleta da planta de cada parcela experimental, para verificar o efeito dos tratamentos estudados na concentração de Si. Após a coleta, os materiais vegetais foram submetidas à secagem em estufa com circulação e renovação de ar, moídas e encaminhadas ao Laboratório de Análise de Tecido Vegetal do Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia da FEIS/Unesp/Ilha Solteira, onde foram obtidos através da

incineração e leitura da absorvância em espectro fotômetro para determinação do teor de Si conforme a metodologia relatada por Embrapa (1999).

3.2.4 *Análise dos dados*

Os resultados das variáveis estudadas foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância através do teste F ao nível de significância de 5% (GOMES, 2000). Para os resultados significativos, foram aplicados modelos de regressão e o teste de Tukey que melhor se ajustaram aos efeitos observados. Utilizou-se o programa de análises estatísticas SISVAR (FERREIRA, 2000).

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 *Ano agrícola 2017*

3.3.1.1 *Altura de plantas*

Quanto à altura do algodoeiro (Tabela 2), em relação a condição ou nível de água no solo, foi possível verificar que houve efeito significativo em todas as datas avaliativas, exceto aos 35 DAE, pois as plantas só foram diferenciadas das condições hídricas aos 30 DAE, para estabilidade da cultura, não havendo tempo para se obter uma resposta significativa. Foi possível constatar que as plantas que foram submetidas ao estresse hídrico (1/3 CC) tiveram altura inferior as que estavam na capacidade de campo (CC).

As doses de Si não influenciaram a altura das plantas e não houve interação entre as doses de Si x Condições hídricas, pelo fato de ser uma variável que demora a responder as tratamentos, não tem uma resposta rápida.

Esse resultado está de acordo com Larcher (2006), que afirmou que a deficiência hídrica resulta em uma diminuição do volume celular e uma progressiva desidratação do protoplasto, onde a primeira e mais sensível resposta é a diminuição da turgescência e, associada a esse evento, a diminuição do crescimento, principalmente em extensão. Assim, sugere que se mantenha um conteúdo de água no solo não muito baixo para o cultivo do algodoeiro, para assim, não haver perda na sua produtividade, posto ser o crescimento vegetativo fundamental para a inserção das estruturas reprodutivas.

Tabela 2- Altura (cm) de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses de silício e da disponibilidade de água de água no solo, Ilha Solteira, 2017.

Altura (cm)	35 DAE	55 DAE	65 DAE
		p>F	
Condições hídricas (H)	0,72 ^{ns}	0,01 ^{**}	0,01 ^{**}
Doses de Si (D)	0,96 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,31 ^{ns}
H * D	0,52 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,16 ^{ns}
CV(%)	16,31	16,97	15,13
Média geral	24,89	59,36	70,35
Condições hídricas			
Capacidade de campo (CC)	25,07 a	70,99 a	87,15 a
1/3 da CC	24,73 a	47,73 b	53,55 b
DMS	1,91	4,75	5,02
Doses de Si (mg.L⁻¹)			
0	24,45	60,02	70,66
50	25,45	56,85	68,55
100	24,79	61,80	71,02
150	24,50	58,60	70,54
200	25,62	59,03	65,51
400	24,56	59,85	75,82
p>F (linear)	0,93	0,88	0,21
r² (linear %)	0,71	1,38	26,21
p>F (quadrática)	0,67	0,92	0,14
R² (quadrática %)	20,26	1,92	62,87

Nota: ns e **: não significativo e significativo a 1% pelo Teste F, respectivamente

Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Obs: DAE: dias após emergência

Fonte: Da própria autora.

3.3.1.2 Diâmetro do caule

As condições hídricas impostas influenciaram na espessura do diâmetro do caule do algodoeiro aos 55 e 65 DAE, sendo que as plantas que foram submetidas a 1/3 CC tiveram a espessura do diâmetro reduzida, mostrando que, em casos de escassez de água, o crescimento secundário do caule diminui, reduzindo o diâmetro (Tabela 3).

As doses de Si não influenciaram o diâmetro das plantas e não houve interação entre as doses de Si x Condições hídricas.

Resultados semelhantes foram os encontrados por Souza e Beltrão (1999), ao avaliarem os níveis para reposição de água no solo 25, 50 e 75% da água disponível em genótipo TMG 11 WS de algodoeiro, também observaram que o menor nível de água no solo causou efeito depreciativo sobre o diâmetro caulinar.

Tabela 3 - Diâmetro (cm) de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses de silício e da disponibilidade de água no solo, Ilha Solteira, 2017.

Diâmetro (cm)	35 DAE	55 DAE	65 DAE
		p>F	
Condições hídricas (H)	0,40 ^{ns}	0,01**	0,01**
Doses de Si (D)	0,89 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,78 ^{ns}
H * D	0,71 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,87 ^{ns}
CV(%)	13,66	8,62	12,01
Média geral	4,79	8,19	8,33
Condições hídricas			
Capacidade de campo (CC)	4,86 a	9,25 a	9,50 a
1/3 da CC	4,73 a	7,15 b	7,16 b
DMS	0,31	0,33	0,47
Doses de Si (mg.L⁻¹)			
0	4,73	8,62	8,48
50	4,74	8,33	8,56
100	4,79	8,07	8,50
150	4,66	7,78	8,17
200	4,94	8,07	8,12
400	4,91	8,27	8,16
p>F (linear)	0,40	0,36	0,24
r² (linear %)	43,04	8,54	56,08
p>F (quadrática)	0,95	0,09	0,55
R² (quadrática %)	43,23	83,17	70,59

Nota: ns e **: não significativo e significativo a 1% pelo Teste F, respectivamente

Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Obs: DAE: dias após emergência

Fonte: Da própria autora.

3.3.1.3 Número de nós do caule

As plantas que foram submetidas ao estresse hídrico (1/3 CC) tiveram menor número de nós que as plantas na CC, aos 55 e 65 DAE (Tabela 4). Este resultado já era esperado, pois como houve redução da altura nas plantas sob condição de estresse (Tabela 2), 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.

Tabela 4- Números de nós de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses de silício e da disponibilidade de água no solo, Ilha Solteira, 2017.

Número de nós	35 DAE	55 DAE	65 DAE
		p>F	
Condições hídricas (H)	0,70 ^{ns}	0,01**	0,01**
Doses de Si (D)	0,65 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,78 ^{ns}
H * D	0,98 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,87 ^{ns}
CV(%)	6,99	13,73	16,013
Média geral	8,86	18,04	18,76
Condições hídricas			
Capacidade de campo (CC)	8,88 a	18,94 a	21,22 a
1/3 da CC	8,83 a	8,53 b	10,83 b
DMS	0,29	1,17	1,42
Doses de Si (mg.L⁻¹)			
0	8,66	13,00	15,58
50	8,75	12,91	16,16
100	8,92	14,16	15,58
150	8,83	14,50	17,50
200	8,91	14,00	16,16
400	9,08	13,83	15,16
p>F (linear)	0,09	0,36	0,63
r² (linear %)	86,25	21,06	5,32
p>F (quadrática)	0,77	0,16	0,17
R² (quadrática %)	88,85	70,72	48,95

Nota: ns e **: não significativo e significativo a 1% pelo Teste F, respectivamente

Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Obs: DAE: dias após emergência

Fonte: Da própria autora.

3.3.1.4 Número de ramos reprodutivos e de estruturas reprodutivas

O número de ramos reprodutivos e o número de estruturas reprodutivas (botão floral, flor e fruto) aos 65 DAE, foi melhor as plantas, sendo que as plantas submetidas a 1/3 da CC em comparação as plantas cultivadas na CC (Tabela 5).

Assim como para a altura, diâmetro e número de nós (Tabelas 2, 3 e 4), as doses de Si não foram significativas e não houve interação entre as doses de Si x condições hídricas.

Este resultado está de acordo com OOSTERHUIS (1992), nos quais o ambiente em que a planta está exposta afeta profundamente tanto a abscisão de folhas, quanto as estruturas reprodutivas. Segundo Kerbauy (2004) o estresse hídrico diminui o número e a taxa de crescimento dos ramos do algodoeiro.

Conforme Arruda *et al.* (2002), sob estresse hídrico comumente há redução da expansão foliar, da altura de plantas e do número de ramos reprodutivos por planta, o que se reflete em menor crescimento e produtividade do algodoeiro. As respostas da célula ao estresse hídrico

incluem mudanças no ciclo e divisões celulares, mudanças no sistema de endomembranas e vacuolização, bem como alterações na arquitetura da parede celular (TAIZ; ZIEGER, 2013)

A deficiência hídrica tem sido considerada um dos principais fatores ambientais que provocam a abscisão de estruturas reprodutivas em algodoeiro, justamente por causar acentuado estresse nas plantas (DOORENBOS; KASSAM, 1994). Vários Pesquisadores (MCMICHAEL *et al.*, 1973; GUINN; MAUNEY, 1984) têm verificado que o estresse hídrico reduz tanto a produção de flores como a retenção de maçãs. Situações de deficiência hídrica e estresse osmótico, provocam aumento tanto de etileno quanto de ácido abscísico hormônios que participam dos processos de amadurecimento e envelhecimento, como queda de folhas e frutos. Porém a relação entre estresse e metabolismo hormonal não é bem conhecida (LIMA, 2001).

Tabela 5 - Números de ramos reprodutivos de estruturas reprodutivas (botão floral, flor e fruto) de plantas de algodoeiro herbáceo aos 65 DAE, em função de doses de silício e da disponibilidade de água no solo, Ilha Solteira, 2017.

	Ramos reprodutivos	Estrutura reprodutiva
	p>F	
Condições hídricas (H)	0,01**	0,01**
Doses de Si (D)	0,61 ^{ns}	0,94 ^{ns}
H * D	0,94 ^{ns}	0,72 ^{ns}
CV(%)	14,54	38,66%
Média geral	23,15	8,66
Condições hídricas		
Capacidade de campo (CC)	19,03 a	14,02 a
1/3 da CC	10,05 b	3,30 b
DMS	1,59	1,58
Doses de Si (mg.L⁻¹)		
0	14,33	9,16
50	13,83	8,58
100	14,08	8,33
150	16,00	9,16
200	15,00	8,75
400	14,00	8,00
p>F (linear)	0,96	0,48
r² (linear %)	0,05	42,22
p>F (quadrática)	0,23	0,83
R² (quadrática %)	41,07	45,95

Nota: ns e **: não significativo e significativo a 1% pelo Teste F, respectivamente

Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Da própria autora.

3.3.1.5 Índice SPAD

Houve efeito das condições hídricas, aos 55 DAE, nas leituras SPAD (Tabela 6).

Não ocorreu efeito significativo e para as doses de Si e nem interação entre as doses de Si x condições hídricas.

Segundo Barbosa Filho *et al.* (2009) e Godoy *et al.* (2007), o índice SPAD mede a intensidade da cor verde da folha e estima a quantidade de clorofila. Ou seja, com base nos resultados acima, estima-se que aos 55 DAE tenha tido maior teor de clorofila incorporado em suas folhas em função da diferenciação hídrica.

Neves (2009) relatou que o índice SPAD fornece subsídio para explicar o comportamento de outras variáveis, uma vez que está relacionado ao conteúdo de clorofila na folha, um dos pilares centrais do complexo energético da planta. Logo, o índice SPAD é uma variável que quando sofre redução, não significa necessariamente que foi inibida a síntese de clorofila, e o aumento não é necessariamente devido ao acréscimo no estímulo da síntese de clorofila.

Tabela 6 - Índice SPAD de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses de silício e da disponibilidade de água no solo, Ilha Solteira, 2017.

Índice SPAD	35 DAE	55 DAE	65 DAE
		p>F	
Condições hídricas (H)	0,85 ^{ns}	0,001**	0,51 ^{ns}
Doses de Si (D)	0,46 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,92 ^{ns}
H * D	0,70 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,91 ^{ns}
CV(%)	11,56	10,29	12,65
Média geral	46,29	44,46	45,96
Condições hídricas			
Capacidade de campo (CC)	46,17 a	46,72 a	45,51 a
1/3 da CC	46,41 a	42,20 b	46,40 a
DMS	2,52	2,16	2,74
Doses de Si (mg.L⁻¹)			
0	44,21	45,72	46,58
50	47,77	46,15	46,07
100	46,25	42,34	44,60
150	46,63	43,97	45,14
200	47,93	42,29	46,49
400	44,93	46,29	46,84
p>F (linear)	0,85	0,81	0,69
r² (linear %)	0,75	0,54	11,10
p>F (quadrática)	0,10	0,11	0,50
R² (quadrática %)	59,62	69,92	43,15

Nota: ns e **: não significativo e significativo a 1% pelo Teste F, respectivamente
Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Obs: DAE: dias após emergência.
Fonte: Próprio autor.

3.3.1.6 Índice de Concentração de CO₂ interno

A concentração interna de CO₂ (C_i) não foi influenciada pelas condições hídricas, pelas doses de Si, e não houve interação entre as doses de Si x condições hídricas. Posto que as condições hídricas tenham influenciado nos parâmetros de crescimento (altura, diâmetro, número de nós, número de ramos reprodutivos e estruturas reprodutivas), estas não influenciaram no âmbito fotossintético.

Mesmo não tendo sido significativo pela análise estatística verificou-se que após as aplicações do Si, comparando a avaliação aos 35 DAE com a realizada aos 55 DAE a taxa de concentração de CO₂ interno na planta diminuiu, demonstrando-se que a mesma absorveu menos CO₂. Isso deve-se ao fato de que o Si se acumula na parede celular, espessando mais as folhas e com isso impedindo as trocas gasosas.

O Si é absorvido pelas plantas na forma de ácido monossilícico, sendo depositado nos tecidos vegetais na forma de sílica amorfa, principalmente nas paredes celulares, onde passa a interagir com compostos fenólicos e pectinas, aumentando a rigidez e a força estrutural das plantas (CURRIE; PERRY, 2007).

Na planta, o Si possibilita que se desenvolva uma barreira mecânica que impede a o acesso do patógenos em seus tecidos. Barreiras mecânicas envolvem mudanças na anatomia, como células epidérmicas mais espessas e maior grau de silicificação e/ou lignificação. A sílica amorfa ou “opala”, localizada na parede celular, tem efeitos sobre as propriedades físicas desta. (YOSHIDA, 1965).

As reduções registradas na concentração interna de CO₂ refletem as diminuições constatadas na taxa de assimilação de dióxido de carbono, o que se justifica pelo fato de que durante o processo de trocas gasosas, a absorção de CO₂ converge na perda de água e, em sentido contrário, a redução dessa perda de água restringe a assimilação de dióxido de carbono e conseqüentemente converge em menor concentração interna de CO₂ (SHIMAZAKI *et al.*, 2007). Acrescente-se que comportamento dessa natureza foi cientificado por Ferreira (2008) na cultura do algodoeiro sob aplicação de silício em solução nutritiva.

Tabela 7 - Concentração de CO₂ interno de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses de silício e da disponibilidade de água no solo, Ilha Solteira, 2017.

Concentração de CO ₂ (μmol mol ⁻¹)	35 DAE	55 DAE	65 DAE
		p>F	
Condições hídricas (H)	0,68 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,99 ^{ns}
Doses de Si (D)	0,98 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,99 ^{ns}
H * D	0,99 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,99 ^{ns}
CV(%)	84,15	148,16	112,52
Média geral	140,09	75,18	132,12
Condições hídricas			
Capacidade de campo (CC)	134,44 a	65,86 a	132,33 a
1/3 da CC	145,75 a	84,50 a	131,91 a
DMS	55,58	52,52	70,09
Doses de Si (mg.L⁻¹)			
0	143,25	51,00	115,41
50	118,5	113,75	135,75
100	153,91	81,41	134,41
150	147,00	64,75	138,66
200	134,50	100,16	132,41
400	143,41	40,00	136,08
p>F (linear)	0,88	0,42	0,82
r² (linear %)	3,16	16,02	25,84
p>F (quadrática)	0,94	0,29	0,80
R² (quadrática %)	3,84	44,86	58,00

Nota: ns e **: não significativo e significativo a 1% pelo Teste F, respectivamente

Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Obs: DAE: dias após emergência

Fonte: Da própria autora.

3.3.1.7 Índice de transpiração

Os dados de transpiração do algodoeiro (Tabela 8), não apresentaram significância para as condições hídricas e doses de Si, também não houve interação entre as doses de Si x condições hídricas. Porém, notou-se, tal fato do acúmulo de Si na parede celular e ocasionando o espessamento da mesma e fazendo com que ocorra menos trocas gasosas e consecutivamente menos transpiração.

Este resultado reitera a observação de Peixoto (2011) que afirmou que o Si pode otimizar alguns processos morfofisiológicos e bioquímicos desejáveis por aumentar de forma significativa o rendimento de algumas espécies cultivadas, notadamente, pelo acúmulo e polimerização de silicatos nas células epidérmicas formando uma dupla camada silício-cutícula que reduz de forma substancial a transpiração convergindo para um menor consumo hídrico.

Tabela 8 - Transpiração de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses de silício e da disponibilidade de água no solo, Ilha Solteira, 2017.

Transpiração (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	35 DAE	55 DAE	65 DAE
		p>F	
Condições hídricas (H)	0,93 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,50 ^{ns}
Doses de Si (D)	0,99 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,98 ^{ns}
H * D	0,99 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,99 ^{ns}
CV(%)	81,00	126,79	118,37
Média geral	2,22	1,38	1,19
Condições hídricas			
Capacidade de campo (CC)	2,24 a	1,35 a	1,30 a
1/3 da CC	2,20 a	1,41 a	1,08 a
DMS	0,30	0,82	0,66
Doses de Si (mg.L⁻¹)			
0	2,08	1,45	1,34
50	2,08	1,35	1,19
100	2,21	1,46	0,98
150	2,38	1,17	1,08
200	2,33	1,66	1,36
400	2,23	1,18	1,19
p>F (linear)	0,78	0,76	0,97
r² (linear %)	25,58	13,32	0,14
p>F (quadrática)	0,69	0,81	0,82
R² (quadrática %)	82,20	21,68	7,91

Nota: ns e **: não significativo e significativo a 1% pelo Teste F, respectivamente

Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Obs: DAE: dias após emergência

Fonte: Da própria autora.

3.3.1.8 Índice de condutância estomática

A condutância estomática das plantas de algodoeiro, não foi influenciada pelas condições hídricas, pelas doses de Si, e não houve interação entre as doses de Si x condições hídricas (Tabela 9). Entretanto, aos 55 e aos 65 DAE a taxa de condutância estomática apresentou médias menores comparadas aos 35 DAE onde a planta possuía uma menor concentração de Si. Como foi mencionado, o Si acumula-se na parede celular, espessando-a, com isso diminuindo sua taxa de transpiração e trocas gasosas, fazendo com que a mesma também tenha uma menor condutância, pois são efeitos subsequentes.

A avaliação da condutância estomática constitui-se em uma importante ferramenta no monitoramento da dinâmica de crescimento das culturas. Isso porque, de acordo com Paiva *et al.* (2005), a condutância estomática regula as trocas gasosas e, portanto, possui relação direta com o processo fotossintético e consequente crescimento e desenvolvimento das plantas.

Ferreira (2008) trabalhando com aplicação de silício na cultura do algodoeiro e salientou que a redução da condutância estomática se reflete em menor transpiração e conseqüentemente menor perda de água pelas plantas, conferindo às mesmas maior resistência ao estresse hídrico. Essa informação justifica a correlação significativa entre a condutância estomática e a transpiração das plantas avaliadas.

Tabela 9 - Condutância estomática de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses de silício e da disponibilidade de água no solo, Ilha Solteira, 2017.

Condutância estomática (mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	35 DAE	55 DAE	65 DAE
		p>F	
Condições hídricas (H)	0,69 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,32 ^{ns}
Doses de Si (D)	0,90 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,95 ^{ns}
H * D	0,88 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,93 ^{ns}
CV(%)	94,24	158,61	145,91
Média geral	0,32	0,12	0,13
Condições hídricas			
Capacidade de campo (CC)	0,33 a	0,11 a	0,14 a
1/3 da CC	0,30 a	0,13 a	0,10 a
DMS	0,14	0,09	0,09
Doses de Si (mg.L⁻¹)			
0	0,25	0,12	0,15
50	0,25	0,10	0,10
100	0,34	0,14	0,10
150	0,36	0,10	0,10
200	0,35	0,17	0,15
400	0,32	0,07	0,13
p>F (linear)	0,50	0,66	0,88
r² (linear %)	27,95	9,82	2,04
p>F (quadrática)	0,35	0,39	0,73
R² (quadrática %)	83,55	47,46	13,35

Nota: ns e **: não significativo e significativo a 1% pelo Teste F, respectivamente

Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Obs: DAE: dias após emergência

Fonte: Da própria autora.

3.3.1.9 Índice de fotossíntese

A taxa de fotossíntese das plantas de algodoeiro, não foram influenciadas pelas condições hídricas, pelas doses de Si, e não houve interação entre as doses de Si x condições hídricas (Tabela 10). Mesmo não apresentando um efeito significativo, os dados da primeira avaliação aos 35 DAE para a segunda e terceira avaliação a taxa de fotossíntese foi menor, com todos os parâmetros envolvendo a fotossíntese diminuindo, seria de se esperar que esse fato ocorreria. Outro fato a se levar em consideração é que

plantas mais velhas possuem mais folhas e com isso aumentam a área de sombreamento, o que também faz com que a determinação da fotossíntese seja afetada.

Tabela 10 - Fotossíntese de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses de silício e da disponibilidade de água no solo, Ilha Solteira, 2017.

Fotossíntese ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	35 DAE	55 DAE	65 DAE
		p>F	
Condições hídricas (H)	0,57 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,41 ^{ns}
Doses de Si (D)	0,98 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,71 ^{ns}
H * D	0,99 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,75 ^{ns}
CV(%)	84,98	145,34	144,10
Média geral	14,67	8,36	5,31
Condições hídricas			
Capacidade de campo (CC)	15,49 a	8,94 a	6,05 a
1/3 da CC	13,85 a	7,78 a	4,56 a
DMS	5,88	5,73	3,61
Doses de Si (mg.L^{-1})			
0	13,87	12,20	8,30
50	16,36	4,62	4,95
100	13,09	9,12	3,93
150	14,52	5,82	4,31
200	16,04	10,57	6,25
400	14,16	7,82	4,10
p>F (linear)	0,97	0,81	0,39
r² (linear %)	0,11	1,71	25,10
p>F (quadrática)	0,83	0,71	0,53
R² (quadrática %)	7,38	5,91	38,25

Nota: ns e **: não significativo e significativo a 1% pelo Teste F, respectivamente

Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Obs: DAE: dias após emergência

Fonte: Da própria autora.

3.3.1.10 Teor de Si na raiz, caule e folha

De acordo com os dados apresentados na (Tabela 11), em relação a condição ou nível de água no solo, foi possível verificar que não houve efeito significativo em no teor de Si nas partes das plantas e nem na interação entre as doses de Si x condições hídricas, mas nas doses de Si não foram significativas, mostrando que a planta acumula Si conforme se aumenta as doses na aplicação na planta.

Pode-se observar que o Si ficou mais presente na folha, seguida pelo caule, estrutura reprodutiva e depois raiz. Com isso, afirma-se que o Si fica acumulado na folha, mas especificamente na parede celular como pode já foi mencionado bastante neste trabalho.

O Si, ao ser absorvido pelas plantas, é facilmente translocado no xilema, e tem tendência natural a se polimerizar. Mais de 94% do Si absorvido pelo trigo foi transportado rapidamente para a parte aérea, concentrando-se nas folhas mais velhas, as quais continham até 11,8% de Si. Em plantas de pepino, ao ser interrompido o suprimento de Si na solução, as folhas superiores apresentaram concentração de Si marcadamente menor que as inferiores, indicando baixa translocação desse elemento na planta, igualmente ao que acontece com o Ca (Barber & Shone, 1966).

A distribuição dos depósitos de Si nas plantas depende da espécie vegetal e das condições climáticas do ambiente onde ela cresce (Wrang et. al., 1998). Em ambientes como do "cerrado", segundo dados apresentados por Oliveira & Castro (2002), a acumulação de Si nos órgãos de transpiração provoca a formação de uma dupla camada de sílica, o que causa redução da transpiração por diminuir a abertura dos estômatos limitando a perda de água (Takahashi, 1995; Korndörfer *et al.* 1999; Faria, 2000).

Tabela 11- Teor de Si em diferentes nas partes da planta de algodoeiro herbáceo em função de doses de silício e da disponibilidade de água no solo, Ilha Solteira, 2017.

Teor de Si (g/kg)	Raiz	Caule	Folha	Est. reprodutiva
		p>F		
Condições hídricas (H)	0,34 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,12 ^{ns}
Doses de Si (D)	0,44 ^{ns}	0,01**	0,01**	0,01**
H * D	0,42 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,15 ^{ns}
CV(%)	87,17	88,25	11,57	65,87
Média geral	1,63	2,46	3,89	1,46
Condições hídricas				
Capacidade de campo (CC)	1,39 a	2,46 a	3,78 a	1,46 a
1/3 da CC	1,85 a	2,55 a	4,01 a	1,48 a
DMS	0,48	0,21	0,35	0,38
Doses de Si (mg.L⁻¹)				
0	1,25	2,26	3,15	1,41
50	1,36	2,38	3,39	1,44
100	1,32	2,34	3,29	1,42
150	1,38	2,35	3,77	1,57
200	1,37	2,35	3,73	1,59
400	1,42	2,37	3,49	1,59
p>F (linear)	0,42	0,33	0,14	0,73
r² (linear %)	0,52	0,57	2,26	0,22
p>F (quadrática)	0,38	0,47	0,85	0,79
R² (quadrática %)	0,62	0,47	22,38	0,81

Nota: ns e **: não significativo e significativo a 1% pelo Teste F, respectivamente

Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Da própria autora.

3.4 Conclusões

A altura da planta, diâmetro do caule, número de nós, número de ramos reprodutivos e número de estruturas reprodutivas são afetados, de maneira negativa pelo déficit hídrico ao qual o algodoeiro foi submetido.

O tratamento sem déficit hídrico (irrigado todo o ciclo) promoveu maior altura, diâmetro, número de nós, número de ramos reprodutivos e número de estruturas reprodutivas por planta.

A fotossíntese, condutância estomática, transpiração e conteúdo interno de CO₂ foram reduzidos com a utilização de doses de silício.

O algodoeiro mostrou-se uma planta que acumulou Si conforme se aumenta as doses aplicadas, sendo os maiores teores na folha, seguida do caule.

4 EXPERIMENTO 2. Fazenda de Pesquisa e Extensão

4.1 Introdução

No Brasil, a cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é uma das mais importantes atividades agrícolas da atualidade (CHITARRA, 2007). Apesar de, atualmente, a produção de algodão brasileiro concentrar-se na região do cerrado, Beltrão (2003) afirma que a cultura também é uma boa opção para o cultivo de sequeiro com o clima semiárido do Nordeste brasileiro, pois, apesar da pouca e irregular precipitação pluvial, possui capacidade de resistir à seca e produzir, com pouca água, uma das melhores fibras do mundo, em termos de qualidade intrínseca.

Planta de elevada complexidade morfofisiológica, o algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. raça *Latifolium* Hutch.) apresenta metabolismo fotossintético C3, pouco eficiente e ao longo do crescimento, seus órgãos vegetativos competem com os órgãos reprodutivos pelos fotoassimilados (BELTRÃO *et al.* 2008). É muito sensível aos estresses anoxícticos e hipoxícticos, apresenta ajustamento osmótico, além de outros mecanismos fisiológicos e bioquímicos, para resistência à seca e é, sabidamente, uma planta cultivada resistente aos sais do solo, até a condutividade elétrica de 9,0 dS m⁻¹, para perder pouco na capacidade de produção (em média de 20%) (BELTRÃO, 2006b). Segundo Carvalho *et al.* (2008), não é uma planta esgotante do solo, pois a quantidade de nutrientes retirada da lavoura pela fibra e pelas sementes é relativamente pequena, se comparada ao que é extraído por outras culturas de importância econômica.

Mais de 60 elementos podem ser encontrados nas plantas e são classificados nas categorias de essenciais, benéficos ou tóxicos, conforme o efeito que causam no desenvolvimento do vegetal (KORNDÖRFER, *et al.* 2001). O silício é encontrado na natureza na forma de silicatos e, principalmente de sílica. É um elemento extremamente abundante na crosta terrestre (sobrepujado apenas pelo oxigênio) (LIMA FILHO, 2010). Apesar disso, mesmo sabendo que a maioria dos solos contém consideráveis quantidades de Si, cultivos intensivos podem reduzir rapidamente o teor deste elemento no solo (KORNDÖRFER, 2006).

Os silicatos são as principais fontes de silício para a agricultura. Um número grande de materiais tem sido utilizado como fontes de silício para as plantas, dentre os quais se destacam, as escórias de siderurgia, a vollastonita, subprodutos da produção de fósforo elementar, o silicato de cálcio, o silicato de sódio, o cimento, o termofosfato, o silicato de magnésio (serpentinó) e o silicato de potássio. A vollastonita é um silicato de

cálcio muito empregado em experimentação como fonte de silício. As escórias de siderúrgicas são as fontes mais abundantes e mais utilizadas de silicatos na agricultura (KORNDÖRFER; OLIVEIRA, 2010).

Nas plantas, o silício se concentra nos tecidos de suporte, no caule e nas folhas, podendo ser encontrado em pequenas quantidades nos grãos (KORNDÖRFER, 2007). É depositado como sílica amorfa hidratada, principalmente no retículo endoplasmático, em espaços intercelulares e paredes celulares (TAIZ e ZEIGER, 2004).

4.2 Material e Métodos

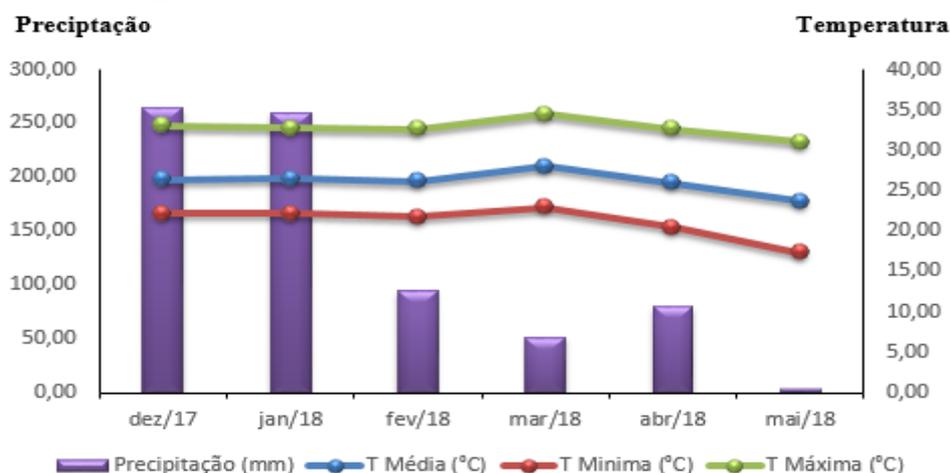
4.2.1 Descrição dos tratamentos

O trabalho foi realizado em área experimental pertencente à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Unesp, localizada no município de Selvíria – MS (região de Cerrado), com coordenadas geográficas de latitude 20° 22’S e longitude de 51° 22’, com altitude de 335 m, e clima definido como tropical chuvoso, segundo Köppen. O solo do local pertence à classe LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso. A precipitação média anual é de 1.370 mm, a temperatura média anual é de 23,5° C e a umidade relativa do ar está entre 70% e 80% (variação anual).

4.2.2 Precipitação e temperatura

Durante o ensaio experimental foram coletados dados da precipitação e temperatura mensal para o Município de Selvíria-MS (Figura 1).

Figura 2 – Dados climáticos obtidos no período de dezembro de 2017 a maio de 2018 para o ano agrícola 2017/18. Selvíria-MS.



Fonte: Da própria autora.

4.2.3 Características do solo

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico muito argiloso, conforme classificação brasileira dos solos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA- EMBRAPA, 1999). Foi realizada amostragem de solo para caracterização das propriedades químicas seguindo a metodologia de análise descrita por Raij e Quaggio (1983), cujos resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 12- Resultados da análise química do solo da área experimental na profundidade de 0,0- 0,20 cm. Selvíria-MS, 2017.

Presina	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V
mg/dm ³	g/dm ³	(CaCl ₂)	mmolc/dm ³						(%)
11	26	4,7	2,5	13	11	42	2	68,5	39

Fonte: Da própria autora.

4.2.4 Preparo do solo e adubação

A área utilizada para o trabalho, antes estava com a cultura do algodoeiro em semeadura convencional. Em novembro de 2017 foi realizado o preparo do solo, numa profundidade de 30 cm, mediante a utilização arado de aiveca e grade. Juntamente com a operação de gradagem e para elevar a saturação por bases a 70% (SILVA; RAIJ, 1997) foi realizada a aplicação de 1,4 t ha⁻¹ de calcário de acordo com análise previa do solo (Tabela 1).

A adubação de semeadura com NPK foi calculada de acordo com as características químicas do solo e levando-se em consideração as recomendações de Silva e Raij (1997), sendo assim foram aplicados 350 kg ha⁻¹ da formula 04-30-10. A adubação de cobertura foi realizada de forma parcelada aos 30 e 40 DAE, com 30 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia.

4.2.5 Instalação do experimento e delineamento experimental

O experimento foi instalado no ano agrícola 2017/2018, e a semeadura foi realizada no dia 05/12/17 em sistema de plantio convencional e a emergência das plantas ocorreu após dez dias. Utilizou-se para o plantio o genótipo de algodoeiro herbáceo TMG 11 WS, de ciclo tardio e porte alto (TMG CULTIVARES, 2017).

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, em esquema fatorial 6x2 totalizando 12 tratamentos, com 4 repetições, perfazendo um total 48 parcelas. Os tratamentos foram constituídos por 5 doses de Si (50, 100, 150, 200 e 400 g ha⁻¹) e as plantas testemunhas (0,0 sem Si) e dois sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado). Cada parcela experimental foi constituída por oito linhas, com 4 m de comprimento e espaçamento de 0,9 m, sendo considerado como a área útil as quatro fileiras centrais. O espaçamento entre as parcelas foi de 1 m. As aplicações das doses de Si foram realizadas via foliar aplicado diretamente nas plantas de algodoeiro com pulverizador costal de pressão constante, a base de CO₂, munido de pontas de pulverização modelo XR11002 calibrado a pressão de 3,0 bar e parcelado em duas aplicações realizadas aos 50 e 70 dias após a emergência (DAE).

As irrigações foram realizadas por um sistema de aspersão convencional fixo, com espaçamento entre os aspersores de 6 x 6 m, intensidade de aplicação de 3,3 mm hr⁻¹. A evaporação de água (ECA) foi obtida diariamente do tanque Classe A, instalado no Posto Meteorológico situado a aproximadamente 500 m da área experimental. O coeficiente do tanque Classe A (Kp) utilizado foi o proposto por Doorenbos e Pruitt (1976) o qual é função da área circundante, velocidade do vento e umidade relativa do ar. Posteriormente multiplicou-se os valores do (KP) com a (ECA) obtendo-se a evapotranspiração de referência (ETO). A evapotranspiração da cultura (ETc) foi determinada multiplicando-se os valores do coeficiente da cultura (Kc) pelo (ETO). No manejo de água foram utilizados quatro coeficientes de cultura do algodoeiro (Kc), distribuídos entre a emergência e a colheita (Allen *et al.*, 1998). A reposição de água era realizada quando a (ETc) acumulada atingia os valores próximos da água disponível do solo (ADS) pré-estabelecidos.

Até os 40 DAE as plantas não necessitaram do manejo da irrigação devido ao excesso de chuva nesse período (dezembro/janeiro) apresentado na Figura 1. Aos 41 DAE iniciou-se a separação dos sistemas (sequeiro e irrigado), sendo que a água era repostada (100% ETc) no sistema irrigado, realizada em média a cada 5 dias. As irrigações foram suspensas quando a cultura apresentou 70% dos capulhos abertos, aproximadamente aos 120 DAE.

Iniciou-se aos 60 DAE as avaliações da altura de cinco plantas escolhidas ao acaso e marcadas para avaliações em intervalos de 20 dias. As avaliações das trocas gasosas foram realizadas aos 90 DAE, para tanto utilizou-se um analisador de gás infravermelho IRGA (ADC BioScientific Ltd, modelo LC-Pro), onde foram mensuradas as taxas de

fotossintética líquida (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), e a concentração interna de CO_2 na câmara subestomática (C_i - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), eficiência do uso da água ($\text{EUA} = A/E$), eficiência intrínseca do uso da água ($\text{EiUA} = A / g_s$), eficiência instantânea de carboxilação ($\text{EiC} = A/C_i$) e a razão entre concentrações de CO_2 intra/extracelular (C_i/C_a). As condições iniciais impostas para realização das medidas foram de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), providas por lâmpadas LED; 380 ppm de CO_2 e temperatura da câmara em 28°C . As medidas de trocas gasosas foram realizadas no período da manhã compreendido entre as 8:00 e 12:00 h, tomando-se a 2ª ou 3ª folha adulta, completamente expandida, do ápice do ramo. Ao final do ciclo (140 DAE) foram avaliados os componentes para produção: número de capulhos por planta, massa de 20 capulhos e produtividade de algodão em caroço.

4.2.6 Controle de plantas daninhas

O controle de plantas daninhas foi realizado através de manejo químico e por capinas manuais. Aos 33 DAE foi realizada aplicação do herbicida pyriithiobac-sodium, utilizando-se pulverizador acoplado a um trator, em toda área do ensaio, na dose de $0,3\text{L ha}^{-1}$ da formulação comercial. As capinas manuais foram realizadas à medida que as mesmas emergiam.

4.2.7 Controle fitossanitário

O controle de pragas foi realizado tendo em vista o bom desenvolvimento das plantas de algodoeiro, durante todo o ciclo da cultura, de modo que não interferissem nos tratamentos em estudo. As principais pragas encontradas e controladas foram: mosca branca (*Bemisiata baci*) e bicudo (*Anthonomus grandis*).

4.2.8 Colheita

Em maio de 2018, aos 136 DAE, foi realizada a colheita de forma manual, das duas linhas centrais de cada parcela, para quantificar a produção de algodão em caroço, que foram pesados com auxílio de balança digital. Após a colheita do algodão, foi

realizada a destruição da soqueira do algodoeiro com auxílio de roçadora acoplada a um trator.

Figura 3- Visão geral do experimento conduzido em campo, aos 87 dias após a emergência (DAE). Selvíria, 2018.



Fonte: Da própria autora.

4.2.9 Variáveis analisadas

4.2.9.1 Características agronômicas

As características agronômicas foram avaliadas em três plantas que foram escolhidas ao acaso em cada parcela e marcadas, sendo avaliadas periodicamente. As avaliações tiveram início imediatamente antes da aplicação das doses de silício, aos 60 DAE, e em intervalos de 20 dias após a aplicação. Foram avaliadas:

Altura da planta (cm): Medição feita do solo ao ápice da planta com o auxílio de uma trena fixa a um suporte de madeira, aos 60, 80, 100 e 120 DAE.

Diâmetro do caule (mm): Medido na altura de 2 cm em relação ao solo, realizado com o auxílio de um paquímetro.

Número de nós: Contagem do número total de nós do caule a cada medição da altura do algodoeiro.

Ao final do ciclo foram avaliados os componentes para produção:

Massa de 20 capulhos (g): Colhidos aleatoriamente no terço médio das plantas e posteriormente pesados com auxílio de balança digital.

Produtividade de algodão em caroço: Colheita das linhas centrais de forma manual, pesagem e estimativa para produtividade em Kg. ha⁻¹.

Análise de tecido foliar: a análise foliar do algodoeiro foi realizada através de coleta de 20 folhas de cada parcela experimental (limbo da 5^a folha da haste principal), aos oitenta dias após a emergência, de acordo com as recomendações de SILVA (1999), no sentido de verificar o efeito dos tratamentos estudados na concentração de nutrientes. Após a coleta, as folhas foram submetidas à secagem em estufa com circulação e renovação de ar, moídas e encaminhadas ao laboratório de análise de tecido vegetal do Departamento de Fitotecnia da FEIS/Unesp/Ilha Solteira, onde seguiram as metodologias relatadas por Bataglia *et al.* (1983), Embrapa, (1999), Malavolta *et al.* (1997) para a determinação dos macronutrientes e micronutrientes.

Avaliação dos caracteres anatômicos do limbo foliar: foram tomadas as porções do terço médio do limbo foliar, compreendendo as regiões da nervura central e internervural, fixando-as em FAA 50 (formaldeído + ácido acético glacial + álcool 50%), durante 48 h, e posteriormente foram conservadas em álcool 70% (JOHANSEN, 1940).

Com relação à quantificação das estruturas anatômicas presentes no limbo foliar, foram avaliados os seguintes caracteres quantitativos das regiões da nervura central e internervural: Epiderme das faces adaxial e abaxial, Parênquima paliçádico, lacunoso e esclerênquima.

As fotomicrografias foram feitas em fotomicroscópio, com as escalas micrométricas fotografadas e ampliadas nas mesmas condições ópticas utilizadas.

Também foi utilizado microscópio trinocular Leica DM LB, acoplado na câmera devido o modelo Leica DC 300 F, sendo que as imagens foram capturadas no microcomputador.

4.2.9.2 Características tecnológicas da fibra

Procedeu-se a análise de fibra no laboratório da seção de tecnologia de fibras da Associação Sul- Mato- Grossense dos produtores de algodão (AMPASUL), no Chapadão do Sul, no aparelho HVI da Zellweger Uster/ Spinlab série 900. Os 20 capulhos colhidos anteriormente, após a pesagem, foram utilizados para a realização das seguintes análises: comprimento de fibra ("), uniformidade de comprimento (%), índice de maturação (%), índice de fiabilidade (CSP), índice de consistência de fiação (SCI), índice de fibra curta (%), resistência (gf/Tex), reflectância (%) e grau de amarelecimento (+b).

4.2.9.3 Análises laboratoriais

Para todas as análises fisiológicas e bioquímicas foram utilizadas somente folhas adultas, completamente expandidas, do ápice da planta (2ª a 4ª folha) sem sinais de senescência, de três plantas por parcela, coletadas aos 80 DAE. O material vegetal foi macerado em nitrogênio líquido, acondicionado em folhas de alumínio e armazenado no freezer a -80°C para a realização das análises.

4.2.10 Medidas fotossintéticas

A Taxa fotossintética líquida expressa por área (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a concentração interna de CO_2 na câmara subestomática (C_i - $\mu\text{mol mol}^{-1}$), foram avaliadas utilizando-se um equipamento portátil de trocas gasosas, (Infra Red Gas Analyser –IRGA, marca ADC BioScientific Ltd, modelo LC-Pro), sendo as condições inicialmente impostas para realização das medidas de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), providas por lâmpadas LED; 380 ppm de CO_2 e temperatura da câmara em 28°C. As medições de trocas gasosas foram realizadas um dia após as aplicações do CM, aos 51, 61 e 71 DAE, em dias ensolarados, no período compreendido entre as 8:00 e 12:00h, tomando-se a 2ª ou 3ª folha adulta, completamente expandida, do ápice do ramo. Utilizou-se os resultados obtidos da área foliar total dos genótipos para estimar os valores das medidas fotossintéticas na planta inteira, aplicando-se a seguinte regra:

MFPI: $(P) * AFT / (6,25)$

Em que, MFPI: medidas fotossintéticas na planta inteira.

(P): parâmetro a ser calculado, substituído pelo valor da fotossíntese líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (g_s) ou concentração interna de CO₂ (C_i).

6,25 = área da câmara interna do equipamento (cm²).

4.2.11 Análise dos dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância através do teste F ao nível de significância de 5%, utilizando a metodologia descrita por Gomes (2000), utilizando-se o programa de análises estatísticas SISVAR (FERREIRA, 2000). Para os resultados significativos, foram aplicados modelos de regressão e teste de Tukey que melhor se ajustaram aos efeitos obtidos.

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Ano agrícola 2018/2019

4.3.1.1 Altura de plantas

De acordo com os dados apresentados na (Tabela 13), em relação ao nível de água no solo, foi possível verificar que houve efeito significativo, constatou que as plantas que foram submetidas ao estresse hídrico (sequeiro) tiveram alturas inferiores as que não estavam (irrigadas). As doses de Si influenciaram a altura das plantas e de acordo com as equações obtidas, na dose calculada de 100 ha⁻¹ e a testemunha (sem silício) obteve-se a maior redução para a altura das plantas. Observou-se que a altura da cultivar foi significativo nas doses de silício com aplicação foliar ($p < 0,01$) e não houve interação entre as doses de Si x Condições hídricas.

O efeito do silício no organismo vegetal torna-se evidente em plantas cultivadas sob estresse, seja ele de natureza biótica ou abiótica (CURRIE; PERRY, 2007). Existe uma tendência natural de otimização no processo de crescimento das plantas sob aplicação desse elemento, notadamente, por potencializar o aumento dos níveis de enzimas oxidantes, capacidade fotossintética e por criar condições para bom crescimento e desenvolvimento pleno das culturas (ZUCCARINI, 2008).

Este comportamento do algodoeiro herbáceo em resposta à aplicação de silício, pode ser considerado típico, pois, a aplicação de silício aumenta a capacidade fotossintética refletindo-se no crescimento das culturas (BORGES *et al.*, 2010).

A diferença de altura entre as plantas irrigadas e não irrigadas é decorrente de insuficiência hídrica que provoca decréscimo na turgescência celular, diminuindo o crescimento por alongamento (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Tabela 13- Altura (cm) de plantas de algodoeiro herbáceo, genótipo TMG 11 WS em função de doses de silício e da disponibilidade de água. Selvíria – MS, ano agrícola 2017/2018.

Altura (cm)	60 DAE	80 DAE	100 DAE	120 DAE
	p>F			
Condições hídricas (H)	0,01**	0,01**	0,01**	0,01**
Doses de Si (D)	0,01**	0,01**	0,01**	0,01**
H * D	0,32 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,72 ^{ns}
CV(%)	5,48	6,29	6,19	6,10
Média geral	111,24	119,69	121,55	123,24
Condições hídricas				
Irrigada	117,36 a	125,08 a	127,03 a	128,77 a
Não irrigada	105,11 b	114,31 b	116,08 b	117,69 b
DMS	4,21	5,20	5,19	5,75
Doses de Si (Kg.ha⁻¹)				
0	106,00	107,92	109,08	110,16
50	113,08	123,50	125,50	127,30
100	115,17	124,17	126,18	127,96
150	115,75	123,92	125,88	127,71
200	112,58	122,92	124,95	126,72
400	104,83	115,75	117,81	119,55
p>F (linear)	0,16	0,73	0,64	0,56
r² (linear %)	11,65	0,52	0,90	1,27
p>F (quadrática)	0,01 ⁽¹⁾	0,01 ⁽²⁾	0,01 ⁽³⁾	0,01 ⁽⁴⁾
R² (quadrática %)	85,69	70,63	70,06	69,63

Equações Polinomiais

$$^{(1)}Y = 0,081761x^2 - 0,000226x + 107,807243$$

$$^{(3)}Y = 0,137004x^2 - 0,000321x + 113,574297$$

$$^{(2)}Y = 0,130853x^2 - 0,000309x + 112,170493$$

$$^{(4)}Y = 0,142294x^2 - 0,000331x + 114,861569$$

Nota: ns, * e **: não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% pelo Teste F, respectivamente
Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Obs: DAE: dias após emergência

4.3.1.2 Diâmetro do caule

Pelos resultados apresentados na Tabela 14 foi possível constatar que as doses crescentes de silício nos algodoeiros herbáceos não proporcionaram alterações significativas no diâmetro do caule nas várias datas de avaliação. Nas condições hídricas, observaram-se diferenças estatisticamente sendo que a menor espessura do diâmetro ocorreu com as plantas em estresse hídrico e maiores espessuras em condições irrigadas e não houve interação entre as doses de Si x Condições hídricas.

Observa-se que, na medida em que as plantas ganhavam altura, ocorreu ganho diretamente proporcional em diâmetro caulinar. Assim, quando há essa relação estimada possibilitam conhecer as associações entre os caracteres, fornecendo importantes informações para o estabelecimento de um plano de melhoramento genético (RODRIGUES *et al.*, 2010), podendo ser aplicado para otimização na cadeia produtiva da cultura do algodoeiro.

Verifica-se que a maior média nas doses de silício para altura e diâmetro está relacionado com a dose de 100 kg.ha⁻¹ e os menores diâmetros também está relacionado com a testemunha que não teve nenhuma aplicação com silício.

O acúmulo de silício na célula epidérmica, bem como o aumento da solubilidade deste na folha (HANISH, 1980), forma uma barreira mecânica (BLUM, 1986) denominada “dupla camada silício-cutícula”, ajudando no aumento e espessura da planta como um todo.

O diâmetro das plantas decresceu do sequeiro para o irrigado, como decorrência natural das condições hídricas desfavoráveis para divisão e alongamento celular, afetando, sobretudo o câmbio caulinar (RAVEN *et al.*, 2001; TAIZ; ZEIGER, 2004).

O incremento do diâmetro do caule, constatado em função das lâminas de irrigação, veio confirmar fatos semelhantes relatados por outros autores (Souza, 1999; Souza *et al.*, 1999), os quais detectaram diferenças significativas para os valores de diâmetro do caule obtidos em plantas irrigadas, em comparação com outras sem irrigação.

Tabela 14- Diâmetro (cm) de plantas de algodoeiro herbáceo, genótipo TMG 11 WS em função de doses de silício e da disponibilidade de água. Selvíria – MS, ano agrícola 2017/2018.

Diâmetro (mm)	60 DAE	80 DAE	100 DAE	120 DAE
	p>F			
Condições hídricas (H)	0,04*	0,01**	0,02*	0,03*
Doses de Si (D)	0,31 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,16 ^{ns}
H * D	0,95 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,62 ^{ns}
CV(%)	8,00	7,59	8,03	7,49
Média geral	15,37	17,23	19,23	21,25
Condições hídricas				
Irigada	16,01 a	17,85 a	19,84 a	21,84 a
Não irrigada	14,72 b	16,62 b	18,61 b	20,66 b
DMS	0,84	0,90	1,07	1,10
Doses de Si (Kg. ha⁻¹)				
0	15,19	16,80	18,31	20,31
50	15,22	17,17	18,90	20,90
100	16,11	18,44	20,59	22,59
150	15,64	17,14	19,67	21,67
200	15,59	16,94	18,45	20,45
400	14,44	16,93	19,42	20,58
p>F (linear)	0,18	0,64	0,58	0,47
r² (linear %)	29,40	3,36	3,37	6,22
p>F (quadrática)	0,08	0,34	0,38	0,46
R² (quadrática %)	81,60	15,03	12,11	12,67

Nota: ns, * e **: não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% pelo Teste F, respectivamente Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Obs: DAE: dias após emergência.

Fonte: Da própria autora.

4.3.1.3 Número de nós do caule

As plantas que foram submetidas ao estresse hídrico (sequeiro) tiveram menor número de nós que as plantas irrigadas. Este resultado conforme a literatura, era-se esperado, pois como houve redução da altura nas plantas sob condição de estresse (Tabela 15), conseqüentemente 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.

Tabela 15- Número de nós do caule de plantas de algodoeiro herbáceo, genótipo TMG 11 WS em função de doses de silício e da disponibilidade de água. Selvíria – MS, ano agrícola 2017/2018.

Número de nós	60 DAE	80 DAE	80 DAE	120 DAE
	p>F			
Condições hídricas (H)	0,01**	0,01**	0,01**	0,01**
Doses de Si (D)	0,18 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,19 ^{ns}
H * D	0,40 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,41 ^{ns}
CV(%)	6,55	5,76	5,13	4,38
Média geral	14,47	16,47	18,29	20,47
Condições hídricas				
Irrigada	15,11 a	17,11 a	19,15 a	21,19 a
Não irrigada	13,83 b	15,83 b	17,91 b	19,79 b
DMS	0,65	0,66	0,71	0,68
Doses de Si (Kg. ha⁻¹)				
0	14,33	16,33	18,33	20,08
50	14,33	16,33	18,33	20,09
100	14,33	16,33	18,33	20,10
150	15,33	17,33	19,23	21,12
200	14,66	16,67	18,66	20,14
400	13,83	16,83	17,79	19,91
p>F (linear)	0,38	0,34	0,39	0,42
r² (linear %)	9,42	9,43	9,42	9,52
p>F (quadrática)	0,05	0,04	0,05	0,07
R² (quadrática %)	61,43	61,49	61,53	61,58

Nota: ns, * e **: não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% pelo Teste F, respectivamente Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Obs: DAE: dias após emergência.

Fonte: Da própria autora.

4.3.1.4 Índice SPAD

Houve efeito das condições hídricas, em que as plantas que estavam em condições de sequeiro apresentaram menores índices nas leituras SPAD do que as plantas q estavam irrigadas (Tabela 16).

Não ocorreu efeito significativo para as doses de Si e nem interação entre as doses de Si x condições hídricas.

O medidor de clorofila SPAD-502 pode ser utilizado em plantas intactas em qualquer momento do processo de crescimento das folhas e os valores obtidos podem ser descritos como índice, valor ou leitura SPAD (MINOLTA, 1989). Alguns pesquisadores têm demonstrado a existência de relação entre índice de esverdeamento e o teor de clorofila da folha em várias espécies de plantas, como citrus (JIFON *et al.*, 2005), café (TORRES NETTO *et al.*, 2005), e em folhas de diversos cereais como milho (ROSTAMI *et al.*, 2008; AMARANTE *et al.*, 2010), trigo, arroz e aveia (ARGENTA *et al.*, 2001). De acordo com Silva *et al.* (2013), uma boa associação entre o índice SPAD e o conteúdo de clorofila em plantas submetidas a vários regimes hídricos tem sido relatada a longo tempo de seca, cerca de 90 dias, tiveram redução no índice SPAD, sendo mais severa em genótipos susceptíveis.

As clorofilas desempenham papel importante na fotossíntese, sendo responsáveis pela captação de energia luminosa, destacando-se a clorofila a como o principal pigmento dos complexos coletores de luz (LHC) para as reações fotoquímicas (TAIZ; ZEIGER, 2009). Assim como ocorreu para clorofila a degradação da clorofila b é uma das consequências da deficiência hídrica, que pode levar à foto-inibição e diminuição da eficiência fotossintética, além de afetar outros processos celulares como a divisão e expansão celular (LONG *et al.*, 1994). Portanto, é esperado que cultivares que mantenham maiores conteúdo desses pigmentos sob deficiência hídrica, têm melhor capacidade de tolerar essa condição, devido à estreita relação entre clorofilas, potencial fotossintético e produtividade (O'NEILL *et al.*, 2006).

Tabela 16 - Índice de SPAD em folhas de algodoeiro herbáceo, genótipo TMG 11 WS em função de doses de silício e da disponibilidade de água. Selvíria – MS, ano agrícola 2017/2018.

Índice SPAD	60 DAE	100 DAE
	p > F	
Condições hídricas (H)	0,01**	0,01**
Doses de Si (D)	0,56 ^{ns}	0,88 ^{ns}
H * D	0,76 ^{ns}	0,36 ^{ns}
CV(%)	3,98	4,85
Média geral	53,28	58,06
Condições hídricas		
Irrigada	53,88 a	61,37 a
Não irrigada	52,66 b	54,75 b
DMS	1,47	1,95
Doses de Si (Kg. ha⁻¹)		
0	53,00	58,97
50	52,16	57,05
100	53,00	57,56
150	53,67	58,49
200	53,33	58,19
400	54,50	58,12
p>F (linear)	0,09	0,97
r² (linear %)	74,29	0,07
p>F (quadrática)	0,88	0,80
R² (quadrática %)	74,82	3,74

Nota: ns, * e **: não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% pelo Teste F, respectivamente. Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Obs: DAE: dias após emergência.

Fonte: Da própria autora.

4.3.1.5 Medidas fotossintéticas

Observa-se na Tabela 17, que para a fotossíntese e a concentração interna de CO₂ na planta de algodoeiro herbáceo, não houve efeito significativo nem para doses de Si, sistemas hídricos e nem interação doses de Si x condições hídricas. Vale ressaltar que as plantas sob déficit hídrico sem Si não diferiram estatisticamente das irrigadas na mesma dose de Si para PITOTAL, demonstrando que as plantas mesmo em condição de estresse possuem um ganho elevado de energia (ATP e NADPH). Em outros trabalhos também foram observados uma melhor eficiência das reações fotoquímicas com a aplicação de Si para as plantas em situações geradoras de déficit hídrico, tais como em tomateiro (AL-AGHABARY *et al.*, 2004), jujubeira (XIANG; ZENG, 2005) e plantas de arroz (CHEN *et al.*, 2011).

A resistência estomática foi o fator determinante para as alterações das trocas gasosas quando analisado o efeito isolado do tratamento hídrico. A redução da abertura estomática nas plantas sob déficit hídrico reduziu a transpiração e a fotossíntese líquida, sendo esse comportamento também observado por Egilla *et al.* (2005) em plantas de hibisco, e Ming *et al.* (2012) em plantas de arroz. A redução da abertura estomática contribuiu ainda, para a elevação da concentração interna de carbono, possivelmente gerado pela atividade fotorrespiratória das plantas na condição de estresse hídrico. Um aumento similar na concentração de Ci com baixa gs foi observado em outros trabalhos (ROUHI *et al.* 2007; SINGH *et al.* 2011). Outros autores também observaram incremento na fotossíntese com a aplicação do Si, em tomate (ROMEROARANDA *et al.*, 2006), cana de açúcar (MADEIROS *et al.*, 2009), e em cacau (PINTO *et al.*, 2012), sugerindo que o Si pode ter criado uma camada muito espessa sobre os estômatos dificultando o processo difusivo da troca gasosa. Na literatura também tem sido descrito que maiores doses de Si promovem aumento da camada de cera epicuticular, como foi observado em trabalhos com café (AMARAL, 2005; BOTELHO *et al.*, 2009) e soja (LIMA, 2006). De acordo com Botelho *et al.* (2009), essa camada espessa de cera cobre os estômatos, influenciando negativamente a fotossíntese, por dificultar as trocas gasosas. Como observado, as plantas com a irrigação, mostrou que o seu efeito só foi observado nas plantas não irrigadas, sendo que o Si proporcionou às plantas sob déficit hídrico alívio dos danos da seca, apresentando melhores taxas para a fotossíntese, as eficiências do uso de água e de carboxilação. Outros autores do mesmo modo relataram o efeito benéfico sobre os parâmetros fotossintéticos com a aplicação de Si em plantas sob condições de déficit hídrico, tais como, trigo (GONG *et al.*, 2005), soja (SHEN *et al.*, 2010), sorgo

(AHMED *et al.*, 2011) e arroz (MING *et al.*, 2012). O efeito benéfico dessa dose de Si foi tamanho que proporcionou taxas de eficiência do uso da água igual a das plantas irrigadas nas mesmas condições.

Tabela 17- Valores médios da fotossíntese líquida (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a concentração interna de CO_2 (C_i - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol ar}^{-1}$) em folhas de algodoeiro herbáceo, genótipo TMG 11 WS em função de doses de silício e da disponibilidade de água. Selvíria – MS, ano agrícola 2017/2018.

	A	gs	E	Ci
		p>F		
Condições hídricas (H)	0,16 ^{ns}	0,03*	0,01**	0,34 ^{ns}
Doses de Si (D)	0,58 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,61 ^{ns}
H * D	0,61 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,5 ^{ns}
CV(%)	69,08	68,22	38,07	17,26
Média geral	16,42	0,26	1,91	256,08
Condições hídricas				
Irigada	13,68 a	0,16 b	1,26 b	263,17 a
Não irrigada	19,15 a	0,36 a	2,55 a	249,00 a
DMS	7,84	0,12	0,50	213,99
Doses de Si (Kg. ha⁻¹)				
0	16,49	0,22	1,90	260,00
50	18,01	0,26	1,71	242,17
100	10,88	0,24	1,70	284,17
150	21,18	0,23	1,91	248,75
200	19,61	0,42	2,53	256,17
400	12,32	0,19	1,67	245,00
p>F (linear)	0,61	0,89	0,96	0,56
r² (linear %)	6,92	0,30	0,03	9,85
p>F (quadrática)	0,39	0,13	0,19	0,69
R² (quadrática %)	26,02	42,44	29,84	14,18

Nota: ns, * e **: não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% pelo Teste F, respectivamente Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Obs: DAE: dias após emergência

Fonte: Da própria autora.

4.3.1.6 Teor foliar de macronutriente

Com base nos dados obtidos na análise nutricional de folhas do algodoeiro para macronutrientes (Tabela 18), foi verificado que não houve efeito significativo para as doses de silício e para a interação entre doses de Si x Condições hídricas.

As condições hídricas impostas influenciaram positivamente alguns macronutrientes como o nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) cálcio (Ca) e magnésio (Mg), isto se deve pelo fato de que não se pode falar em disponibilidade de qualquer elemento em condições de solo seco. Para a mineralização da matéria orgânica pela atividade microbiana, a água é particularmente necessária. A água também se constitui no veículo natural para o movimento dos íons no solo (fluxo de massa, difusão). Como exemplo, considera-se o baixo teor de umidade no solo, como um fator preponderante para maiores incidências de “podridão apical” em frutos de tomate – um sintoma típico de deficiência de cálcio na cultura – mesmo em solos considerados férteis neste nutriente. Nestas condições, quantidades insuficientes de cálcio atingem as raízes por fluxo de massa, induzindo à anormalidade (MARSCHNER, 1986).

Os nutrientes são transportados até às raízes por meio de três mecanismos: interceptação radicular, difusão e fluxo de massa. A interceptação radicular ocorre quando os nutrientes são interceptados pelas raízes durante o processo de crescimento; somente pequena percentagem do nutriente total requerido é suprida por este processo (MARSHNER, 1995). Entretanto, o mecanismo de interceptação radicular não tem sido considerado no transporte de nutrientes, pois, atualmente, não é aceita a possibilidade de trocas diretas entre as partículas do solo e as raízes das plantas, havendo necessidade do meio líquido para que a absorção pelas raízes ocorra (RUIZ *et al.*, 1999). A difusão é caracterizada pelo movimento térmico ao acaso de íons em direção à raiz, em virtude do gradiente de concentração gerado na superfície radicular (BARBER, 1984), enquanto o fluxo de massa está associado ao gradiente de potencial hídrico provocado pela absorção de água pelas plantas (SILVA *et al.*, 1998).

O algodoeiro é uma cultura que sob condições adequadas de umidade do solo, altas temperaturas e alta intensidade luminosa responsivas aos nutrientes (GRESPLAN; ZANCANARO, 1999). Apesar disso, é uma cultura que apresenta uma taxa diária de consumo hídrico relativamente baixa (cerca de 6,5 mm dia⁻¹, na fase de maior demanda transpiratória), mesmo em climas quentes e com suprimento adequado de água no solo. No caso de variedades precoces, o consumo hídrico durante o ciclo vegetativo não

ultrapassa 450 mm (AZEVEDO *et al.*, 1993). Em variedades modernas, no final do ciclo, é comum ocorrer deficiência de K. Normalmente, o final do ciclo do algodoeiro coincide com épocas de menor pluviosidade e, portanto, de menos água disponível no solo. Como a maior parte dos nutrientes são transportados até à raiz por difusão, processo altamente dependente da água do solo, à medida que a planta desenvolve e o solo seca, diminui o teor do nutriente que pode ser difundido, justificando, possivelmente, a deficiência observada na planta sob estresse.

Tabela 18 - Teores foliar de macronutrientes em folhas de algodoeiro herbáceo, genótipo TMG 11 WS em função de doses de silício e da disponibilidade de água. Selvíria – MS, ano agrícola 2017/2018.

	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- (g kg ⁻¹) -----					
	p>F					
Condições hídricas (H)	0,02*	0,29 ^{ns}	0,01**	0,01**	0,01**	0,06 ^{ns}
Doses de Si (D)	0,82 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,76 ^{ns}
H * D	0,32 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,95 ^{ns}
CV(%)	8,84	90,71	8,59	13,66	15,11	21,83
Média geral	6,09	15,31	3,49	6,81	1,26	17,47
Condições hídricas						
Irrigada	5,88 a	17,78 a	3,67 a	8,28 a	1,41 a	18,69 a
Não irrigada	6,31 b	12,84 b	3,31 b	5,36 b	1,12 b	16,24 a
DMS	0,37	9,59	0,21	0,64	0,13	2,64
Doses de Si (Kg.ha⁻¹)						
0	6,05	14,62	3,47	6,56	1,22	18,88
50	6,31	13,98	3,33	7,05	1,35	15,65
100	6,06	18,35	3,48	6,34	1,21	18,31
150	6,18	20,87	3,53	6,87	1,30	17,50
200	6,07	16,38	3,30	6,94	1,29	17,40
400	5,88	7,65	3,81	7,13	1,22	17,06
p>F (linear)	0,34	0,33	0,03	0,31	0,73	0,72
r² (linear %)	42,82	30,89	49,53	33,12	4,30	5,04
p>F (quadrática)	0,62	0,20	0,12	0,92	0,54	0,87
R² (quadrática %)	54,39	85,19	72,67	33,45	17,82	6,11

Nota: ns, * e **: não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% pelo Teste F, respectivamente. Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Da própria autora.

4.3.1.7 Teor foliar de micronutriente

Com base nos dados obtidos na análise nutricional de folhas do algodoeiro para micronutrientes (Tabela 19), foi verificado que não houve efeito significativo para as condições hídricas, doses de silício e para a interação entre doses de Si x Condições hídricas no teor de manganês (Mn), zinco (Z), cobre (Cu) e silício (Si).

Para o teor de ferro (Fe) nas folhas de algodoeiro, observou efeitos significativos nas condições hídricas e nas doses de silício e não houve significância na interação Si x Condições hídricas.

O maior ou menor estado de oxirredução do solo, que interfere na redução do Fe, é condicionado pela atividade de microrganismos anaeróbios, que, por sua vez, é influenciada pelo manejo da água (Kirk, 2004; Cheng *et al.*, 2009). A água no solo aumenta as condições de anaerobiose, o que favorece a liberação de maior concentração de Fe para a solução do solo. A anoxia e redução do pH decorrentes de solos bem irrigados reduzem os óxidos férricos (Fe^{3+}) a óxidos ferrosos (Fe^{2+}), com conseqüente elevação da solubilidade e disponibilidade desse íon, o que explicaria o Fe estar em maior quantidade no solo irrigado.

As principais fontes de Si presentes na solução do solo são resultado da decomposição de resíduos vegetais, dissociação do ácido silícico polimérico, liberação de Si dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al (Jones e Handreck, 1967), o que sugere o aumento dos teores de Fe nas folhas.

Tabela 19- Teores foliar de manganês (Mn), zinco (Z), cobre (Cu), ferro (Fe) e silício (Si) de algodoeiro herbáceo, genótipo TMG 11 WS em função de doses de silício e da disponibilidade de água. Selvíria – MS, ano agrícola 2017/2018.

	Mn	Z	Cu	Fe	Si
	----- (mg kg ⁻¹) -----				
	p>F				
Condições hídricas (H)	0,06 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,03*	0,07 ^{ns}
Doses de Si (D)	0,75 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,01**	0,25 ^{ns}
H * D	0,47 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,18 ^{ns}
CV(%)	13,08	8,50	53,24	5,64	48,35
Média geral	1,09	0,48	0,22	2,08	0,29
Condições hídricas					
Irrigada	1,98 a	0,47 a	0,21 a	2,12 a	0,34 a
Não irrigada	1,82 a	0,48 a	0,22 a	2,03 b	0,25 a
DMS	0,17	0,03	0,08	0,08	0,09
Doses de Si (Kg.ha⁻¹)					
0	1,85	0,47	0,25	1,98	0,22
50	1,90	0,50	0,17	2,14	0,29
100	1,82	0,45	0,21	1,96	0,23
150	1,87	0,47	0,20	1,99	0,37
200	1,97	0,49	0,24	2,19	0,26
400	2,01	0,51	0,22	2,18	0,38
p>F (linear)	0,19	0,11	0,85	0,006	0,08
r² (linear %)	67,03	32,60	1,87	35,06	48,80
p>F (quadrática)	0,88	0,40	0,88	0,96	0,87
R² (quadrática %)	67,95	41,53	2,96	35,07	49,20

Nota: ns, * e **: não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% pelo Teste F, respectivamente. Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Da própria autora.

4.3.1.8 Massa de 20 capulhos e produtividade

Considerando os valores obtidos pelas avaliações dos componentes da produção do algodoeiro no final do ciclo (Tabela 20), observou-se efeito significativo isolado apenas para a produtividade de algodão em caroço, nos sistemas irrigado e não irrigado. A adequada disponibilidade hídrica concorre para aumento de produtividade e obtenção de fibra de melhor qualidade. Por outro lado, a deficiência hídrica, diminui a resistência e a finura da fibra, o diâmetro do caule, a altura de planta e, conseqüentemente, a produtividade (NUNES FILHO *et al.*, 1998; CORDÃO SOBRINHO *et al.*, 2007).

A deficiência hídrica, especialmente na fase reprodutiva, reduz a produtividade, por induzir a queda de botões florais, flores e maçãs (NUNES FILHO *et al.*, 1998). Ainda, ocorre menor crescimento vegetativo, especialmente em altura, concorrendo para menor número de ramos produtivos (CORDÃO SOBRINHO *et al.*, 2007).

Os 20 capulhos colhidos aleatoriamente na parcela não apresentaram diferença significativa, tal efeito pode ser explicado pelo florescimento contínuo do algodoeiro, com isso no cultivo de sequeiro foram colhidos praticamente os capulhos das primeiras posições da planta, formados no início do período reprodutivo. Esses comumente apresentam maior massa em comparação aos formados na parte superior da planta (ROSOLEM, 2001). Por outro lado, no cultivo irrigado houve maior retenção de estruturas reprodutivas, especialmente 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). O rendimento de fibra foi menor no cultivo de sequeiro, seguido pelos cultivos irrigados por aspersão.

Tabela 20- Massa de 20 capulhos e produtividade de algodoeiro herbáceo, genótipo TMG 11 WS em função de doses de silício e da disponibilidade de água. Selvíria – MS, ano agrícola 2017/2018.

	Massa 20 capulhos (g)	Produtividade (kg ha⁻¹)
		p>F
Condições hídricas (H)	0,45 ^{ns}	0,01 ^{**}
Doses de Si (D)	0,99 ^{ns}	0,37 ^{ns}
H * D	0,61 ^{ns}	0,18 ^{ns}
CV(%)	6,42	16,71
Média geral	115,94	3977,94
Condições hídricas		
Irrigada	116,75 a	4305,08 a
Não irrigada	115,12 a	3650,81 b
DMS	4,37	390,51
Doses de Si (Kg. ha⁻¹)		
0	116,00	3757,08
50	116,00	4188,50
100	117,00	3695,79
150	116,25	3983,81
200	114,87	4341,45
400	115,50	3901,00
p>F (linear)	0,78	0,73
r² (linear %)	20,93	2,03
p>F (quadrática)	0,99	0,28
R² (quadrática %)	20,94	23,44

Nota: ns, * e **: não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% pelo Teste F, respectivamente. Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Da própria autora.

4.3.1.9 Qualidade da fibra do algodoeiro

Na Tabela 21 estão apresentados os resultados obtidos das diferentes características tecnológicas da fibra, em resposta as doses de Si, somente o Grau de folhas se apresentou significativo. Constatou-se de modo geral, que para todas as variáveis estudadas não houve diferença significativa interação das doses de Si x condições hídricas. Para as condições hídricas se mostrou significativo para Resistência da fibra, Refletância, Amarelamento e Índice de maturidade.

O cultivo de algodão irrigado na região semiárida é uma ótima oportunidade para o setor algodoeiro, visto que devido às características climáticas na região semiárida são produzidas fibras de ótima qualidade, e em áreas irrigadas são alcançadas excelentes produtividades (BRITO *et al.*, 2011).

Segundo Basal *et al.* (2009), Dagdelen *et al.* (2009) e DeTar (2008) o decréscimo na disponibilidade hídrica tem conduzido a pesquisas sobre o requerimento de água de diversos cultivos, bem como ao estudo do impacto da irrigação com déficit no rendimento e na qualidade dos produtos. Para o algodoeiro, diversos autores como Wen *et al.* (2013), Brito *et al.* (2011), DeTar (2008) e Pettigrew (2004) tem demonstrado que a cultura sofre influência tanto na produtividade quanto na porcentagem e qualidade de fibras quando submetido à irrigação com déficit hídrico. Santana *et al.* (2008) afirmam que apesar de serem condicionadas por fatores hereditários as características tecnológicas da fibra do algodão sofrem decisiva influência dos fatores ambientais (temperatura, luminosidade, disponibilidade hídrica) e dependem das condições de cultivo.

O adequado suprimento hídrico beneficia o processo fotossintético, concorrendo para adequada deposição de celulose na fibra em crescimento (Rosolem, 2001). Isso justifica os maiores valores de rendimento de fibra nos cultivos irrigados.

De acordo com a classificação comercial (SANTANA; WANDERLEY, 1995), constata-se neste trabalho as fibra do algodoeiro apresentou elevada aceitabilidade para as condições de cultivo e, principalmente, para a indústria têxtil nacional, por possuir excelente comprimento de fibra (>25mm no HVI – SL 2,5%), boa uniformidade (>47%), índice de fibras curtas muito baixa (70).

De acordo com os resultados supracitados, as características estão dentro do padrão desejado pela indústria têxtil, com ênfase para a resistência (STR), que ficou acima de 30 gf tex⁻¹, sendo que o mínimo exigido pela indústria têxtil é 24 gf tex⁻¹. Santana *et*

al. (2008) afirmam que nos atuais e modernos processos de fiação as características mais importantes das fibras são a finura (micronaire) e resistência.

A reflectância das fibras por tratamento variou de 80,0 a 82,0% índice considerado elevado e que atesta que a brancura da fibra foi muito alta, o que explica o alto teor de amarelamento também ser significativo, fator importante na definição da qualidade e do preço do algodão. Sobre as variáveis, grau de amarelecimento, o grau de amarelecimento médio das fibras analisadas foi 6 à 7 dentro da faixa normalmente encontrada, ou seja, entre 4 e 18 o que a coloca dentro da categoria média.

O grau de maturidade de uma fibra de algodão é função desse espessamento e pode ser definido pela relação entre a área de uma seção transversal da parede secundária e a área de um círculo de perímetro igual. Quanto mais espessa a parede, dentro de um diâmetro fixo, maior a maturidade da fibra.

Tabela 21- Qualidade de fibra de algodoeiro herbáceo, genótipo TMG 11 WS em função de doses de silício e da disponibilidade de água. Selvíria – MS, ano agrícola 2017/2018.

	Comprimento de fibra (mm)	Micronaire	Resistência (gf tex ⁻¹)	Uniformidade (%)	Alongamento de fibra (%)	Reflectância (%)	Amarelamento	Grau de folhas	Percentual de impureza (%)	Quantidade de partículas de impurezas	Índice de fibras curtas (%)	Índice de maturidade (%)
Condições hídricas (H)	0,13 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,05*	0,12 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,01**	0,01**	0,13 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,02*
Doses de Si (D)	0,66 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,04*	0,06 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,45 ^{ns}
H * D	0,16 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,28 ^{ns}
CV(%)	2,03	3,70	4,70	1,14	2,86	1,24	5,40	59,71	74,13	46,14	10,30	0,61
Média geral	27,61	543,39	30,38	82,24	55,54	81,64	6,84	1,58	17,00	8,21	72,60	0,89
Condições hídricas												
Irrigada	27,73 a	549,12 a	30,80 a	82,45 a	55,17 a	82,38 a	6,70 a	1,79 a	15,00 a	7,92 a	71,90 a	0,896 a
Não irrigada	27,48 a	537,67 a	29,96 b	82,02 a	55,92 a	80,90 b	6,99 b	1,37 a	19,00 a	8,50 a	73,20 a	0,892 b
DMS	32,89	11,82	8,39	5,51	0,93	5,95	2,17	0,55	0,07	2,22	0,44	0,003
Doses de Si (Kg.ha⁻¹)												
0	27,70	544,12	30,42	82,68	55,00	81,18	7,05	2,12	23,00	9,12	72,20	0,896
50	27,78	540,12	30,27	82,36	55,50	82,10	6,88	1,50	17,00	10,87	69,10	0,895
100	27,39	547,62	30,06	82,25	55,25	81,42	7,01	1,25	14,00	7,50	73,60	0,896
150	27,72	544,62	30,07	81,93	56,00	81,27	6,81	1,25	12,00	8,00	74,60	0,893
200	27,60	538,75	30,51	82,05	56,00	82,15	6,67	2,37	26,00	7,25	72,50	0,891
400	27,45	545,12	30,93	82,16	55,50	81,71	6,65	1,00	0,08	6,50	73,30	0,893
p>F (linear)	0,34	0,92	0,31	0,31	0,53	0,50	0,02	0,13	0,09	0,05	0,52	0,23
r² (linear %)	28,18	0,77	51,25	33,89	15,78	6,75	72,42	17,73	26,07	57,72	16,09	31,30
p>F (quadrática)	0,98	0,81	0,44	0,18	0,23	0,53	0,46	0,67	0,72	0,56	7,39	0,25
R² (quadrática %)	28,19	5,96	79,75	92,63	74,75	12,73	79,15	19,09	27,13	62,70	25,07	60,00

Nota: ns, * e **: não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% pelo Teste F, respectivamente
Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Da própria autora.

4.3.1.10 Avaliação dos caracteres anatômicos do limbo foliar

De acordo com os dados apresentados na Tabela 18, em relação às espessuras da região internervural foliar, constatou-se que a espessura da epiderme adaxial e epiderme abaxial foram tiveram efeitos significativos para doses de Si e para as condições hídricas, sugerindo que as flores no sequeiro estavam menos turgidas que as folhas do sistema irrigado e que o silício acumulou e espessou as epidermes. Não houve efeito significativos das epidermes para a interação doses de Si x condições hídricas. O parênquima paliçádico e parênquima lacunoso, mesmo que apresentou espessuras superiores que a folha testemunha (sem Si) as apresentou efeito significativo para doses de Si, condições hídricas e interação entre doses de Si x condições hídricas.

Esses dados corroboram com o benéfico do Si na redução do estresse hídrico é atribuído a deposição desse elemento na parede celular, especialmente na parede externa (AGARIE *et al.*, 1998; EPSTEIN, 1999). Essa deposição aumenta a resistência e rigidez das paredes celulares e reduz a transpiração cuticular e estomática, aumentando a resistência à seca (MA; YAMAJI, 2006). Também favorece a fotossíntese, por interferir na arquitetura das folhas deixando-as mais eretas, melhorando a interceptação de luz (DEREN *et al.*, 1994).

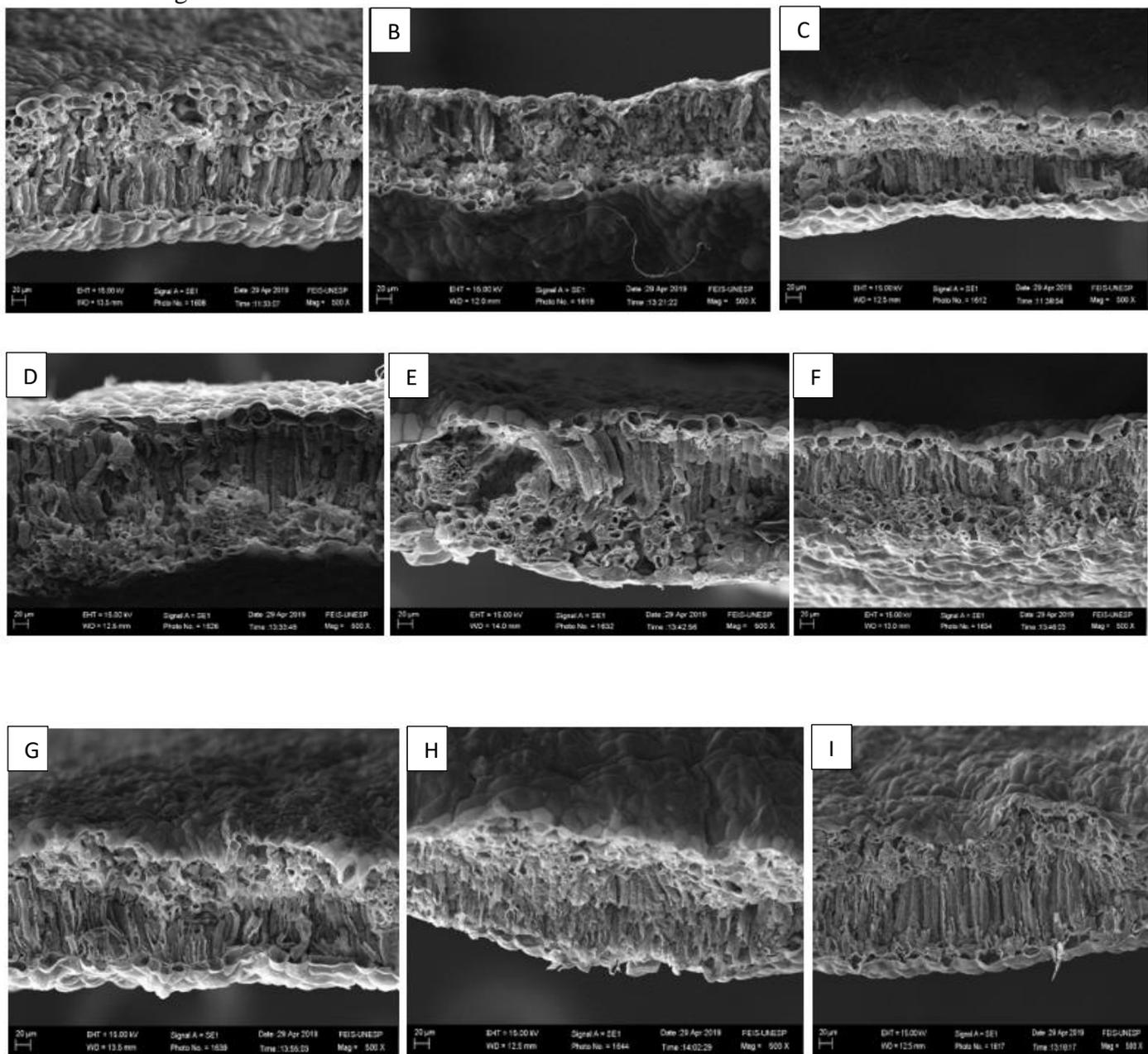
Tabela 22- Espessura dos parâmetros da região internervural foliar de genótipos de algodoeiro herbáceo genótipo TMG 11 WS em função de doses de silício e da disponibilidade de água. Selvíria – MS, ano agrícola 2017/2018.

Medidas (μm)	Epiderme Adaxial	Parênquima Paliçádico	Parênquima Lacunoso	Epiderme Abaxial
	p>F			
Condições hídricas (H)	0,01**	0,67 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,01**
Doses de Si (D)	0,01**	0,10 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,04*
H * D	0,12 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,55 ^{ns}
CV(%)	13,20	18,27	22,15	14,08
Média geral	33,76	143,85	96,46	29,39
Condições hídricas				
Irrigada	37,99 a	146,58 a	89,05 a	25,31 b
Não irrigada	29,54 b	141,13 a	103,86 a	33,48 a
DMS	4,68	27,60	22,44	4,35
Doses de Si (Kg. ha⁻¹)				
0	25,37	123,00	86,85	25,49
100	39,30	151,54	104,71	31,99
400	36,61	157,02	97,82	30,69
p>F (linear)	0,01	0,08	0,61	0,14
r² (linear %)	30,33	62,98	13,36	29,69
p>F (quadrática)	0,01	0,17	0,20	0,03
R² (quadrática %)	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Nota: ns, * e **: não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% pelo Teste F, respectivamente
Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Da própria autora.

Figura 4- Secções transversais da região internervural de folhas de genótipos de algodoeiro herbáceo genótipo TMG 11 WS em função de doses de silício e da disponibilidade de água. Selvíria – MS, ano agrícola 2017/2018.

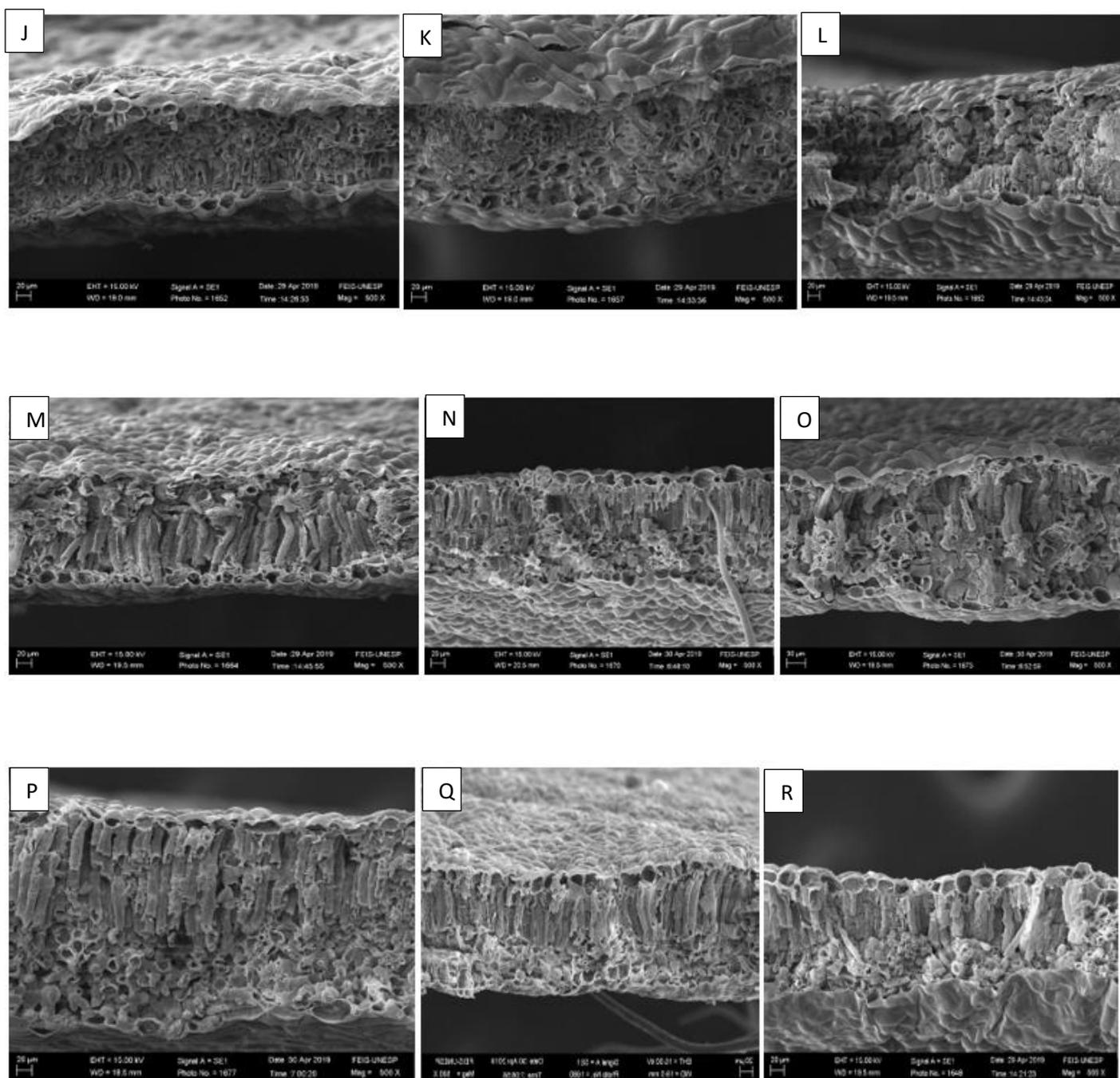
(A) (testemunha) com dose 0 kg. ha⁻¹ no sistema de irrigado no bloco 1; (B) (testemunha) com dose 0 kg. ha⁻¹ no sistema de irrigado no bloco 2; (C) (testemunha) com dose 0 kg. ha⁻¹ no sistema de irrigado no bloco 3; (D) dose 100 kg. ha⁻¹ no sistema de irrigado no bloco 1; (E) dose 100 kg. ha⁻¹ no sistema de irrigado no bloco 2; (F) dose 100 kg. ha⁻¹ no sistema de irrigado no bloco 3; (G) dose 400 kg. ha⁻¹ no sistema de irrigado no bloco 1; (H) dose 400 kg. ha⁻¹ no sistema de irrigado no bloco 2; (I) dose 400 kg. ha⁻¹ no sistema de irrigado no bloco 3.



Fonte: Da própria autora.

Figura 5- Secções transversais da região internervural de folhas de genótipos de algodoeiro herbáceo genótipo TMG 11 WS em função de doses de silício e da disponibilidade de água. Selvíria – MS, ano agrícola 2017/2018.

(J) (testemunha) com dose 0 kg. ha⁻¹ no sistema de sequeiro no bloco 1; (K) (testemunha) com dose 0 kg. ha⁻¹ no sistema de sequeiro no bloco 2; (L) (testemunha) com dose 0 kg. ha⁻¹ no sistema de sequeiro no bloco 3; (M) dose 100 kg. ha⁻¹ no sistema de sequeiro no bloco 1; (N) dose 100 kg. ha⁻¹ no sistema de sequeiro no bloco 2; (O) dose 100 kg. ha⁻¹ no sistema de sequeiro no bloco 3; (P) dose 400 kg. ha⁻¹ no sistema de sequeiro no bloco 1; (Q) dose 400 kg. ha⁻¹ no sistema de sequeiro no bloco 2; (R) dose 400 kg. ha⁻¹ no sistema de sequeiro no bloco 3.



Fonte: Da própria autora.

4.4 Conclusão

A altura da planta, diâmetro do caule e número de nós foram afetados de maneira negativa pelo déficit hídrico ao qual o algodoeiro foi submetido.

O tratamento sem déficit hídrico (irrigado) promoveu maior altura, diâmetro do caule e número de nós na planta de algodão.

A fotossíntese, condutância estomática, transpiração e conteúdo de CO₂ foram reduzidos com a utilização de doses de silício.

O sistema de irrigação proporcionou uma maior solubilidade para os macronutrientes e uma melhor absorção dessas nutrientes pelas plantas.

Houve uma relação positiva do Si com o Fe, havendo uma maior absorção de Fe pelas plantas pois a liberação de Silício dos óxidos e hidróxidos de ferro.

O Si mostrou que espessou as camadas de epiderme da folha, houve uma maior turgescência da folha irrigada do que a estava em sequeiro.

A produtividade do algodoeiro foi maior nas plantas irrigadas.

Os parâmetros para a qualidade de fibra, observou-se que resistência da fibra, reflectância, teor de amarelamento e índice de maturidade foram maiores no sistema irrigado e o grau de folhas foi significativo as aplicações de doses de Si.

A dose ótima de Si, obtida por ajuste de regressão foi a de 100 kg.ha⁻¹, pois apresentou uma maior média na maioria dos parâmetros analisados.

REFERÊNCIAS

- ANUÁRIO BRASILEIRO DO ALGODÃO – ABA. *Site*. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2012. Disponível em: http://www.gaz.com.br/tratadas/eo_edicao/7/2012/06/20120629_97763c201/pdf/3401_2012_algodao_double_web.pdf. Acesso em: 10 jun. 2019.
- 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.
- AL-AGHABARY, K.; ZHU, Z.; SHI, Q. H. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 27, n. 12, p. 2101-2115, 2004.
- AMARAL, D. R. **Indução de resistência em cafeeiro contra *Cercospora coffeicola* por eliciadores abióticos e extratos vegetais**. 2005. 96 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- AMARAL, D. R.; RESENDE, M. L. V.; RIBEIRO JÚNIOR, P. M.; BOREL, J. C.; MACLEOD, R. E. O.; PÁDUA, M. A. Silicato de potássio na proteção do cafeeiro contra *Cercospora coffeicola*. **Tropical Plant Pathology**, Heidelberg, v. 33, n. 6, p. 425-431, 2008.
- AMARAL, J. A. T do; RENA, A. B.; AMARAL, J. F. T do. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e suas relações com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 3, p. 377-384, 2006.
- ARRUDA, F. P.; ANDRADE, A. P.; SILVA, I. F.; PEREIRA, E. P.; GUIMARÃES, M. A. M. Emissão/Abcisão de estruturas reprodutivas do algodoeiro herbáceo, cv. CNPA 7H: efeito do estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 21-27, 2002.
- AZEVEDO, P. V.; RAO, T. V. R.; AMORIM NETO, M. S.; PEREIRA, J. R. C.; ESPÍDOLA SOBRINHO, J.; MACIEL, G. F. Necessidades hídricas da cultura do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, p. 863-870, 1993.
- BARBER, D. A.; SHONE, M. G. T. The absorption of silica from aqueous solutions by plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 17, p. 569-578, 1966.
- BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. New York, John & Wiley, 1984. 398 p.
- BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. Época de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado monitorada com auxílio de sensor portátil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 3, n. 2, p. 425-431, 2009.

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 *Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Dordrecht, v. 32, n. 3, p. 659-663, 2003.

BASAL, H. *et al.* Effects of Deficit Drip Irrigation Ratios on Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Yield and Fiber Quality. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 195, n. 1, p. 19-29, 2009.

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., **Breve História do Algodão no Nordeste do Brasil**. Paraíba: EMBRAPA, 2003. Disponível em: <http://www.cnpa.embrapa.br/publicacoes/2003/DOC117.PDF>. Acesso em: 10 jun. 2019.

BELTRÃO, N. E. de M., **Breve História do Algodão no Nordeste do Brasil**. Paraíba: EMBRAPA, 2003. Disponível em: <http://www.cnpa.embrapa.br/publicacoes/2003/DOC117.PDF>. Acesso em: 10 jun. 2019.

BELTRÃO, N. E. de M.; AZEVEDO, D. M. P. de. **Agronegócio do algodão no Brasil**. Campina Grande: Embrapa, 2008.

BELTRÃO, N. E. de M.; AZEVEDO, D. M. P. de. **Agronegócio do algodão no Brasil**. Campina Grande: Embrapa, 2008.

BELTRÃO, N. E. de M.; AZEVEDO, D. M. P. de. **Agronegócio do algodão no Brasil**. Campina Grande: Embrapa, 2008.

BELTRÃO, N. E. de M.; OLIVEIRA, M. I. P. de; LUCENA, A. M. A. de; SANTOS, J. W.; SOUSA, J. G. de. Modificações no algodoeiro herbáceo superprecoce sob influência do cloreto de mepiquat. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 29-35, 2010.

BELTRÃO, N. E. de M.; OLIVEIRA, M. I. P. de; LUCENA, A. M. A. de; SANTOS, J. W.; SOUSA, J. G. de. Modificações no algodoeiro herbáceo superprecoce sob influência do cloreto de mepiquat. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 29-35, 2010.

BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. (ed.). **O Agronegócio do Algodão no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

BELTRÃO, N. E. M.; OLIVEIRA, M. I. P.; AMORIM, M. L. C. M. **Opções para a produção de biodiesel no semiárido brasileiro em regime de sequeiro**: por que algodão e mamona. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2009. 36 p (Documentos, 220).

BELTRÃO, N. E. M.; SOUZA, J. G. de. Fisiologia e ecofisiologia do algodoeiro. *In*: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Algodão: tecnologia de produção**. Dourados: EMBRAPA- CNPAO, 2011. p. 54-75.

BELTRÃO, N. E. de M.; AZEVEDO, D. M. P. de; VIEIRA, D. J.; NÓBREGA L. B. da. **Recomendações técnicas e considerações gerais sobre o uso de herbicidas, desfolhantes e reguladores de crescimento na cultura do algodão**. Campina Grande: EMBRAPA - CNPA, 1997, 32 p. (Documentos, 48).

BLUM, A. Anatomical phenomena in seedlings of sorghum varieties resistant to the sorghum shoot fly *Atherigona varia* soccata. **Crop Science**, Madison, v. 8, p. 388-391, 1968.

BOGIANI, J. C.; ROSOLEM, C. A. Resposta de crescimento, matéria seca e fotossíntese do algodoeiro pelo uso de cloreto de mepiquat. **Revista brasileira de oleaginosas e fibrosas**, Campina Grande, v. 15, n. 1, p. 9-16, 2011.

BOTELHO SANTOS, D. M.; POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; CARVALHO, J. G.; BOTELHO, C. E.; SOUZA, P. E. Intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro em função de fontes e doses de silício. **Fitopatologia Brasileira**, Heidelberg, v. 30, p. 582-588, 2005.

BRITO, G. G. de; SOFIATTI, V; LIMA, M. M. de A.; CARVALHO, L. P. de; SILVA FILHO, J. L. da. Physiological traits for drought phenotyping in cotton. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 117-125, 2011.

BRITO, G. G. *et al.* Physiological traits for drought phenotyping in cotton. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 117-125, 2011.

CARDOSO, G. D. Ecofisiologia do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch.) *In*: BELTRÃO, N. E. M.; OLIVEIRA, M. I. P. (ed.). **Ecofisiologia das culturas de algodão, amendoim, gergelim, mamona, pinhão-manso e sisal**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. p. 65-123.

CARDOSO, G. D.; ALVES, P. L. da C.; BELTRÃO, N. E. de M.; VALE, L. S. do . Períodos de interferência das plantas daninhas em algodoeiro de fibra colorida 'BRS Safira'. **Revista Ciência Agronômica**, Jaboticabal, v. 41, n. 3, p. 456-462, 2010.

CARVALHO, L. H.; FURLANI JUNIOR, E. Sistema de produção do algodão mecanizado. *In*: SEMINÁRIO ESTADUAL COM A CULTURA DO ALGODÃO EM MATO GROSSO, 3., 1996, Cuiabá. **Anais [...]** Cuiabá: EMPAER-MT, 1996. p. 105-113. (Documentos, 21).

CARVALHO, L. P. de; ARAUJO, G. P. de; J. N. da. **Folder 'BRS Rubi'**. 5 ed. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007.

CARVALHO, L. P. de; ARAUJO, G. P. de; VIEIRA de R. M.; BELTRÃO, N. E. de M.; COSTA, J. N. da. **'Folder BRS Sfira'**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2009.

CARVALHO, L. P. de; SILVA, G. E. L.; LIMA, M. M. de A.; MEDEIROS, E. P. de; BRITO, G. G. de; FREIRE, R. M. M. Variabilidade e capacidades geral e específica de combinação para teor de óleo em algodoeiro. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 19-27, 2010.

CARVALHO, L. P.; COSTA, J. N.; FREIRE, E. C.; FARIAS, F. J. C. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de algodoeiro originários de materiais silvestres. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 47, n. 271, p. 303-310, 2000.

CASSETARI NETO, D.; MACHADO, A. Q. **Diagnose e controle de doenças do algodão**. Cuiabá: UFMT/FAMEV, 2000. 55 p.

CHEN W.; YAO X.; CAI K.; CHEN J. Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. **Biological Trace Element Research**, Heidelberg, v. 142, n. 1, p. 67-76, 2011.

CHIBA, Y.; MITANI, M.; YAMAJI, M.; MA, J. F. Hvsl1 is a silicon influx transporter in barley. **Plant Journal**, Toronto, v. 57, p. 810-818, 2009.

CHITARRA, L. G. **Identificação e controle das principais doenças do algodoeiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007. 65 p. (Cartilha, 2).

COLOM, M. R.; VAZZANA, C. Photosynthesis and PSII functionality of drought-resistant and drought sensitive weeping lovegrass plants. **Environmental Experimental Botany**, Amsterdam, v. 49, p. 135-144, 2003.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira**: grãos: 5º levantamento, fevereiro de 2013. Brasília, DF: CONAB, 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira**: algodão. Décimo levantamento. Brasília, DF: Conab, 2012.

Disponível em:

http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_07_10_08_42_35_algodao02a06072012.pdf. Acesso em: 10 jun. 2019.

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, 2005. 22 p.

CURRIE, H. A.; PERRY, C. C. Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. **Annals of Botany**, Oxford, v. 100, p. 1383-1389, 2007.

DAGDELEN, N. *et al.* Different drip irrigation regimes affect cotton yield, water use efficiency and fiber quality in western Turkey. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 1, p. 111-120, 2009.

DANTAS, A. C. A.; BARROSO, P. A. V.; HOFFMANN, L. V.; ALVES, M. F.; ANDRADE, F. P. SSR markers to detect gene flow from upland to mocó cotton. **Revista Ciência Agronômica**, Jaboticabal, v. 43, n. 1, p. 163-169, 2012.

DE TAR, W. R. Yield and growth characteristics for cotton under various irrigation regimes on sandy soil. **Agricultural water management**, Amsterdam, v. 95, n. 1, p. 69-76, 2008.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Roma: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation & Drainage paper, 33).

DORNHOFF, G. M.; SHIBLES, R. M. Varietal differences in net photosynthesis of soybean leaves. **Crop Science**, Madison, v. 1, n. 10. p. 42-45, 1970.

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.

EGILLA, J. N.; DAVIES F. T.; AND BOUTTON T. W. Drought estresse influences leaf water content, photosynthesis, and water-use efficiency of *Hibiscus rosa-sinensis* at three potassium concentrations. **Photosynthetica**, Prague, v. 43, p. 135–140, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Cultura do Algodoeiro no Cerrado**. Campina Grande: [s.n.], 2003. 16 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: São Paulo, 1999. 370 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Serviço de Produção de Informação, 1999.

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

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Editora Planta, 2006.

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

FERREIRA, S. M. **Efeito do silício na cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.)**: Aspectos bioquímicos, qualidade de fibra e produtividade. 2008. 68 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2008.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas**. Passo Fundo: Editora da UPF. 2004.
FREIRE, E. C.; BARREIRO NETO, M. **A pesquisa algodoeira no nordeste do Brasil**. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1983. 21 p. (Documentos, 18).

GIONGO, V.; BOHNEN, H. Relação entre alumínio e silício em genótipos de milho resistente e sensível a toxidez de alumínio. **Bioscience Journal**, Darmstadt, v. 27, n. 3, p. 348-356, 2011.

GODOY, L. J. G.; SOUTO, L. S.; FERNANDEZ, D. M.; BÔAS, R. L. V. Uso do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada para milho em sucessão a pastagem de *Brachiaria decumbens*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 1, p. 38-44, 2007.

GOMES, P. F. **Curso de estatística experimental**. 14 ed. ver. e ampl. Piracicaba: Nobel. 2000. 460 p.

GONG, H. J.; CHEN, K. M.; ZHAO, Z. G.; CHEN, G. C.; ZHOU, W. J. Effects of silicon on defense of wheat against oxidative stress under drought at different developmental stages. **Plant Biology**, Chichester, v. 52, p. 592–596, 2008.

GONG, H.; ZHU, X.; CHEN, K.; WANG, S. & ZHANG, C. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. **Plant Science**, Shannon, 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 lagarta-do-dartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, Dordrecht, v. 31, n. 2, p. 305-310, 2002.

GRESPLAN, S. L.; ZANCANARO, L. **Nutrição e adubação do algodoeiro no Mato Grosso**. Rondonópolis: FMT/EMBRAPA, 1999. 95 p. (Boletim, 3).

GUERRERO, A. C.; BORGES, L. da S.; FERNANDES, D. M. Efeito da aplicação foliar de silício em rúcula cultivada em dois tipos de solos. **Bioscience Journal**, Darmstadt, v. 27, n. 4, p. 591-596, 2011.

GUINN, G.; MAUNEY, J.R. Fruting in of cotton: I. Effects of moisture status on flowering. **Agronomy Journal**, Madison, v. 76, p. 90-94, 1984.

HANISH, H. C. Zun einfluss der stickstoffdungung und vorbeugender spritzung von natronwasser glas zu weizenpflanzern auf deren widerstandsfähigkeit gegen getreideblattläuse. **Kali- Driefe**, [S. l.], v. 15, p. 287-296. 1980.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water-culture method for growing plants without soil**. Berkeley: Agric. Exp. Stn., Univ. of California, 1950. (Circular, 347).

JARVIS, P. G.; MCNAUGHTON, K. G. Stomatal control of transpiration: scaling up from leaf to region. **Advances in Ecological Research**, London, v. 15, p.1- 49, 1986.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: G. Koogan, 2004. 452 p.

KORNDORFER, G. H.; OLIVEIRA, L. A. Uso do silício em culturas comerciais. In: RODRIGUES, F. de A. Silício na agricultura. In: SIMPÓSIO DE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 5., 2010, Viçosa, MG. **Anais [...]** Viçosa, MG: [s. n.], p. 1-25.
LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. PRADO, C. H. B. A. São Carlos: Rima, 2006. v. 7. 531 p.

LIMA A. L. S.; DAMATTA F. M.; PINHEIRO H. A.; TOTOLA M. R.; LOUREIRO M. E. Respostas fotoquímicas e estresse oxidativo em dois clones de *Coffea canephora* sob condições de déficit hídrico. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 47, p. 239-247, 2002.

LIMA FILHO, O. F. Aspectos gerais sobre o silício em solos, plantas e animais. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 5., 2010, Viçosa, MG. **Anais [...]** Viçosa, MG: UFV, 2010. p. 47-60.

LIMA FILHO, O. F.; SILVA, W. M.; TSAI, S. M. Relationship between silicon content physical and chemical parameters of tropical savanna soils. *In*: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE., 3., 2005, Uberlândia. **Anais [...]** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2005.

LIMA, J. S. **Bioindicação, biomonitoramento**: aspectos bioquímicos e morfológicos. [S. l.], 2001.

LIMA, L. M. de. **Manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow) com fungicidas e silício**. 2006. 81 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

LIMA, M. A.; CASTRO, V. F.; VIDAL, J. B.; ENÉAS FILHO, J. Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, Jaboticabal, v. 42, n. 2, p. 398-403, 2011.

LUNARDON, M. T. **Algodão**. São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.pr.gov.br/seab/deral/cultur13.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2012.

MA, J. F.; TAKAHASHI, E. **Soil fertilizer, and plant silicon research in Japan**. Amsterdam: Elsevier Science, 2002.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, Basel, v. 65, p. 3049-3057, 2008.

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

MADEIROS L. B., VIEIRA A. O., AQUINO B. F. Influência da escória siderúrgica sobre trocas gasosas e produção de biomassa da cana-de-açúcar. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, p. 121-129, 2009.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. Londres: Academic Press, 1995. p. 347-364.

MATA, C. G.; LAMATTINA, L. Nitric oxide induces stomatal closure and enhances the adaptive plant responses against drought stress. **Plant Physiology**, Rockville, v. 126, p. 1196-1204, 2001.

MCMICHAEL, B. L.; JORDAN, W. R.; POWELL, R. D. An effect of water stress on ethylene production by intact cotton petioles. **Plant Physiology**, Baltimore, v. 49, p. 658-660, 1973.

MEDINA, C. L. *et al.* Fisiologia dos citros. In: MATTOS JÚNIOR, D. M. *et al.* **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico de Fundag, 2005. 929 p.

MEIRELLES, F. S. de. **Agricultura orgânica**: Informe do departamento econômico. São Paulo: FAESP. 2001.

MESSINGER, S. M. *et al.* Evidence for involvement of photosynthetic processes in the stomatal response to CO₂. **Plant Physiology**, New York, v. 140, n. 2, p. 771 - 778, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1104/pp.105.073676>. Acesso em: 3 jun. 2013.

MING, D. F., PEI, Z. F., NAEEM, M. S., GONG, H. J. AND ZHOU, W. J. Silicon alleviates PEG-induced water-deficit stresses in upland rice seedlings by enhancing osmotic adjustment. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 198, p. 14–26, 2012.

MITANI, N.; YAMAJI, N.; MA, J. F. Identification of maize silicon influx transporters. **Plant Cell Physiology**, Oxford, v. 50, p. 5-12, 2009.

NEVES, D. C. **Efeito da aplicação de subdoses de glifosato em algodoeiro**. 2009. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, 2009.

O'BRIEN, T. P.; FEDER, N.; MCCULLY, M. E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue. **Protoplasma**, Wien, v. 59, n. 2, p. 368-373, 1964.

OLIVEIRA, F. de A. de; MEDEIROS, J. F. de; OLIVEIRA, F. R. A. de; FREIRE, A. G.; SOARES, L. C. da S. Produção do algodoeiro em função da salinidade e tratamento de sementes com regulador de crescimento. **Revista Ciência Agrônômica**, Jaboticabal, v. 43, n. 3, p. 484-492, 2012.

OLIVEIRA, L. A.; CASTRO, N. M. Ocorrência de Sílica nas Folhas de *Curatella americana* L. e de *Davilla elliptica* St. Hil. **Rev. Horizonte Científico**, Uberlândia, 2002.

OOSTERHUIS, D. M. **Growth and development of a cotton plant**. Fayetteville: University of Arkansas Cooperative Extension Service, 1992. 24 p.

OOSTERHUIS, D.; ZHAO, D.; MURPHY, B. Physiological and yield responses of cotton to mepplus and mepiquat chloride. In: BELTWIDE COTTON PRODUCTION RESEARCH CONFERENCE, 1998, San Diego. **Proceedings** [...] Memphis: National Cotton Council, 1998. p. 1422-1424.

PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D.; TURCO, J. E. P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido à diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 161-169, 2005.

PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D.; TURCO, J. E. P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido à diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 161-169, 2005.

PEARCY, R. W.; PFITSCH, W. A. Influence of Adenocaulon bicolor plants occurring in contrasting forest understory microsites. **Oecologia Journal**, Berlin, v. 86, p. 457 - 462, 1991.

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, 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.

PILON-SMITS, E. A. H.; QUIN, C. F.; TAPKEN, W.; MALAGOLI, M.; SCHIAVON, M. Physiological functions of beneficial elements. **Current Opinion in Plant Biology**, Kidlington, v. 12, p. 267-274, 2009.

PINTO, D. G. **Fotossíntese, crescimento e composição química em plantas de Theobroma cacao L. submetidas a diferentes concentrações de silicato de potássio e sua interação com insetos-praga**. 2011. 84 f. Dissertação (Mestrado Biologia Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análises de solos para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 31 p, (Boletim Técnico, 81).

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 2007. 830 p.

ROMERO-ARANDA M. R., JURADO O., CUARTERO J. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. **Journal Plant Physiology**, Muenchen, v. 163, p. 847–855, 2006.

ROUHI V.; SAMSON R.; LEMEURE R.; DAMME P. V.; Photosynthetic gas exchange characteristics in three different almond species during drought stress and subsequent recovery. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 59, n. 2, p. 117-29, 2007.

RUIZ, H. A.; MIRANDA, J.; CONCEIÇÃO, J. C. S. Contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão para o suprimento de K, Ca, Mg às plantas de arroz. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 1015-1018, 1999.

SANTANA, J. C. F. de; WANDERLEY, M. J. R. **Interpretação de resultados de análises de fibras efetuadas pelo instrumento de alto volume (HVI) e pelo finurímetro-maturímetro (FMT2)**. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1995. 9 p. (Comunicado Técnico, 41).

SECRETARIA DE AGRICULTURA, IRRIGAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA DO ESTADO DA BAHIA - SEAGRI. **Cultura: algodão**. Salvador: Editora Revista Bahia Agrícola, 2006. Disponível em: <http://www.seagri.ba.gov.br/Algodao.htm>. Acesso em: 12 jan. 2019.

SHEN, X.; ZHOU, Y.; DUAN, L.; LI, Z.; ENEJI, A. E.; LI, J. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. **Journal of Plant Physiology**, Muenchen, v. 167, n. 15, p. 1248-1252, 2010.

SHI, X. H.; ZHANG, C.C.; WANG, H.; ZHANG, F. S. Effect of Si on the distribution of Cd in rice seedlings. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 272, p. 53-60, 2005.

SHIMAZAKI, K. I.; DOI, M.; ASSMANN, S. M.; KINOSHITA, T. Light regulation of stomatal movement. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 58, p. 219-247, 2007.

SILVA, D.J.; ALVAREZ, V.H. & RUIZ, H.A. Fluxo de massa e difusão de enxofre para raízes de milho em solos ácidos de Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, MG, v. 22, p. 109-114, 1998.

SILVA, N. M.; RAIJ, B. VAN. *Fibrosas*. In: RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A. M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Fundação IAC, 1997. p. 107-111.

SINGH S. K.; RAJA REDDY K.; Regulation of photosynthesis, fluorescence, stomatal conductance and water-use efficiency of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] walp.) under drought. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, v.105, n.1, p. 40-50, 2011.

SOAVE, J.; MORAES, S. A. Medidas de controle das doenças transmitidas por sementes. In: SOAVE, J.; WETZEL, M. M. V. S. **Patologia de sementes**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 192-259.

SOLOMONS, T. W.; **Química orgânica**. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

SOUZA, C.C. de. **Avaliação de métodos de determinação de água disponível em diferentes solos na cultura do algodoeiro herbáceo**. Areia: CCA/UFPB, 1999. 84 p.

SYVERTSEN, J. P.; LLOYD, J. J. Citrus. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. C. (ed.). **Handbook of environmental physiology of fruit crops**. Boca Raton: CRC, 1994. v. 2, p. 65-99.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2013. 954 p.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUO T., KUMAZAWA K., ISHII R., ISHIARA K., HIRATA H. **Science of the rice plant: physiology**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1995. Cap. 5, p. 420-433.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R. *et al.* (ed.). **Science of the rice plant: physiology**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1995. Cap. 5. p. 420-433.

VIDAL NETO, F. das C.; ANDRADE, F. P. de; SILVA FILHO, J. L. da; CARVALHO, L. P. de. **BRS Topázio**. [S. l.: s. n.], 2010. 2 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/item/18954/1/Algodao-Colorido-Topazio.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2017.

WATKINS, G. M. **Compendium of cotton disease**. St. Paul: APS, 1981. 78 p.

WRANG, S. S.; KIM, K.; HESS, W. M. Variation of silica bodies in leaf epidermal long cells within and among seventeen species of *Oryza* (Poaceae). **Am. J. of Bot.**, Oxford, v. 85, n. 4, p. 461-466, 1998.

XIANG X. C.; ZENG X. X. Effects of Silicon on Chlorophyll Fluorescence and Gas Exchange of *Zizyphus jujuba* cv. Jinsi-xiaozao Under Salt Stress. **Journal of Nanjing Forestry University**, [S. l.], v. 29, n. 1, p. 25-28, 2005.

YOSHIDA, S.; OHNISHI, Y.; KITAGISHI, K. Chemical forms, mobility and deposition of silicon in rice plants. **Soil Science Plant Nutrition**, Singapore, v. 8, p. 15-21, 1962.

ZHANG, S. P.; HU, H.; XU, K.; LI, Z. R.; YANG, Y. P. Flexible and reversible responses to different irradiance levels during photosynthetic acclimation of *Cyrtopodium guttatum*. **Journal of Plant Physiology**, Amsterdam, v. 164, n. 5, p. 11 - 620, 2007.

ZHANG, S. P.; HU, H.; XU, K.; LI, Z. R.; YANG, Y. P. Flexible and reversible responses to different irradiance levels during photosynthetic acclimation of *Cyrtopodium guttatum*. **Journal of Plant Physiology**, Amsterdam, v. 164, n. 5, p. 11 - 620, 2007.

ZUCCARINI, P. Effects of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of (*Phaseolus vulgaris*) under NaCl stress. **Biologia Plantarum**, Prague, v. 52, n. 1, p. 157-160, 2008.

WEN, Y. *et al.* Lint yield, lint quality, and economic returns of cotton production under traditional and regulated deficit irrigation schemes in southwest Texas. **The Journal of Cotton Science**, Baton Rouge, v. 17, n. 1, p. 10-22, 2013.

PETTIGREW, W. T. Moisture deficit effects on cotton lint yield, yield components, and boll distribution. **Agronomy Journal**, Madson, v. 96, n. 2, p. 377 -383, 2004.

SANTANA, J. C. F. *et al.* Características da fibra e do fio do algodão. In: BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. (ed.). **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 2, Cap. 31, p. 1099-1120.