



**UNIVERSIDADE DO OESTE PAULISTA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

ESTER GERÔNIMO SERRA

**DISTINÇÃO FISIOLÓGICA, BIOQUÍMICA, ANATÔMICA E ATENUAÇÃO DA
CAVITAÇÃO DO ALGODOEIRO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE CLORETO DE
MEPIQUATE SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

Presidente Prudente - SP
2023



**UNIVERSIDADE DO OESTE PAULISTA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

ESTER GERÔNIMO SERRA

**DISTINÇÃO FISIOLÓGICA, BIOQUÍMICA, ANATÔMICA E ATENUAÇÃO DA
CAVITAÇÃO DO ALGODOEIRO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE CLORETO DE
MEPIQUATE SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

Dissertação apresentada à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, da Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de concentração: Produção Vegetal.

Orientador:
Prof. Dr. Fábio Rafael Echer

Presidente Prudente - SP
2023

633.89

Serra, Ester Gerônimo.

S487d

Distinção fisiológica, bioquímica, anatômica e atenuação da cavitação do algodoeiro em função da aplicação de cloreto de mepiquate sob deficiência hídrica / Ester Gerônimo Serra. – Presidente Prudente, 2023.

96 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, SP, 2023.

Bibliografia.

Orientador: Fábio Rafael Echer.

1. Regulador vegetal. 2. Deficiência hídrica. 3. Embolia do xilema. 4. Vasos xilemáticos. 5. Regulador de crescimento. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

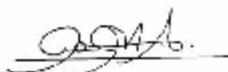
TÍTULO: "DISTINÇÃO FISIOLÓGICA, BIOQUÍMICA, ANATÔMICA E ATENUAÇÃO DA CAVITAÇÃO DO ALGODOEIRO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE CLORETO DE MEPIQUATE SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA"

AUTOR(A): ESTER GERÔNIMO SERRA

ORIENTADOR(A): Dr. FÁBIO RAFAEL ECHER

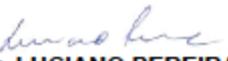
Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE em AGRONOMIA

Área de Concentração PRODUÇÃO VEGETAL, pela Comissão Examinadora:



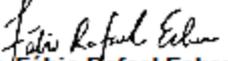
Dra. ANA CLAUDIA PACHECO SANTOS

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)



Dr. LUCIANO PEREIRA

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas (SP)



Dr. Fábio Rafael Echer

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

Data da realização: Presidente Prudente, 26 de junho de 2023.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Geraldo Batista Serra e Gislaine Ferreira Gerônimo Serra por todos os ensinamentos, carinho e apoio. Ao meu irmão Artur Gerônimo Serra pelo companheirismo. Meu muito obrigada, amo todos vocês.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

A toda minha família pelas orações, apoio, carinho e dedicação a mim.

Ao meu professor e orientador Fabio Echer, por acreditar em mim, pelo carinho, por transferir seus conhecimentos a mim e me apoiar para realizarmos esse trabalho.

A todos os integrantes do Grupo de Estudos do Algodão e do Centro de Estudos em Ecofisiologia Vegetal do Oeste Paulista pelas amizades e ajuda nas análises bioquímicas e fisiológicas.

Ao Laboratório de Anatomia e Fisiologia Ecológica de Plantas da Universidade Estadual Paulista, em especial a Professora Rosana Kolb e ao aluno Pedro Firme por todo apoio e ajuda nas análises anatômicas.

Ao professor e pesquisador Luciano Pereira da Universidade Estadual de Campinas e Universidade de Ulm, por toda dedicação e apoio com o tema da cavitação desde o princípio desse trabalho.

Por fim, porém não menos importante, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade do Oeste Paulista de Presidente Prudente, pela oportunidade da realização do Mestrado.

“Uma criança, um professor, um livro e uma caneta podem mudar o mundo!”.
(Malala Yousafzai)

RESUMO

Distinção fisiológica, bioquímica, anatômica e atenuação da cavitação do algodoeiro em função da aplicação de cloreto de mepiquate sob deficiência hídrica

O algodão (*Gossypium L.*) é uma das principais commodities agrícolas mundiais, e o Brasil ocupa posição de destaque na produção, consumo e exportação. É uma planta oriunda de regiões áridas, com característica perene arbustiva que foi adaptada ao cultivo anual não irrigado no Brasil. Para controle do crescimento excessivo da planta e melhoria do índice de colheita, o uso de reguladores de crescimento como o cloreto de mepiquate é prática comum em lavouras de algodão. A deficiência hídrica é um dos fatores que mais limitam a produção, reduzindo a taxa de acúmulo de matéria seca. A ocorrência de embolia está entre os efeitos do estresse hídrico, impedindo a movimentação hídrica nos vasos do xilema. Em função disso, este trabalho foi conduzido com o objetivo de analisar respostas fisiológicas, anatômicas e a vulnerabilidade do algodoeiro à embolia em período de deficiência hídrica das plantas que foram submetidas à aplicação de cloreto de mepiquate. A aplicação do regulador vegetal foi realizada quando a média do comprimento dos 5 nós do ponteiro ultrapassava 3,5 cm. Quando mais de 70% das plantas atingiram o estágio fenológico F7, foi suspendida a irrigação com o objetivo de induzir a deficiência hídrica. O desempenho fisiológico das plantas foi avaliado através das análises biométricas, fisiológicas, (trocas gasosas) e bioquímicas (determinação carboidratos, pigmentos, espécies reativas de oxigênio e peroxidação lipídica). Na parte anatômica foram analisados os estômatos das faces adaxial e abaxial, limbo foliar e xilema do pecíolo e pedúnculo. As curvas de vulnerabilidade foram analisadas através da medida de ar dissipado juntamente com a queda do potencial hídrico das plantas. O experimento se estabeleceu em delineamento inteiramente ao acaso, com fatorial 2 x 2 (com déficit e sem déficit x com regulador e sem regulador). Os resultados foram submetidos a análises de variância (ANAVA, $p < 0,05$) e posteriormente os valores foram comparados pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As plantas que receberam a aplicação do cloreto de mepiquate em condições de manejo hídrico regular apresentaram aumento significativo no peso seco das maçãs. As concentrações de carboidratos, de pigmentos e de radicais livres mantiveram-se inalteradas em ambas às condições hídricas. Entretanto,

durante a deficiência hídrica as trocas gasosas das plantas com regulador apresentaram maior estabilidade mantendo seus parâmetros por mais tempo. O uso do cloreto de mepiquate também aumentou significativamente a densidade estomática em ambas as epidermes da folha. O parênquima lacunoso das folhas não apresentou diferenças significativas em ambos os regimes hídricos, porém na condição de falta de água a espessura da parede celular do xilema e a proporção da área xilemática no pedúnculo foram maiores nas plantas que receberam cloreto de mepiquate, ocorrendo resultados opostos quando analisada a anatomia do pecíolo. As curvas de vulnerabilidade não apresentaram resultados coerentes, apesar de ser notável que houve diferenças entre os tratamentos. Porém são necessários mais testes para se obter exatidão das curvas. Esses resultados mostram que o uso de cloreto de mepiquate pode melhorar parâmetros fisiológicos, bioquímicos e anatômicos do algodoeiro durante o período de deficiência hídrica.

Palavras-chave: Regulador vegetal; deficiência hídrica; embolia do xilema.

ABSTRACT

Physiological, biochemical, anatomical distinction and attenuation of cotton cavitation as a function of the application of mepiquat chloride under water deficit

Cotton (*Gossypium* L.) is one of the world's main agricultural commodities, and Brazil occupies a prominent position in production, consumption and export. It is a plant from arid regions, with a perennial bush characteristic that was adapted to annual non-irrigated cultivation in Brazil. To control excessive plant growth and improve the harvest rate, the use of growth regulators such as mepiquat chloride is a common practice in cotton crops. Water deficiency is one of the factors that most limit production, reducing the rate of dry matter accumulation. The occurrence of embolism is among the effects of water stress, preventing water movement in the xylem vessels. As a result, this work was carried out with the objective of analyzing physiological and anatomical responses and the vulnerability of the cotton plant to embolism in a period of water deficit of the plants that were submitted to the application of mepiquat chloride. The application of the plant regulator was performed when the average length of the 5 pointer nodes exceeded 3.5 cm. When more than 70% of the plants reached the F7 phenological stage, irrigation was suspended in order to induce water deficit. The physiological performance of the plants was evaluated through biometric analyses, carbohydrates, pigments, gas exchange and biochemical parameters (determination of O_2^- , H_2O_2 and lipid peroxidation). For the anatomical evaluation, the stomata of the adaxial and abaxial faces, leaf blade and xylem of the petiole and peduncle were analyzed. The vulnerability curves were analyzed by measuring the dissipated air along with the drop in the water potential of the plants. The experiment was established in a completely randomized design, with a 2 x 2 factorial (with deficit and without deficit x with regulator and without regulator). The results were submitted to analyzes of variance (ANAVA, $p < 0.05$) and later the values were compared by Tukey's test ($p < 0.05$). Those that received the application of mepiquat chloride under conditions of regular water management showed a significant increase in the dry weight of the apples. Carbohydrate content, concentration of pigments and free radicals remained unaltered in both water conditions. However, during water deficit, the gas exchanges of the plants with the

regulator showed greater tolerance, maintaining their parameters for a longer time. The use of mepiquat chloride also significantly increased stomatal density during the water deficit period. The spongy parenchyma of the leaves did not show significant differences in both water regimes, but with the period of lack of water, the thickness of the cell wall of the xylem and the proportion of the xylem area in the peduncle were greater in the plants that received mepiquat chloride, presenting opposite results when analyzing the anatomy of the petiole. The vulnerability curves did not show consistent results, it is notable that there are differences between the treatments, but more tests are needed to obtain the accuracy of the curves. These results show that the use of mepiquat chloride can improve physiological, biochemical and anatomical parameters during the period of water deficit.

Keywords: Vegetable regulator; water deficiency; xylem embolism.

LISTA DE SIGLAS

a.C	– Antes de Cristo
Mpa	– Mega Pascal
RuBP	– Ribulose-1,5-bifosfato
Rubisco	– Ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase
EROs	– Espécies reativas de oxigênio
IPCC	– Painel Intergovernamental para a Mudança de Clima
ABRAPA	- Associação Brasileira dos Produtores de Algodão
CV	- Coeficiente de Variação
DAE	- Dias após a emergência
C.M	- Cloreto de mepiquate
R	- Irrigação
R x C.M	- Irrigação versus Cloreto de mepiquate
GLTP	- GlyTol LibertyLink TwinLink Plus
Kg	- Quilograma
ml	- Mililitro
h	- Hora
cm	- Centímetro
Pn	- Fotossíntese
Gs	- Condutância estomática
Ci	- Concentração interna de CO ₂
E	- Transpiração
EUA	- Eficiência do uso da água
MDA	- Malondialdeido
TCA	- Ácido tricloroacético
TBA	- Ácido tiobarbitúrico
rpm	- Rotação por minuto
F7	- Primeira flor branca no sétimo ramo reprodutivo
mm	- Milímetro
pH	- Potencial hidrogeniônico
nm	- Nanômetro
mg	- Miligrama

LISTA DE SIMBOLOS

CO_2	- Dióxido de carbono
H_2O_2	- Peróxido de hidrogênio
O_2^-	- Oxigênio singleto
N_2	- Nitrogênio
%	- Porcentagem
$\mu\text{mol/g}$	- Micromol por grama
Ψ	- Potencial
Φ	- Diâmetro
μl	- Microlitro
$^\circ\text{C}$	- Graus Celsius
NO_2	- Nitrito

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Concentração de antocianinas nas folhas de plantas de algodão em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate (com e sem CM).....52
- Figura 2** – Concentração de carotenoides nas folhas de plantas de algodão em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).53
- Figura 3** - Assimilação líquida de CO_2 no terceiro dia de deficiência hídrica em plantas de algodão em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).55
- Figura 4** – Transpiração foliar no terceiro dia de deficiência hídrica em plantas de algodão em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).56
- Figura 5** – Condutância estomática no quarto dia de deficiência hídrica em plantas de algodão em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).56
- Figura 6** - Transpiração no quarto dia de deficiência hídrica em plantas de algodão em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas

comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).57

Figura 7 - Condutância estomática no quinto dia de deficiência hídrica em plantas de algodão em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).57

Figura 8 - Transpiração no quinto dia de deficiência hídrica em plantas de algodão em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).58

Figura 9 – Conteúdo de carboidratos das folhas do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).59

Figura 10 - Concentração de malondialdeído nas folhas do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).60

Figura 11 – Concentração de peróxido de hidrogênio nas folhas do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).61

Figura 12 – Concentração de ânion superóxido nas folhas do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).61

Figura 13 – Massa de matéria seca total de maçãs do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate (CM). Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).63

Figura 14 - Altura do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate (CM). Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).63

Figura 15 - Comprimento dos estômatos da face adaxial da folha do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquat . Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).80

Figura 16 - Quantidade dos estômatos da face adaxial da folha do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquat. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).80

Figura 17 - Densidade estomática dos estômatos adaxial da folha do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).81

Figura 18 - Comprimento dos estômatos abaxial da folha do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).81

Figura 19 - Largura dos estômatos da face abaxial da folha do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas

comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).	82
Figura 20 – Comprimento da epiderme superior da folha do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).	83
Figura 21 – Comprimento do parênquima lacunoso da folha do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).	84
Figura 22 - Diâmetro do xilema do pedúnculo das maçãs do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate . Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).	86
Figura 23 - Espessura da parede celular do xilema do pedúnculo das maçãs do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).	86
Figura 24 - Espessura da parede celular do xilema do pecíolo das folhas do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).	87
Figura 25 - Proporção da área do xilema do pecíolo da folha do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).	87

Figura 26 - Curva da vulnerabilidade ao embolismo das plantas que não receberam o tratamento com cloreto de mepiquate 1. Porcentagem de ar dissipado (PGD %), Potencial hídrico (Water potential MPa).	88
Figura 27 - Curva da vulnerabilidade ao embolismo das plantas que não receberam o tratamento com cloreto de mepiquate 2. Porcentagem de ar dissipado (PGD %), Potencial hídrico (Water potential Mpa).	89
Figura 28 - Curva da vulnerabilidade ao embolismo das plantas tratadas com cloreto de mepiquate 1. Porcentagem de ar dissipado (PGD %), Potencial hídrico (Water potential MPa).	89
Figura 29 - Curva da vulnerabilidade ao embolismo das plantas tratadas com cloreto de mepiquate 2. Porcentagem de ar dissipado (PGD %), Potencial hídrico (Water potential MPa).	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Conteúdo de pigmentos em folhas de algodoeiro em função de regime hídrico e tratamento com cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).	52
Tabela 2 - Trocas gasosas durante o período de deficiência hídrica em plantas de algodão em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate.....	54
Tabela 3 – Teor de açúcares solúveis totais da folha, da flor e da maçã do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate.....	58
Tabela 4 – Concentração de malonaldeído, peróxido de hidrogênio e ânion superóxido em folhas do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate.....	60
Tabela 5 – Parâmetros biométricos de algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate.....	62
Tabela 6 – Análise de parâmetros estomáticos em plantas de algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate.	79
Tabela 7 – Espessura dos tecidos foliares em algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate.....	83
Tabela 8 – Parâmetros xilemáticos para o pedúnculo das maçãs e pecíolo das folhas em algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate.....	85

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	23
1.1	Justificativa	24
2	HIPÓTESE	25
3	OBJETIVOS	25
3.1	Objetivo Geral	25
3.2	Objetivos específicos	25
4	REVISÃO DE LITERATURA	26
4.1	História da cotonicultura	26
4.2	Importância econômica da cotonicultura	27
4.3	Características gerais da espécie	28
4.4	Regulador de crescimento	29
4.5	Metabolismo bioquímico e fisiológico do algodoeiro	31
4.6	Deficiência hídrica	31
4.7	Perfil anatômico e vulnerabilidade ao embolismo	33
	REFERÊNCIAS	34
5	CAPÍTULO 1. FISIOLOGIA E BIOQUÍMICA DO ALGODOEIRO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE CLORETO DE MEPIQUATE SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA	39
	Resumo	39
	Abstract	40
5.1	Introdução	41
5.2	Material e Métodos	42
5.2.1	Local experimental	42
5.2.2	Delineamento experimental	43
5.2.3	Instalação do experimento	43
5.2.4	Capacidade de campo do vaso	43

5.2.5	Tratamento com deficiência hídrica	44
5.2.6	Tratamento com cloreto de mepiquate	45
5.3	Avaliações	45
5.3.1	Trocas gasosas	45
5.3.2	Pigmentos.....	46
5.3.3	Açúcares solúveis totais	47
5.3.4	Espécies reativas de oxigênio (EROS).....	48
5.3.4.1	Determinação do radical superóxido (O_2^-)	48
5.3.4.2	Determinação da concentração de peróxido de hidrogênio (H_2O_2)	49
5.3.4.3	Determinação da Peroxidação lipídica	49
5.3.5	Biometria	50
5.3.6	Análises dos dados.....	50
5.4	Resultados	50
5.4.1	Pigmentos.....	51
5.4.2	Trocas gasosas	53
5.4.3	Carboidratos	58
5.4.4	Radicais livres	59
5.4.5	Biometria	62
5.5	Discussão	64
5.6	Conclusão	67
6	CAPÍTULO 2. ANATOMIA E VULNERABILIDADE AO EMBOLISMO DO ALGODOEIRO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE CLORETO DE MEPIQUATE SUBMETIDO À DEFICIÊNCIA HÍDRICA	71
	Resumo	71
	Abstract	73
6.1	Introdução	74
6.2	Material e Métodos	75
6.2.1	Local experimental.....	75

6.2.2	Delineamento experimental.....	75
6.2.3	Instalação do experimento.....	75
6.2.4	Capacidade de campo do vaso	75
6.2.5	Tratamento com deficiência hídrica.....	75
6.2.6	Tratamento com cloreto de mepiquate	75
6.3	Avaliações	75
6.3.1	Anatomia estomática	76
6.3.2	Anatomia do limbo.....	76
6.3.3	Anatomia do xilema do pecíolo da folha e do pedúnculo da maçã.....	76
6.3.4	Curva de vulnerabilidade ao embolismo.....	77
6.3.5	Análises dos dados.....	77
6.4	Resultados	78
6.4.1	Anatomia estomática	78
6.4.2	Anatomia do limbo	82
6.4.3	Anatomia do xilema do pecíolo da folha e pedúnculo da maçã.....	84
6.4.4.	Curva de vulnerabilidade a embolismo.....	88
6.5	Discussão	90
6.6	Conclusão	93
	REFERÊNCIAS	93

1 INTRODUÇÃO GERAL

Entre os maiores produtores de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) do mundo, o Brasil se destaca ano após ano, permanecendo sempre entre os primeiros desse ranking (ABRAPA, 2020). Tal importância se dá pelo fato da cotonicultura fornecer uma das mais importantes fibras para a indústria têxtil. Ao retirar as fibras, o que resulta são as sementes, as quais são usadas como matéria prima para a produção de óleo. Após esse processamento, a torta ou o caroço é prensado e serve como fonte proteica para a fabricação de ração animal. Portanto, pode-se dizer que é uma das culturas com maiores rendimentos versáteis (Alane *et al.*, 2019).

A planta do algodão possui origem em ambientes desérticos, nos quais a escassez de água se faz presente na maior parte do tempo. Sendo assim, a planta possui características fisiológicas tolerantes a períodos mais secos em comparação as outras grandes culturas comerciais (Souza *et al.*, 2007). Porém, a intensidade dos períodos de estiagem durante o cultivo, causada pelas mudanças climáticas, pode levar a uma baixa produtividade de algodão.

Como técnica de manejo, para reduzir a altura das plantas, o uso de reguladores de crescimento se torna comum nessa cultura. Entre os mais comuns e utilizados pelos produtores se destaca o cloreto de mepiquate, que é capaz de controlar o crescimento vegetativo resultando em aumento do índice de colheita, que se baseia na relação da produção de biomassa reprodutiva com a biomassa total. O índice de área foliar também é alterado, havendo uma diminuição de quantidade total de folhas produzidas pelas plantas, o que também altera o consumo de água total e a regulação da transpiração vegetal (Bogiani *et al.*, 2011).

Porém, mesmo seguindo esse manejo, o aumento da temperatura e as mudanças nos padrões de precipitação podem influenciar a sobrevivência vegetal, e estes eventos tendem a ter sua frequência e intensidade aumentadas nas próximas décadas (Choat *et al.*, 2012). Os períodos mais críticos de escassez de água para o crescimento do algodão ocorrem nos estágios fenológicos de floração e formação dos frutos (Almeida *et al.*, 2017). Nesses períodos, a falta de água pode gerar estresse oxidativo que afetará diretamente a produção e transporte de carboidratos (Ullah *et al.*, 2017).

Além do estresse hídrico afetar a produtividade e qualidade da fibra de algodão, pode haver também a formação de bolhas de gás nos feixes xilemáticos, o

que conseqüentemente acarreta a morte do organismo vegetal ou parte dele (Choat *et al.*, 2018; Cardoso *et al.*, 2020). A falha hidráulica vem sendo relatada com uma das principais causas de decadência produtiva e de mortalidade durante períodos de seca (Charrier *et al.*, 2016; Stovall *et al.*, 2019). O impedimento do transporte de água sob tensão ocorre pela ruptura da coluna de água dentro dos vasos do xilema. Esse fenômeno de formação de bolhas de ar é denominado de embolismo ou cavitação (Tyree; Zimmermann, 2013; Taiz; Zeiger, 2017).

Para saber como o algodoeiro lida com a escassez de água é importante caracterizar o quanto a deficiência hídrica afeta o metabolismo fisiológico e bioquímico, bem como a anatomia da planta. Adicionalmente, torna-se necessário avaliar, se a aplicação de cloreto de mepiquate pode modificar o metabolismo geral do algodoeiro e portanto a sua vulnerabilidade ao embolismo. Tais estudos são fundamentais para prevenir problemas futuros causados pelas mudanças climáticas na produção de algodão a nível nacional e mundial (Li *et al.*, 2020a; Wang *et al.*, 2020).

1.1 Justificativa

O uso do cloreto de mepiquate é uma prática de manejo comum no cultivo do algodoeiro. Essa molécula causa o encurtamento dos entrenós que resulta na redução da altura final. Por conta disso, as plantas conseguem tolerar mais os períodos de falta d'água. A aplicação desse regulador vegetal pode não só diminuir o alongamento celular do caule, mas também impactar o metabolismo fisiológico e bioquímico e a anatomia do vegetal como um todo. Cotonicultores brasileiros relatam nos últimos anos a ocorrência de morte de estruturas vegetais isoladas das plantas. Em relação a isso, pesquisadores do mundo todo estão relatando o mesmo problema em florestas, relacionando essas mortes à ocorrência de embolismo nas plantas. O surgimento de bolhas de ar dentro das colunas de água no xilema dificulta as moléculas de água se ligarem e serem transportadas da raiz até as folhas, o que provoca a morte das estruturas vegetais. Então, entender se a aplicação de cloreto de mepiquate causa alteração na fisiologia, bioquímica e anatomia do algodoeiro sob períodos de deficiência hídrica, bem como a relação dessas mudanças com a curva de vulnerabilidade ao embolismo é fundamental para planejar estratégias de mitigação dos efeitos da cavitação.

2 HIPÓTESE

Este estudo testou a hipótese de que a aplicação de cloreto de mepiquate poderia causar maior tolerância do algodoeiro durante períodos de deficiência hídrica, o que conseqüentemente estabilizaria o metabolismo fisiológico por mais dias sob condições de déficit hídrico. Entre as mudanças induzidas pelo regulador vegetal estariam também aquelas decorrentes de alteração na anatomia dos vasos xilemáticos, reduzindo a vulnerabilidade do algodoeiro ao embolismo.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar as alterações que o cloreto de mepiquate causa nas plantas de algodão sob deficiência hídrica e sua relação com a vulnerabilidade ao embolismo.

3.2 Objetivos específicos

- Avaliar o crescimento, acúmulo de biomassa total e das maçãs das plantas que receberam a aplicação de cloreto de mepiquate em comparação com as plantas que não receberam aplicação;
- Avaliar os efeitos da falta de água em relação ao estresse oxidativo presente nas plantas que receberam a aplicação de cloreto de mepiquate e das plantas que não receberam aplicação;
- Avaliar os efeitos da falta de água em relação ao metabolismo fisiológico, mais especificamente as trocas gasosas realizadas pelas plantas que receberam a aplicação de cloreto de mepiquate em comparação com as plantas que não receberam aplicação;
- Avaliar diferenças significativas na anatomia dos estômatos, das células das folhas, dos vasos xilemáticos do pecíolo das folhas e do pedúnculo das maçãs das plantas que receberam a aplicação de cloreto de mepiquate;
- Avaliar se a aplicação de cloreto de mepiquate é capaz de modificar a resposta das plantas em relação a vulnerabilidade ao embolismo.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 História da cotonicultura

É com certa dificuldade que se afirma a área de origem da planta do algodão no mundo, pois não se sabe como e quando ela teria se originado. Sabe-se, contudo, que o algodoeiro é uma das primeiras plantas a ser domesticada pelos humanos (Sousa, 2010). Saunders (1961) encontrou em um sítio arqueológico no Peru, conhecido como “Anchon-Chillon”, algumas fibras primitivas, que após análises dataram ser de 2.500 e 1.750 a.C. Portanto, por essas e outras descobertas, pode-se dizer que as fibras de algodão já eram utilizadas em algumas partes do mundo antes da Era de Cristo.

A princípio, o algodoeiro foi classificado como parte da tribo Hisbiceae, pertencente à família Malvaceae. Porém, em 1979, Fryxell reclassificou a planta do algodão, que passou a pertencer à tribo Gossypiae, permanecendo, portanto, à família Malvaceae e ao gênero *Gossypium*. Atualmente, existem cerca de 50 espécies pertencentes a esse gênero, que estão distribuídas geograficamente em regiões da Ásia, África, Austrália e América (Sousa, 2010).

O desenvolvimento do comércio pelas rotas marítimas e o surgimento das indústrias dispersou o algodoeiro pelo mundo. Porém, após o descobrimento da América, as espécies nativas do Velho Mundo perderam importância econômica e foram relativamente substituídas pelas espécies encontradas em solos americanos. A espécie *Gossypium hirsutum* L. apresenta uma extensa variação botânica, existindo então uma maior quantidade de espécies (Sousa, 2010). Entre as raças encontradas na América, destaca-se a raça *latifolium*, que apresenta característica de cultura anual sendo a mais cultivada até a atualidade. Essa espécie apresenta seu centro de origem no Sul do México. A *G. hirsutum* e *G. barbadense* eram capazes de produzir fibras mais longas, em relação às espécies do Velho Mundo, a *G. arboreum* e *G. herbaceum*; por essa característica, as espécies encontradas no Novo Mundo mudaram as perspectivas agrícolas naquela época (Gillham *et al.*, 1996).

Durante os anos de 1861 e 1865 ocorria a Guerra da Sucessão nos Estados Unidos da América, e alguns refugiados norte-americanos chegaram ao estado de São Paulo, trazendo com eles algumas sementes de algodão herbáceo, com fibras

mais curtas, porém muito mais produtivas, e que seriam cultivadas anualmente. Esses imigrantes tiveram sucesso de produção no país, ocasionando a expansão nos próximos anos para estados de Mato Grosso, Paraná e Goiás, formando a zona meridional de produção brasileira de algodão (Sousa, 2010).

Até aquele momento, o Brasil cultivava no norte do país o *G. barbadense* L. na forma perene. Contudo, após o sucesso do cultivo do algodão *G. hirsutum* L. cultivado de forma anual pelos imigrantes norte-americanos, desencadearam-se grandes produções, ocorrendo exportações principalmente para as tecelagens inglesas, que demandavam muita matéria prima naquela época. Isso se prolongou por alguns anos, tornando-se uma commodity importante, que contribuiu muito para o progresso da agricultura brasileira (Passos, 1977; Freire, 2007).

4.2 Importância econômica da cotonicultura

Desde o princípio da produção de fibras de algodão, a cotonicultura é responsável por movimentar diversos setores da economia nacional e mundial, como, por exemplo, sendo a principal matéria prima para a indústria têxtil e agroindústria. Isso caracteriza o algodão como uma das culturas mais importantes socioeconomicamente (Alves *et al.*, 2021). No mundo, é estimada uma produção de 35 milhões de hectares anualmente, movimentando cerca de 350 milhões de trabalhadores, o que envolve cerca de 12 bilhões de dólares (ABRAPA, 2020).

O Brasil se destaca entre os maiores produtores mundiais, sendo considerado um dos principais produtores e exportadores de fibra, ao lado de Índia, China, Estados Unidos e Paquistão (Severino *et al.*, 2019).

Em relação ao aproveitamento da matéria prima do algodoeiro, destaca-se a fibra, por ter mais de 400 aplicações industriais, dentre as mais comuns e antigas, a confecção de fios para a tecelagem (Sousa, 2010; Alves *et al.*, 2021). Também aproveita-se o caroço, que representa cerca de 60% do peso de produção, e dele é gerado óleo e proteína bruta. Após a refinação do óleo, o produto resultante serve para alimentação humana, fabricação de margarinas, além de ser ingrediente importante para fabricação de sabões. O que sobra da prensa do caroço é conhecido como bagaço, que possui alto valor proteico, que serve como importante fonte de nutrientes para alimentação animal (Severino *et al.*, 2019).

Portanto, a cotonicultura ocupa um papel relevante no comércio mundial. A revalorização das fibras naturais, o preço instável do petróleo e seus derivados, juntamente com as preocupações geradas ao ambiente fazem com que a demanda da produção dessa importante cultura continue a aumentar ano após ano. Por outro lado, o resultado das safras nos últimos anos vem dependendo muito do comportamento climático, principal fator para o desenvolvimento das culturas no país (CONAB, 2022).

4.3 Características gerais da espécie

No Brasil, há diversas cultivares de algodão que apresentam diferentes ciclos, podendo ser tardias ou precoces. A planta do algodão possui características específicas de desenvolvimento, sendo considerada uma das mais complexas morfologias entre as plantas cultivadas. O algodoeiro possui o crescimento indeterminado, um sistema radicular principal do tipo pivotante e com amplas ramificações (raízes laterais), situadas em sua grande maioria nos primeiros 20 cm de profundidade do solo. Seu caule é de perfil ereto, sublenhoso, com altura variando de 0,80 a 2,5 metros e que depende da variedade e manejo da cultura (Sousa, 2010).

Os ramos laterais são projetados a partir do caule, caracterizando-se de dois tipos, os vegetativos e os reprodutivos. Os ramos laterais vegetativos apresentam um crescimento vertical, e podem surgir até no 8° ou 9° nó do ramo principal. Já, os ramos reprodutivos, que são os mais importantes na morfologia do algodoeiro, apresentam crescimento horizontal e podem surgir tanto do ramo principal, quanto dos ramos laterais vegetativos (Silva, 2020).

O grande diferencial dessa cultura está na forma de seu crescimento ser em ziguezague, sendo assim, quando surge um botão floral no nó, o crescimento vegetativo é interrompido e logo depois retorna, crescendo dessa forma em ziguezague (Silva, 2020). As folhas da planta do algodão podem variar de tamanho, pois dependem da variedade cultivada e do ambiente. A coloração foliar varia entre verde escuro, verde claro e avermelhado por efeito das antocianinas presentes nas células (Paixão, 2021).

Outra característica dessa planta tão peculiar, é a variação das cores das pétalas de suas flores. A flor do algodoeiro apresenta característica hermafrodita,

com cinco pétalas de coloração creme na espécie *G. hirsutum*; as quais são envolvidas por três brácteas, de formato triangular com coloração verde. Após a floração ocorrer, inicia-se a autopolinização, que normalmente ocorre nos primeiros horários do dia. Quando se inicia a noite autopolinização, as pétalas começam a sofrer uma transição de cor, tornando-se arroxeadas (Silva, 2020).

A abertura das flores segue um padrão determinado, sendo assim, primeiro acontece a abertura da primeira flor do primeiro ramo reprodutivo, e isso leva em média 3 dias da abertura de uma flor para outra. Após a autofecundação e a mudança da coloração, ocorre o murchamento das pétalas e sua queda, possibilitando ver as pequenas maçãs. Nessa fase, pode ocorrer o que conhecemos como “shedding”, que é a queda das maçãs sendo provocada pela alteração ambiental, como altas temperaturas e deficiência hídrica (Paixão, 2021; Dias, 2021).

4.4 Regulador de crescimento

O uso de reguladores de crescimento é uma das técnicas mais comuns e importantes de manejo agrícola na cotonicultura, pois essa técnica visa reduzir a alocação de biomassa nas partes vegetativas, encurtando a altura total das plantas. Isso favorece a penetração de defensivos agrícolas e a mecanização no período da colheita dos capulhos (Echer *et al.*, 2020).

Os reguladores ou retardantes de crescimento são produtos com substâncias químicas sintéticas capazes de alterar o balanço hormonal das plantas. Assim, reduzem o crescimento indesejável da parte aérea sem causar a diminuição da produtividade (Barreiro *et al.*, 2006). Na cultura do algodão, o regulador vegetal mais comum utilizado mundialmente é o cloreto de mepiquate.

O cloreto de mepiquate é um produto que possuiu a capacidade de inibir a biossíntese das giberelinas, principal grupo de hormônios vegetais responsáveis pelo alongamento celular. Esse produto pertencente ao grupo químico dos amônios quaternários, solúveis em água e com toxicidade aos humanos. O cloreto de mepiquate é um produto sistêmico na planta, ou seja, é absorvido principalmente pelas folhas e redistribuído por toda a planta (Reddy *et al.*, 1990).

Segundo Martins *et al.* (1999), a célula vegetal é envolvida por uma parede celular que pode sofrer alterações em sua estrutura por ação dos reguladores, motivo pelo qual as giberelinas e auxinas interferem na expansão celular. Portanto,

os reguladores possuem capacidade de atuar diretamente nas estruturas celulares e nelas provocarem alterações físicas, químicas e metabólicas. Os hormônios vegetais atuam em primeiro nível na membrana plasmática celular, agindo sobre as proteínas presentes nela (Taiz; Zeiger, 2017).

O uso de regulador vegetal na cultura do algodão, além de controlar o crescimento em altura das plantas, também é capaz de aumentar a espessura das folhas, o peso do capulho, a retenção de frutos nas primeiras posições dos ramos reprodutivos e causar o aumento da coloração esverdeada das folhas (Stewart *et al.*, 2001). Paixão (2016) mostrou que a utilização do cloreto de mepiquate em algodoeiro proporcionou reduções do diâmetro caulinar, número de nós, comprimento do quinto ramo, do total de ramos reprodutivos e área foliar de ambos os genótipos avaliados, porém não houve influência sobre os componentes de produção.

Alguns estudos também comprovaram que o uso do regulador pode interferir nas trocas gasosas, modificando a taxa fotossintética de plantas do algodão (Hodges *et al.*, 1991; Paixão, 2016). Condições propícias e específicas favorecem o fechamento dos estômatos, causando a redução da condutância estomática e a redução da perda de água em condições de solo seco, impactando nas taxas fotossintéticas (Medina *et al.*, 1999; Paixão, 2016).

Wang *et al.* (2014) mostraram que as plantas tratadas com cloreto de mepiquate apresentaram diâmetro do caule e comprimento das células dos vasos xilemáticos significativamente menores que as plantas sem uso de regulador. Quando uma planta passa por um período de escassez de água ocorrem mudanças hormonais, com propósito de minimizar os distúrbios causados por esses períodos de desequilíbrio e preservar a vida da planta. Essas mudanças condicionam o metabolismo que tem efeito em curto prazo, bem como os efeitos morfogenéticos em longo prazo (Paixão, 2016).

Sendo assim, o uso do cloreto de mepiquate tem sido uma estratégia na cotonicultura, visando o encurtamento dos entrenós, redução do porte da planta e modulação da área foliar. Ao observar a influência que este regulador possui de fato sobre o diâmetro celular e espessura da parede celular das células xilemáticas do pecíolo, do pedúnculo e nos estômatos das folhas do algodoeiro, poderemos correlacionar com a sua vulnerabilidade ao embolismo, que é uma das grandes

problemáticas ao se tratar do impacto das mudanças climáticas sobre a produção agrícola.

4.5 Metabolismo bioquímico e fisiológico do algodoeiro

A planta do algodão possui metabolismo C3 e apresenta alta taxa de respiração durante a noite. O algodoeiro apresenta elevada complexidade morfológica e fisiológica. Por possuir um ajustamento osmótico, juntamente com um metabolismo fisiológico e bioquímico funcional, a planta do algodão tem a capacidade de ser mais tolerante a períodos de seca (Beltrão, 2006). De acordo com Silva (2020), o algodoeiro demanda uma faixa de precipitação anual com cerca de 500 a 1500 mm distribuídos ao longo do ciclo.

Lima (2001) mostrou que a deficiência hídrica pode gerar estresse osmótico, que aumenta as sínteses dos hormônios ácido abscísico e etileno. Esses hormônios participam do metabolismo de amadurecimento e envelhecimento, induzindo a queda das folhas e dos frutos. Quando as plantas passam por um período de estiagem, o potencial hídrico diminui, podendo chegar a valores inferiores a -1,5 MPa. Essa queda faz com que o transporte de seiva inorgânica no xilema, a assimilação líquida de CO₂ e a respiração sejam afetados negativamente (Doorenbos; Kassam, 1979; Loka; Oosterhuis, 2012).

4.6 Deficiência hídrica

O algodoeiro é conhecido por tolerar melhor uma variedade de estresses abióticos em relação às outras grandes culturas comerciais. Mas variações extremas e desequilíbrios climáticos podem colocar em risco a produtividade da cultura (INSTITUTO MATO-GROSSENSE DO ALGODÃO, 2014; Ullah *et al.*, 2017). Para manter a temperatura do dossel no limite ideal e favorável para as atividades enzimáticas, a planta do algodão usa pelo menos 95% da água absorvida do solo (INSTITUTO MATO-GROSSENSE DO ALGODÃO, 2014; Conaty *et al.*, 2015).

Há uma correlação entre déficit hídrico e temperatura da folha, que por sua vez, também está correlacionada com a produtividade da cultura (Conaty *et al.*, 2012). O déficit hídrico é considerado uma das restrições mais significativas para a sobrevivência e crescimento das plantas. As mudanças climáticas têm o potencial de

superar a capacidade das plantas a se adaptarem a essas condições, que mudam rapidamente (Choat *et al.*, 2012).

Para minimizar a transpiração, a planta diminui sua condutância estomática durante a deficiência hídrica. Isso resulta em baixa absorção de carbono, pois a molécula de água em forma de vapor e a molécula de CO₂ atmosférico compartilham a mesma via através dos estômatos (Flexas *et al.*, 2014). Por conta disso, pode se dizer que a principal consequência que a deficiência hídrica causa no vegetal consiste na indisponibilidade de produção de fotoassimilados (Zhang *et al.*, 2016; Broughton *et al.*, 2016).

Li *et al.* (2020) mostraram que a produção de biomassa e fixação do carbono atmosférico pelo algodoeiro reduziram ligeiramente em condições de escassez de água, independente da temperatura. À medida que o déficit hídrico aumenta, a condutância estomática ao vapor da água decresce, resultando em uma baixa concentração e fixação de CO₂ no local de carboxilação de RuBP (ribulose-1,5-bifosfato) pela enzima Rubisco (carboxilase/oxigenase), diminuindo desse modo, a fotossíntese líquida (Flexas *et al.*, 2004).

Entre os solutos mais acumulados durante o período de seca estão os carboidratos (açúcares solúveis totais), que além de serem fontes de energia essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, também têm um papel fundamental no período de deficiência hídrica. Os açúcares são capazes de melhorar a osmoregulação celular quando a deficiência hídrica é moderada. Quando o período de falta de água se torna grave, os carboidratos participam da osmoproteção das células contra as espécies reativas de oxigênio (radicais livres) (Bohnert *et al.*, 1995; Chaves *et al.*, 2003).

O período severo de falta da água associado a altas intensidades de luz resulta no agravamento da desidratação e super excitação dos elétrons dos pigmentos fotossintéticos, levando a produção das espécies reativas de oxigênio (EROs) (Smirnoff, 1993). Essas espécies reativas de oxigênio causam danos oxidativos às macromoléculas vitais para a sobrevivência vegetal, e esses danos são proporcionais à intensidade do estresse oxidativo e consequente da produção das EROs (Lawlor *et al.*, 2002).

Por conta desses fatores, a limitação hídrica está ligada com a produtividade da planta, e a intensidade das perdas depende da quantidade de água e da eficiência do seu uso pelo organismo (Li *et al.*, 2019). A fase de desenvolvimento

reprodutivo do algodoeiro é a mais sensível à ocorrência de déficit hídrico (Loka; Oostehuis, 2012). As projeções do clima global indicam um aumento na intensidade e frequência da seca em regiões em todo o mundo (IPCC, 2018). Portanto, é crucial entender como a disponibilidade de água afeta a produtividade do algodoeiro, para integrar o crescimento e desenvolvimento com a produção.

4.7 Perfil anatômico e vulnerabilidade ao embolismo

O tipo de folha presente no algodoeiro é típico do grupo das eudicotiledôneas, com parênquima paliçádico bem desenvolvido e um parênquima lacunoso bem distribuído. O parênquima paliçádico é um tecido especializado no processo fotossintético, já o tecido lacunoso está relacionado com o armazenamento de água e controle da temperatura foliar. Os estômatos presentes nas folhas do algodão variam entre 37 a 50 estômatos/mm² na superfície adaxial e de 107 a 121 estômatos/mm² na superfície abaxial (Perez e Mendonza, 1990).

A estrutura interna dos pecíolos se parece com a do caule, com feixes contendo xilema para dentro e floema para fora com relação ao centro da estrutura (Perez & Mendonza, 1990). No xilema, as células responsáveis por conduzir água são chamadas de elementos traqueais, que se tornam células não vivas quando atingem a maturidade, sendo subdivididas em traqueídes (Gimnospermas) e elementos de vaso (Angiospermas e algumas Gimnospermas). Ao suspender o alongamento celular, na fase de maturação, surgem perfurações na parede das extremidades que se tornam importantes, visto que, se uma bolha de ar é formada em um elemento de vaso ou traqueias, o fluxo de água pode ser recuado através das perfurações para o elemento de vaso ou traqueia adjacente (Taiz; Zeiger, 2017).

William Harvey em 1628 e Marcello Malpighi em 1661 foram os primeiros pesquisadores a tentar explicar o transporte de água nas plantas. Porém, por muitos anos esses trabalhos foram evitados. O ressurgimento dos estudos sobre esse tema começou com o primeiro artigo publicado em 1966 por John Milburn, sobre a detecção acústica da cavitação em plantas. Em seguida, Milburn, Melvin Tyree e Martin Zimmermann renovaram completamente as abordagens experimentais para a teoria da coesão e tensão (Taiz; Zeiger, 2017).

O fenômeno do surgimento de bolhas é denominado de cavitação, e a interrupção da condutividade hidráulica causada pelo preenchimento do vaso por

gás é referida como embolia. A cavitação rompe as ligações das moléculas da coluna d'água e impede o transporte sob tensão (Taiz; Zeiger, 2017). A integridade da coluna de água está constantemente sob risco de ocorrência de bolhas de ar, impedindo o transporte de água (Tyree; Sperry, 1989). Por conta disso, pode ocorrer a dessecação do órgão e conseqüentemente a morte do vegetal (Tyree; Zimmermann., 2013; Choat *et al.*, 2012).

A vulnerabilidade ao embolismo é um dos fatores mais significativos à determinação da resistência geral das plantas ao estresse hídrico. A estrutura das células xilemáticas e suas dimensões estão correlacionadas com a resistência e/ou vulnerabilidade da planta ao embolismo (Cohard et al., 1990). Nas últimas décadas, acontecimentos generalizados de mortalidade vegetal vêm sendo associados a períodos de secas extremas em todo o mundo (Allen *et al.*, 2010; Choat *et al.*, 2018).

Portanto, a ocorrência gradual de períodos de secas é uma das principais causas das falhas hidráulicas que resultam em embolia nos vasos do xilema, diminuindo a capacidade da planta em fornecer água às folhas, inibindo a fotossíntese e resultando em dessecação e morte vegetal (Mcdowell *et al.*, 2010). Entender se a aplicação de cloreto de mepiquate interfere na vulnerabilidade ao embolismo das plantas de algodão, e se esse manejo altera estruturas anatômicas nas plantas são essenciais para a compreensão de como o algodoeiro reage a períodos de deficiência hídrica.

REFERÊNCIAS

- ABRAPA - Associação Brasileira de Produtores de Algodão. **Números do algodão: o algodão no Brasil**. 2020. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/Dados/Algod%C3%A3o%20no%20Mundo.aspx>. Acesso em: 18 abr. 2020.
- ALANE, G. H. F.; PANDOLFI, M. A. C. Cadeia produtiva do algodão e sua importância para o agronegócio brasileiro. **SIMTEC - Simpósio de Tecnologia da Fatec Taquaritinga**, v. 5, n. 1, p. 280-291, dez. 2019.
- ALLEN, C. D. *et al.* A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 4, p. 660–684, fev. 2010.
- ALMEIDA, E. S. A. B.; PEREIRA, J. R.; AZEVEDO, C. A.; ARAUJO, W. P.; ZONTA, J. H.; CORDÃO, M. A. Algodoeiro herbáceo submetido a déficit hídrico: produção. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos, v.13, n. 1, p.22-28, 2017.

ALVES, L. R. A.; SANCHES, A. L. R.; OSAKI, M.; BARROS, G. S. A. C.; ADAMI, A. C. O. Cadeia agroindustrial e transmissão de preços do algodão ao consumidor brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 59, n. 3, 2021.

BARREIRO, A. P.; ZUCARELI, V.; ONO, E. O.; RODRIGUES, L. D. Análise de crescimento de plantas de manjeriço tratadas com reguladores vegetais. **Áreas básicas, Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 4, p. 563-567, 2006.

BELTRÃO, N. E. M. Fisiologia da produção do algodoeiro. **Embrapa Algodão**, Campina Grande, v. 94, 2006.

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, jan./abr. 2011.

BOHNERT, H. J.; NELSON, D. E.; JERSEN, R. G. Adaptations to environmental stresses. **Plant Cell**, v. 7, p. 1099–1111, jul. 1995.

BRODRIBB, T.; HILL, R. S. The importance of xylem constraints in the distribution of conifer species. **New Phytologist**, Austrália, v. 143, p. 365–372, 1999.

BROUGHTON, K. J.; SMITH, R.; DUURSMA, R.; TAN, D. K.; PAYTON, P.; BANGE, M. P.; *et al.* Warming alters the positive impact of elevated CO₂ concentration on cotton growth and physiology during soil water deficit. **Functional Plant Biology**, v. 44, n. 2, p. 267-278, 2016.

CARDOSO, A. A.; BATZ, T. A.; MCADAM, S. A. Xylem embolism resistance determines leaf mortality during drought in *Persea americana*. **Plant Physiology**, v. 182, n. 1, p. 547–554, 2020.

CHARRIER G.; TORRES-RUIZ J. M.; BADEL E. Evidence for hydraulic vulnerability segmentation and lack of xylem refilling under tension. **Plant Physiology**, v. 172, n. 3, p. 1657–1668, 2016.

CHAVES, M. M.; MOROCO, J. P.; PEREIRA, J. S. Understanding plant responses to drought - from genes to the whole plant. **Functional Plant Biology**, v. 30, p. 239 – 264, 2003.

CHOAT, B.; BRODRIBB, T. J.; BRODERSEN, C. R.; DUURSMA, R. A.; OPEZ, R.; MEDLYN, B. E. Triggers of tree mortality under drought. **Nature**, v. 558, p. 531–539, 2018.

CHOAT, B.; JANSEN, S.; BRODRIBB, T. J.; COCHARD, H.; DELZON, S.; BHASKAR, R. *et al.* Global convergence in the vulnerability of forests to drought. **Nature**, v. 491, p. 752–755, 2012.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. **Conab**, Brasília, v. 10, n. 12, 2023.

CONATY, W. C.; BURKE, J. J.; MUHAN, J. R.; NEILSEN J. E.; SUTTON, B. G. Determining the optimum plant temperature of cotton physiology and yield to improve plant-based irrigation scheduling. **Crop Science**, v. 52, p. 1828–1836, 2012.

CONATY, W. C.; MAHAN, J. R.; NEILSEN, J. E.; TAN, K. Y.; YATES, S. J.; SUTTON, B. G. The relationship between cotton canopy temperature and yield, fibre quality and water-use efficiency. **Field Crops Research**, v. 183, p. 329–341, 2015.

DIAS, K. M. M. **Estratégias de manejo do déficit hídrico nas fases fenológicas de genótipos de algodoeiro colorido**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba, 2021.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. 33. ed. Roma - Itália: Food and agriculture organization of the united nations - FAO, 1979.

ECHER, F. R.; ROSOLEM, C. A.; MELLO, P. R. **Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso**. 4. ed. Cuiabá: Casa da Árvore, 2020.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; LORETO, F.; CORNIC G.; SHARKEY, T. D. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 Plants. **Plant Biology**, v. 6, n. 3, p. 269-279, 2004.

FREIRE, E. C. **Algodão no cerrado do Brasil**. 1. ed. Brasília, DF: ABRAPA, 2007.

FRYXELL, P. A. **The natural history of the cotton tribe (Malvaceae, Tribe Gossypieae)**. Michigan: Texas A & M University Press, 1979.

GILLHAM, F. E. M.; BELL, T., ARIN, T., MATTHEWS, G., HEARN, B. A., RUMEUR, C.Le. **Cotton production prospects for the next decade** - World Bank Technical Paper 287. Washington, DC: World Bank, 1996.

HODGES, H. F.; REDDY, V. R.; REDDY, K. R. Mepiquat chloride and temperature effects on photosynthesis and respiration of fruiting cotton. **Crop Science**, Madison, v. 31, n. 5, p. 1301-8, 1991.

INSTITUTO MATO-GROSSENSE DO ALGODÃO – IMAMT. **O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes**. 1. ed. Cuiabá: Editora IMAmt, 2014.

LAWLOR, D. W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell & Environment**, v. 25, n. 2, p. 275-294, 2002.

LI, X.; SHI, W.; BROUGHTON, K.; SMITH, R.; SHARWOOD, R.; PAYTON, P.; BANGE, M.; TISSUE, D. T. Impacts of growth temperature, water deficit and heatwaves on carbon assimilation and growth of cotton plants (*Gossypium hirsutum* L.). **Environmental and Experimental Botany**, v. 179, 2020b.

LI, X.; SMITH, R.; CHOAT, B.; TISSUE, D. T. Drought resistance of cotton (*Gossypium hirsutum*) is promoted by early stomatal closure and leaf shedding. **Functional Plant Biology**, v. 47, n. 2, p. 91–98, 2020a.

LOKA, D. A.; OOSTERHUIS, D. M. **Flowering and fruiting in cotton: water stress and reproductive development in cotton**. 8. ed. Tennessee: The cotton foundation, 2012.

MARTINS, M. B.; CASTRO, P. R. Reguladores vegetais e a anatomia da folha de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv. Ângela Gigante. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 3, p. 693-703, jul. 1999.

MCDOWELL, N. G.; SEVANTO, S. The mechanisms of carbon starvation: how, when, or does it even occur at all? **The new phytologist**, v. 186, n. 2, p. 264-266, 2010.

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; MENEZES, M. Condutância estomática, transpiração e fotossíntese em laranja 'valência' sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 11, n. 1, p. 29-34, 1999.

PAIXÃO, A. P. **Caracterização fisiológica, bioquímica e anatômica em genótipos de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. var. *latifolium* Hutch) em função da aplicação de cloreto de mepiquat**. 2016. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio De Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2016.

PAIXÃO, P. A. **Caracterização morfofisiológica e bioquímica de algodoeiro herbáceo (*Gossypium Hirsutum* L. Var. *Latifolium Hutch*) em função de doses e fontes de nitrogênio com e sem suplementação hídrica**. 2021. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio De Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2021.

PASSOS, S. M. G. **Algodão**. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1977.

REDDY, V. R.; BAKER, D. N.; HODGES, H. F. Temperature and mepiquat chloride effects on cotton canopy architecture. **Agronomy Journal**, v. 82, n. 2, p. 190-195, 1990.

SAUNDERS, J. H. **The wild species of *Gossypium* and their evolutionary history**. London: Oxford University Press, 1961.

SEVERINO L. S.; RODRIGUES S. M. M.; CHITARRA L. G.; LIMA FILHO J.; CONTINI E., MOTA M. M.; MARRA R.; ARAÚJO A. A. **Produto: algodão - parte 01: caracterização e desafios tecnológicos**. Embrapa, 2019.

SILVA, D. B. **Caracterização fisiológica, bioquímica e anatômica de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. var. *latifolium* Hutch) em função da aplicação foliar de silício**. 2020. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2020.

SMIRNOFF, N. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. **New Phytologist**, v. 125, n. 1, p. 27-58, 1993.

SOUSA, L. B. O algodoeiro: alguns aspectos importantes da cultura. **Revista Verde**, Mossoró - RN, v. 5, n. 4, p. 19-26, 2010.

SOUZA, F. S.; FARINELLI, R.; ROSOLEM, C. A. Desenvolvimento radicular do algodoeiro em resposta à localização do fertilizante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 2, p. 387-392, 2007.

STEWART, A. M.; EDMISTEN, K. L.; WELLS, R.; JORDAN, D. L.; YORK, A. C. Wick applicator for applying mepiquat chloride on cotton: I. Rate response of wick and spray delivery systems. **Journal of Cotton Science**, v. 5, n. 1, p. 9-14, 2001.

STOVALL, A. E. L.; SHUGART, H.; YANG, X. Tree height explains mortality risk during an intense drought. **Nature communications**, v. 10, 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. ed. 6. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TYREE, M. T.; SPERRY, J. S. Vulnerability of xylem to cavitation and embolism. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 40, p. 19-38, 1989.

TYREE, M. T.; ZIMMERMANN, M. H. **Xylem structure and the ascent of sap**. 2. ed. Berlin: Springer, 2013.

ULLAH, A.; SUN, H.; YANG, X.; ZHANG, X. Drought coping strategies in cotton: increased crop per drop. **Plant Biotechnology Journal**, v. 15, n. 3, p. 217-284, 2017.

WANG, D. R.; GORE, M. A.; VENTURAS, M. D.; PAULI, D.; MACKAY, D. S.; HUNSAKER, D. J.; THORP, K. R.; WANG, D. R., PAULI, D. Use of hydraulic traits for modeling genotype-specific acclimation in cotton under drought. **New Phytologist**, v. 228, n. 3, p. 898-909, 2020.

WANG, L.; MU, C.; DU, M.; CHEN, Y.; TIAN, X.; ZHANG, M.; LI, Z. The effect of mepiquat chloride on elongation of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) internode is associated with low concentration of gibberellic acid. **Plant Science**, v. 225, p. 15-23, 2014.

ZHANG Y.-J.; ROCKWELL F. E.; GRAHAM A. C.; ALEXANDER T.; HOLBROOK M. H. 2016. Reversible leaf collapse: a potential 'circuit breaker' against cavitation. **Plant Physiology**, v. 172, n. 4, p. 2261–2274, 2016.

5 CAPÍTULO 1. FISILOGIA E BIOQUÍMICA DO ALGODOEIRO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE CLORETO DE MEPIQUATE SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA

Resumo

O algodoeiro é uma planta com característica perene arbustiva que foi adaptada ao cultivo anual não irrigado no Brasil. Visando o manejo do crescimento excessivo da planta e a melhoria do índice de colheita, o uso de reguladores de crescimento como o cloreto de mepiquate é prática comum em lavouras de algodão. Dentre os fatores ambientais, a deficiência hídrica é um dos que mais limitam sua produção. Em função disso, este trabalho foi conduzido com o objetivo de analisar respostas fisiológicas e bioquímicas do algodoeiro em função da deficiência hídrica e da aplicação de cloreto de mepiquate. A aplicação do regulador vegetal foi realizada quando a média do comprimento dos 5 nós do ponteiro excedia 3,5 cm, seguindo a recomendação de 15g/200l/ha. Quando mais de 70% das plantas atingiram o estágio fenológico F7, foi suspendida a irrigação com o objetivo de induzir a deficiência hídrica. As análises do desempenho fisiológico das plantas ocorreram através das variáveis biométricas, fisiológicas, (trocas gasosas) e bioquímicas (concentrações foliares de açúcares solúveis totais, pigmentos fotossintéticos, espécies reativas de oxigênio e peroxidação lipídica). O experimento se estabeleceu em delineamento inteiramente ao acaso, com fatorial 2 x 2 (com déficit e sem déficit x com regulador e sem regulador). Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANAVA, $p < 0,05$) e posteriormente os valores foram comparados pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As plantas que receberam a aplicação do cloreto de mepiquate em condições de manejo hídrico regular apresentaram aumento significativo no peso seco das maçãs. O conteúdo de carboidratos, pigmentos e O_2^- e H_2O_2 mantiveram normalidade em ambas as condições hídricas. Entretanto, durante a deficiência hídrica as trocas gasosas das plantas tratadas mantiveram-se estáveis por mais tempo. Esses resultados mostram que o uso de cloreto de mepiquate pode melhorar parâmetros fisiológicos, bioquímicos durante o período de deficiência hídrica.

Palavras-chave: Regulador vegetal; espécies reativas de oxigênio; trocas gasosas.

Abstract

Cotton is a perennial shrub plant that has been adapted to annual non-irrigated cultivation in Brazil. Aiming at managing excessive plant growth and improving the harvest rate, the use of growth regulators such as mepiquat washing is a common practice in cotton washing. Among the environmental factors, water deficiency is one of the most limiting its production. As a result, this work was controlled with the objective of analyzing the regulations and biochemicals of the cotton plant in a period of water deficit of the plants that were left to the application of mepiquat chlorine. The application of the plant regulator was performed when the average length of the 5 pointer nodes exceeded 3.5 cm, following the recommendation of 15g/200l/ha. When more than 70% of the plants reached the F7 phenological stage, irrigation was suspended in order to induce water stress. The analyzes of the physiological performance of the plants occurred through biometric variables, carbohydrates, pigments, gas exchange and biochemical parameters (determination of O_2^- , H_2O_2 and lipid peroxidation). The experiment was established in a completely randomized design, with a 2 x 2 factorial (with deficit and without deficit x with regulator and without regulator). The results were examined using analysis of variance (ANAVA, $p < 0.05$) and later the values were compared using Tukey's test ($p < 0.05$). The plants that received the application of mepiquat chlorine under conditions of regular water management showed a significant increase in the dry weight of the apples. Carbohydrate content, pigment concentration and free radical concentration remained normal in both water conditions. However, during water deficit, the gaseous exchanges of the treated plants showed greater tolerance, keeping their values stable for a longer time. These results show that the use of mepiquat chlorine can improve physiological and biochemical parameters during the period of water deficit.

Keywords: Plant regulator; reactive oxygen species; gas exchange.

5.1 Introdução

Nos últimos anos, a produção de algodão se destacou entre as commodities que mais movimentam empregos em todo o mundo, se tornando responsável por movimentar bilhões de dólares (ABRAPA, 2021). Entre as plantas comerciais agrícolas, o algodoeiro é considerado a que possui uma morfologia de crescimento mais diferenciada (Silva, 2020). O manejo depende da cultivar utilizada na produção, a planta do algodão pode chegar a 2,5 metros de altura (Sousa, 2010). Por conta disso, o uso de reguladores de crescimento auxilia no controle da altura das plantas cultivadas, pois esse manejo visa também ajudar o contato de defensivos agrícolas por toda parte da planta, além de manter um padrão de tamanho que facilita a colheita mecanizada (Echer; Rosolem; Mello, 2019).

O regulador vegetal mais comum utilizado pelos cotonicultores é o cloreto de mepiquate. Esse produto age inibindo a biossíntese de giberelinas, que têm a função de alongar as paredes celulares das células (Reddy; Kaker; Hodges, 1990). Porém, o uso de cloreto de mepiquate em plantas de algodão não só altera a altura das plantas, como também pode aumentar a espessura das folhas e o peso do capulho (Stewart *et al.*, 2001). Paixão (2016) identificou que o uso desse produto também pode interferir nas respostas fisiológicas de trocas gasosas, como redução da condutância estomática em condições de deficiência hídrica do solo.

Mesmo o algodoeiro possuindo a capacidade de tolerar períodos maiores de deficiência hídrica em comparação com outras plantas cultivadas, o desequilíbrio climático pode diminuir a capacidade de produção de biomassa e fibras (INSTITUTO MATO-GROSSENSE DO ALGODÃO, 2014). A deficiência hídrica é considerada um dos principais problemas para a produção agrícola mundial, uma vez que as plantas de algodão utilizam até 95% da água absorvida do solo para manter a temperatura ideal para o funcionamento das enzimas e metabolismo fisiológico no dossel da planta (INSTITUTO MATO-GROSSENSE DO ALGODÃO, 2014; Conaty *et al.*, 2015).

Com o aumento da intensidade da falta de água no solo, ocorre a diminuição gradual da concentração e fixação de CO₂, dessa forma ocorre a queda na realização da fotossíntese nas clorofilas. Com redução da fotossíntese, a produção de açúcares solúveis totais diminui, ou seja, as moléculas de carboidratos (Flexas *et al.*, 2004). Os carboidratos além de servirem como fonte de energia para o bom

funcionamento do metabolismo biológico, também atuam na osmorregulação e osmoproteção celular contra os radicais livres (Chaves; Moroco; Pereira, 2003).

A falta de água no solo, juntamente com a alta luminosidade, são capazes de gerar a excitação dos elétrons dos pigmentos fotossintéticos, o que pode causar a produção de moléculas reativas de oxigênio, que são responsáveis por gerar o estresse oxidativo (Smirnoff, 1993). Segundo os estudos nos últimos relatórios lançados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, haverá aumento na intensidade e frequência de períodos de seca em regiões de todo o mundo (IPCC, 2021). Por conta disso é fundamental entender se a aplicação de cloreto de mepiquate pode melhorar o desenvolvimento do algodoeiro a períodos críticos de falta de água.

5.2 Material e Métodos

5.2.1 Local experimental

O experimento foi realizado no Centro de Estudos em Ecofisiologia Vegetal do Oeste Paulista, situado nas dependências da Universidade do Oeste Paulista, no campus II, em Presidente Prudente – SP, entre os meses de julho a setembro de 2021.

A unidade experimental foi constituída por 24 vasos plásticos de 8 litros cada. Para o cultivo das plantas foram utilizados 6 kg de terra vegetal por vaso. Os vasos foram distribuídos aleatoriamente dentro das duas câmeras de temperatura e luminosidade controladas (fitotron) com dimensões internas de 2,44 metros de comprimento, por 2,22 metros de largura e 2,20 metros de altura. Cada câmara fitotron possuía 8 lâmpadas fluorescentes de 250 W cada, que foram capazes de fornecer luminosidade e temperatura suficientes para possibilitar o crescimento vegetal em seu interior. O experimento foi conduzido com 14 horas de luz e 10 horas de escuro, com temperaturas iguais a $32^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ diurno e $22^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ noturno.

O experimento foi desenvolvido nos fitotrons porque no período experimental era inverno no Brasil, com características de temperaturas baixas, baixa luminosidade e pouca precipitação pluviométrica, impedindo a evolução do experimento em casa de vegetação.

5.2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em esquema fatorial 2 x 2, inteiramente casualizado, com seis repetições cada. Os fatores foram o regime hídrico (controle e déficit) e o regulador de crescimento (com e sem). Durante todo o período de condução do experimento foi realizado o rodízio dos vasos, tanto dentro quanto entre as câmeras fitotron, visando evitar a seleção do ambiente sob as plantas.

5.2.3 Instalação do experimento

No dia 18 de julho de 2021 foram separados 24 vasos plásticos com capacidade de 8 litros cada. Os vasos apresentavam 5 perfurações no seu interior para ocorrer a perfeita drenagem da água. Nesse dia todos os vasos foram preenchidos com terra vegetal até completarem seu volume máximo, que foi aproximadamente 6 kg.

Após preencher todos os vasos com a quantidade de terra estabelecida foi realizada a irrigação para o solo “assentar”. Em seguida, foram realizadas cinco covas pequenas no centro dos vasos para a deposição das sementes de algodão (*Gossypium hirsutum* L.), nas quais foram semeadas a cultivar FM 985GLTP, a qual pertence à FiberMax® da empresa BASF Agricultura. A germinação ocorreu com 5 dias após a semeadura. Após uma semana foi realizada a retirada das plantas que apresentaram tamanhos menores, visando deixar apenas uma planta por vaso. A cultivar utilizada apresenta ciclo de 180 a 190 dias, alta taxa de crescimento e elevada taxa de produtividade, folha de tamanho médio, resistência ao acamamento, maçã ovalada média, sistema radicular agressivo e tecnologia GLTP (GlyTol LibertyLink TwinLink Plus), a qual fornece proteção contra as lagartas mais difíceis de serem controladas no algodão. As análises iniciaram com 75 dias após a emergência com altura média das plantas de 70 cm.

Foi escolhido cultivar as plantas em terra vegetal porque seria capaz de fornecer a nutrição e correção do solo adequada para o desenvolvimento das plantas, além de facilitar a instalação e desenvolvimento do experimento (Anexo 1).

5.2.4 Capacidade de campo do vaso

Antes da semeadura foi realizada a análise de capacidade de campo do vaso pelo método gravimétrico, para assim estabelecer de forma correta o fornecimento de água durante o desenvolvimento do experimento. A capacidade de campo se refere ao volume máximo de água que um solo bem drenado pode armazenar. Para realização da análise foi utilizado um vaso do experimento com terra vegetal seca e bem aerada, o qual foi pesado em balança analítica com capacidade de até 20 kg. Primeiramente, foi pesado o vaso com a terra vegetal seca, o peso do vaso foi de 4,872 kg; sendo esse valor pertencente a todos os vasos do experimento. Em seguida, com a ajuda de Becker de 200 ml foi adicionada aos poucos a quantidade de água da capacidade do Becker. Essa etapa foi realizada com cautela, esperando aproximadamente entre 2 e 3 minutos entre cada aplicação de água, visando aguardar tempo suficiente para ocorrer a drenagem. Foi realizado o cálculo da quantidade de água que estava sendo aplicada e o aumento de kg na balança. Esse processo foi realizado até que o solo apresentasse saturação, ou seja, quando pelos furos na parte inferior do vaso drenasse a primeira gota de água. Dessa forma, foi estabelecido 1,7 litros de água para a capacidade de campo, com o peso de 6,385 kg.

Portanto, desde a semeadura, a irrigação foi realizada com base no peso que o solo do vaso apresentou ao chegar na capacidade de campo. Conseqüentemente, o trabalho ocorreu pesando os seis vasos, calculando a média do peso e acrescentado a quantidade de água que estava faltando para se chegar à capacidade de campo. No início, por haver baixa evapotranspiração, as irrigações dos vasos ocorreram aproximadamente a cada 4 dias. Com o crescimento das plantas e com o aumento da evapotranspiração, os dias de irrigação por semana aumentaram, chegando ao final do experimento a cada 2 dias.

5.2.5 Tratamento com deficiência hídrica

Quando a maioria das plantas atingiu o estágio fenológico F7 (primeira flor branca no sétimo ramo reprodutivo – Marur; Ruano, 2001), foi estabelecido o início da deficiência hídrica. Sendo assim, todas as plantas e tratamentos foram irrigados de acordo com a capacidade de campo e após 24h dessa última irrigação as plantas começaram a ser analisadas. Nessa fase a irrigação foi suspensa totalmente para os tratamentos com deficiência hídrica (déficit hídrico com e sem regulador). Esses

tratamentos permaneceram sem nenhuma irrigação até apresentarem sua taxa de assimilação de CO₂ próxima a zero, o que levou cerca de 5 dias para acontecer.

Os outros tratamentos (regime hídrico controle com e sem regulador) receberam irrigação diariamente de acordo com a necessidade.

5.2.6 Tratamento com cloreto de mepiquate

As plantas de algodão foram monitoradas a cada 3 dias a partir da semeadura, porém foi necessário ter uma maior atenção quando as plantas atingiram sua fase fenológica no estágio B1 (1º botão floral), pois é quando a planta apresenta maior crescimento vegetativo. A partir dessa fase, com intenção de mantermos um crescimento mais controlado e uma redução significativa na altura das plantas via diminuição dos entrenós, foi aplicado o regulador vegetal (Cloreto de Mepiquate), sempre aplicado quando a média do comprimento dos últimos cinco entrenós apresentava-se maior do que 3,5 cm.

Para essa medição, utilizou-se uma trena de medição comum com base em centímetros, e iniciou-se a contagem do primeiro nó do ápice da planta (considerando como o primeiro nó aquele que tinha distância de no mínimo 1,2 cm do segundo nó), até o quinto entrenó. Com o resultado da medida, o valor foi dividido por cinco para obter a média. Foi utilizado como critério técnico para decidir se seria necessária a aplicação do cloreto de mepiquate, a distância de crescimento normal até 3,5 cm. Quando a média dos últimos cinco entrenós ultrapassasse esse valor era um indicativo que a planta estava crescendo de forma descontrolada e indesejada e era feita a aplicação do regulador. A dose aplicada do regulador vegetal foi de acordo com as recomendações de Echer e Rosolem (2017), a qual baseia-se na altura da planta. A dose estabelecida foi de 15g de ingrediente ativo em 200 litros por hectare. Com o cálculo da área dos vasos encontrou-se a quantidade de 15g/200l/ha que precisaria ser aplicada nas plantas. Para a aplicação, utilizou-se um borrifador manual.

5.3 Avaliações

5.3.1 Trocas gasosas

Foram realizadas medidas pontuais diárias da assimilação líquida de CO₂ (A), condutância estomática (Gs), concentração interna de CO₂ (Ci) e transpiração (E), através de um analisador de gases por infravermelho (Li-6400XTR, LiCor, EUA), com fluorômetro de luz modulada (LI-6400-40) acoplado à câmara de amostragem do Li 6400XTR. A partir dessas medidas foi calculada a eficiência do uso da água (EUA=A/E). Para realização dessas medidas, no último dia de irrigação foram demarcadas as folhas que seriam utilizadas sempre para essa análise, isto é, a terceira folha sadia e totalmente expandida a partir do ponteiro. A irradiância utilizada na câmara de amostragem foi estabelecida em 1200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, com uma concentração de CO₂ de 400 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ de ar. A temperatura sempre estabelecida com o valor existente no fitotron e a umidade controlada em aproximadamente 43%.

As análises eram realizadas sempre às 11h da manhã, visto que a iluminação da câmara estava programada para iniciar às 7h. Como se tratava de um máximo de luminosidade e este foi mantido durante todo o período de luz do fitotron, não foi necessário estabelecer o horário de maior demanda de luz do dia. Cada análise teve uma duração de aproximadamente 2 minutos. As medidas de trocas gasosas foram realizadas todos os dias da mesma maneira, até o quinto dia, quando as plantas com deficiência hídrica apresentaram assimilação fotossintética próxima a zero. Nesse momento o experimento foi finalizado, havendo a coleta das folhas para a bioquímica e seu armazenamento imediato em nitrogênio líquido e posteriormente em ultra freezer a -80°C.

5.3.2 Pigmentos

Para a determinação da concentração de pigmentos (clorofila *a*, clorofila *b*, carotenoides e antocianinas). Primeiramente, pesou-se 50 mg de tecido foliar fresco, depois esse material foi macerado em nitrogênio líquido e depositado em um tubo Falcon de 15 mL. Com o tecido foliar bem macerado, foi acrescentado 3 mL de solução tamponada TRIS (hidroximetil aminometano), a qual foi homogeneizada e colocada no freezer por 1 hora, para a liberação dos pigmentos. Na sequência, os tubos foram colocados para centrifugar a 200 rpm, por cinco minutos a 4 °C. Ao fim da centrifugação, foram retirados 2 mL do sobrenadante e colocados em um tubo de vidro. A leitura foi realizada em um espectrofotômetro nos comprimentos de onda

663 nm para clorofila a, 647 nm para clorofila b, 537 nm para antocianinas e 470 nm para carotenoides. Os resultados foram calculados seguindo as seguintes equações (Sims; Gamon, 2002):

$$\text{Clorofila } a \text{ } (\mu\text{mol/g}) = 0.01373 \times (\text{Abs}663) - 0.000897 \times (\text{Abs}537) - 0.003046 \times (\text{Abs}647)$$

$$\text{Clorofila } b \text{ } (\mu\text{mol/g}) = 0.02405 \times (\text{Abs}647) - 0.004305 \times (\text{Abs}537) - 0.005507 \times (\text{Abs}663)$$

$$\text{Antocianina } (\mu\text{mol/g}) = 0.08173 \times (\text{Abs}537) - 0.00697 \times (\text{Abs}647) - 0.002228 \times (\text{Abs}663)$$

$$\text{Carotenoide } (\mu\text{mol/g}) = (\text{Abs}470 - (17.1 \times (\text{Cl}a + \text{Cl}b) - 9.479 \times \text{antocianina})) / 119.26$$

5.3.3 Açúcares solúveis totais

O procedimento utilizado para a determinação do conteúdo de açúcares solúveis totais baseou-se na metodologia descrita por Dubois *et al.* (1956). Foram utilizados em torno de 100 mg de tecido vegetal seco, o qual foi macerado em nitrogênio líquido, colocados em tubos Falcon de 15 mL e acrescentado 4 ml de etanol 80%, que ficou em repouso durante 15 minutos. Em seguida, foi colocado para a centrifugação a 5.000 g (=6682 rpm), por 10 minutos, onde ao final, coletou-se o sobrenadante que foi depositado em tubos de vidro com rosca. O precipitado que restou no fundo do tubo Falcon, foi ressuspendido com 3 ml de etanol 80%. Sendo que essa etapa foi repetida por mais duas vezes. Após, foi realizada a junção dos sobrenadantes em um único tubo de vidro com rosca. O volume final foi ajustado com água destilada para 10 ml, com solução padrão fenol a 5%. Para os procedimentos de análises, foi adicionado em tubos de ensaios (dois tubos para cada amostra) 0,5 mL da amostra. Já para o teste “branco”, foi utilizado 0,5 mL de água destilada e em seguida, adicionou-se 0,5 mL de fenol a 5% e agitou-se os tubos vigorosamente. Após agitação, adicionou-se rapidamente 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado (98N) pelas paredes dos frascos e o conteúdo foi novamente agitado, e em seguida os mesmos permaneceram em repouso até apresentarem igualdade com a temperatura ambiente. Para leitura, utilizou-se o espectrofotômetro, com absorvância no comprimento de onda de 490 nm. Para a curva da concentração de açúcares solúveis totais, foram preparadas soluções-padrão de glicose (D-glicose), pesou-se em balança analítica 02, 04, 06, 08, 10, 12, 14, 16, 18 mg de glicose que foi transferida, quantitativamente, para nove beckers de 100 mL, sendo completado o volume com água destilada. Para o teste “branco”, foi utilizado

0,5 mL de água destilada, seguido da adição de 0,5 mL de fenol a 5% e agitou-se os tubos vigorosamente. Após agitação, adicionou-se rapidamente 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado (98N) pelas paredes dos frascos e o conteúdo foi novamente agitado. Eles permaneceram em repouso até apresentarem igualdade com a temperatura ambiente e os cálculos foram realizados de acordo com o valor da regressão da curva. Os açúcares solúveis totais (g g^{-1} de massa fresca) (AST) foram iguais a multiplicação entre os fatores absorvância da amostra, valor de k (concentração de glicose pela equação da reta da curva padrão), valor de diluição de açúcar (10ml), dividido pelo peso do tecido (100mg).

$$\text{AST} = \frac{\text{K} \times \text{fator de diluição}}{\text{Peso fresco}}$$

5.3.4 Espécies reativas de oxigênio (EROS)

Para as análises de O_2^- e H_2O_2 foram utilizadas as mesmas folhas que estavam sendo analisadas diariamente nas trocas gasosas, no último dia de deficiência hídrica. Utilizando uma navalha, foi cortada a base do final do pecíolo da folha; deixando somente a estrutura foliar. Após o corte, as folhas foram embaladas e colocadas em nitrogênio sendo mantidas congeladas em ultrafreezer até serem analisadas.

5.3.4.1 Determinação do radical superóxido (O_2^-)

O radical superóxido (O_2^-) foi determinado de acordo com Li *et al.* (2010). Primeiramente, foi pesado, em forma de duplicatas, cerca de 200 mg do tecido foliar, sem a nervura central, de todos os tratamentos. Em seguida, foi realizada a maceração do tecido foliar em nitrogênio líquido (N_2). O conteúdo da maceração foi individualmente homogeneizado em 1.800 μL de solução tampão fosfato 65 mM (pH 7,8) que foram incluídos em tubos Falcon de 15 ml. Depois, os tubos Falcon foram colocados na centrífuga a 5.000 giros, durante 10 minutos e em temperatura de 4 °C. Após concluir a centrifugação, foi coletado o sobrenadante e reservado em tubos de vidros com rosca. Ao sobrenadante foram acrescentados 1,5 mL de tampão de fosfato 130 mM (pH 7,8) e 50 μL de cloridrato de hidroxilamina 10 mM e

subsequentemente os tubos foram incubados a 25 °C durante 20 minutos. Após 20 minutos, foi acrescentado a mistura reacional 100 µL de 17 mM de sulfanilamida e 100 µL de 7 mM de a-naftilamina, os quais novamente foram incubados em banho maria a 25 °C por mais 20 minutos. Enquanto isso os tubos foram retirados do banho maria e deixados em cima da bancada por aproximadamente 5 minutos, até atingirem temperatura ambiente. Em cubetas de vidro, a solução foi lida em espectrofotômetro com a absorvância em 530 nm. Para o cálculo da taxa de geração de O_2^- foi utilizada uma curva padrão com radical nitrito (NO_2^-), a qual foi preparada com os mesmos reagentes das análises com a unidade de $\mu\text{mol g}^{-1}$.

5.3.4.2 Determinação da concentração de peróxido de hidrogênio (H_2O_2)

Para a análise da concentração de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), seguiu-se o que é proposto por Velikova *et al.* (2000). Primeiramente, pesou-se em duplicata cerca de 200 mg das amostras de folhas frescas de cada tratamento, que em seguida foram maceradas em nitrogênio líquido (N_2) e homogeneizadas em 2,0 mL de ácido tricloroacético (TCA) (0,1% p / v), que foram colocados em tubos Falcon. Os tubos Falcon foram colocados na centrífuga a 12.000 rpm, durante 20 minutos a 4 °C. Em seguida foram coletados 300 µL do extrato sobrenadante e reservados em tubos de vidro sem rosca. Ao sobrenadante foram acrescentados 700 µL de tampão de fosfato de potássio 10 mM (pH 7,0) e 1,0 mL de iodeto de potássio 1 M. Após, os tubos foram incubados em banho-maria à 30 °C por 10 minutos. Ao final desse tempo pré-estabelecido, os tubos foram colocados sobre a bancada por aproximadamente 5 minutos até atingirem a temperatura ambiente. Em espectrofotômetro, a solução reacional foi introduzida em cubeta reduzida e mensurada na absorvância de 390 nm. Para os cálculos da concentração de H_2O_2 , foi realizada a comparação com as leituras de curva padrão obtidas de diferentes concentrações de H_2O_2 e expressas em $\mu\text{mol de } H_2O_2 \text{ g}^{-1}$ de massa fresca.

5.3.4.3 Determinação da Peroxidação lipídica

A peroxidação lipídica foi determinada estimando o teor de malondialdeído (MDA), de acordo com o método de Heath e Packer (1968). Primeiramente, pesou-se em duplicata cerca de 200 mg das amostras de folhas frescas de cada

tratamento, que em seguida foram maceradas em nitrogênio líquido (N₂) e homogeneizadas em 2,0 mL de ácido tricloroacético (TCA) (0,1% p / v), que foram colocados em tubos Falcon de 15 mL. Os tubos Falcon foram colocados na centrífuga a 12.000 rpm, durante 20 minutos a 4 °C. Depois, foram coletados 300 µL do sobrenadante da amostra e reservados em tubos de vidro com rosca. Ao sobrenadante foram adicionados 1700 µL de ácido tiobarbitúrico (TBA) (0,5% m / v) e TCA (10% p / v). Ao final, os tubos foram fechados e adicionados em banho maria a 95 °C, por 30 minutos. Após 30 minutos, os tubos foram retirados rapidamente do banho maria e colocados em um recipiente com gelo, onde permaneceram por 10 minutos visando a paralisação da reação por meio do resfriamento rápido. A leitura foi realizada em espectrofotômetro em cubeta reduzida em dois comprimentos de onda, de 532 e 600 nm. A concentração de MDA (nmol de MDA g⁻¹ de massa fresca) foi calculada pela equação:

$[MDA] = (A_{535} - A_{600}) / (n \cdot B)$, onde: n (coeficiente de extinção = $1,56 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-1}$) e b: (comprimento óptico = 1 cm).

5.3.5 Biometria

No último dia de deficiência hídrica contou-se o número total de folhas por planta. A massa de matéria seca das folhas foi determinada após um período de secagem de 72 h em uma estufa à 60°C. A contagem do número total de maçãs de cada tratamento foi realizada manualmente, e a massa de matéria seca das maçãs foi determinada após secagem em estufa.

5.3.6 Análises dos dados

A análise estatística foi realizada através do software Sisvar. Sendo atendidos os pressupostos estatísticos de normalidade e homogeneidade de variância, os dados foram submetidos à análise de variância ANAVA ($p \leq 0,05$) e posteriormente as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

5.4 Resultados

5.4.1 Pigmentos

Quando se analisa os fatores isolados, verificou-se que as concentrações de clorofila *a*, antocianinas e carotenoides aumentaram sob deficiência hídrica. Por outro lado, o teor de clorofila *b* não variou de acordo com o regime hídrico, mas aumentou pela aplicação de cloreto de mepiquate (Tabela 1).

A concentração de pigmentos presentes nas folhas apresentou interação significativa na quantidade de antocianinas e carotenoides (Tabela 1). Tanto em plantas irrigadas como em plantas sob deficiência hídrica, as antocianinas foram maiores na ausência de cloreto de mepiquate. Porém, as plantas tratadas com cloreto de mepiquate apresentaram resultados semelhantes em relação ao regime hídrico (Figura 1).

A concentração dos carotenoides nas folhas não variou pela aplicação de cloreto de mepiquate quando as plantas estavam sob deficiência hídrica. Porém, nas plantas irrigadas, a aplicação de cloreto de mepiquate aumentou a concentração dos carotenoides (Figura 2).

Tabela 1 – Conteúdo de pigmentos em folhas de algodoeiro em função de regime hídrico e tratamento com cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte de variação	Clorofila a	Clorofila b	Antocianinas	Carotenoides
	$\mu\text{g g}^{-1}$ MF			
Regime hídrico (R)				
Controle	60,54 b	30,37 a	23,12 b	4034 b
Déficit	73,56 a	30,92 a	29,25 a	4954 a
Cloreto de mepiquate (CM)				
Com	66,83 a	33,31 a	19,56 b	4433 a
Sem	67,27 a	27,99 b	32,80 a	4555 a
p- value				
R	0,0032*	0,4426	0,0000**	0,0003**
CM	0,9086	0,0000**	0,0000**	0,5420
RxCM	0,0603	0,0573	0,0000**	0,0386*
CV%	13,59	5,53	3,00	10,73

* significativo à 5% de probabilidade. ** significativo à 1% de probabilidade.

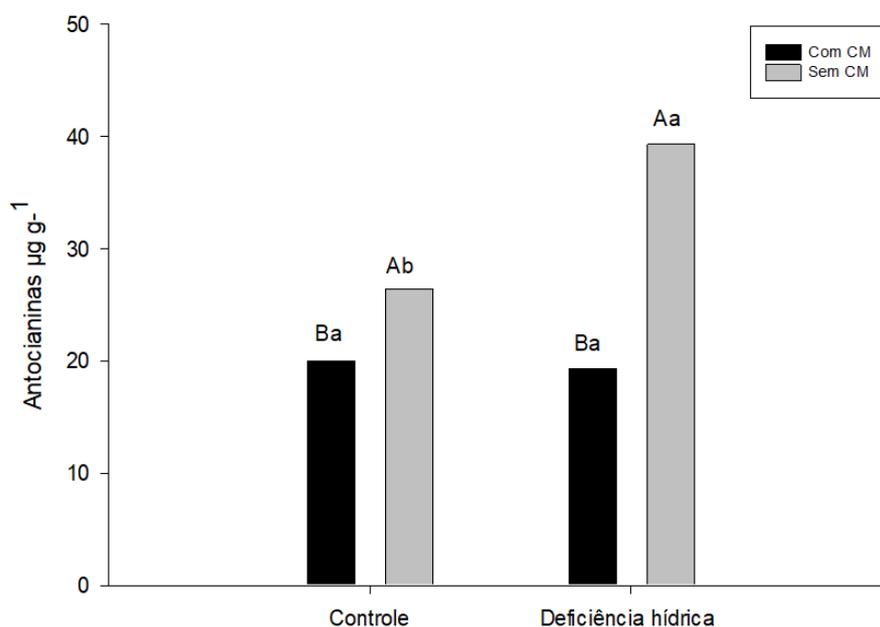


Figura 1 – Concentração de antocianinas nas folhas de plantas de algodão em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate (com e sem CM).

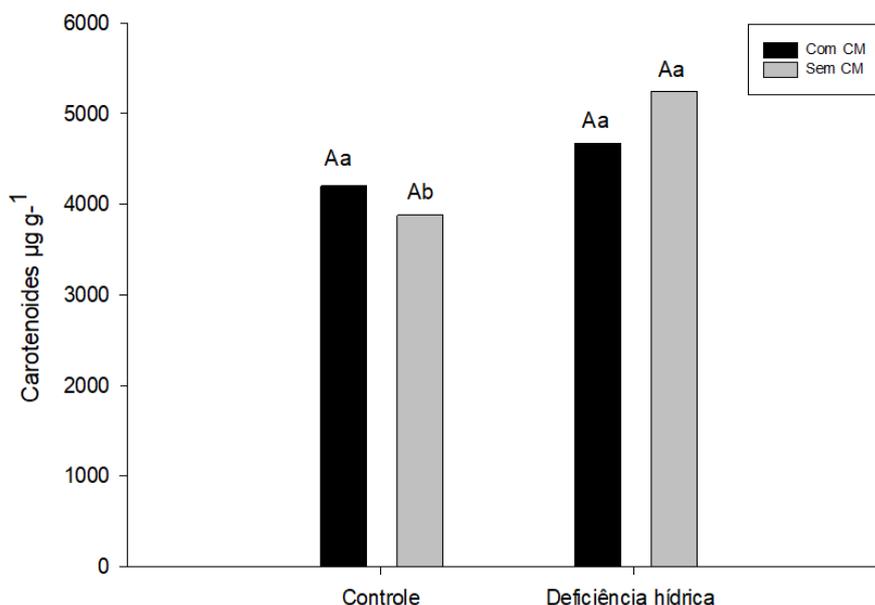


Figura 2 – Concentração de carotenoides nas folhas de plantas de algodão em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).

5.4.2 Trocas gasosas

As trocas gasosas [fotossíntese (A); condutância estomática (g_s); concentração interna de CO_2 (C_i); transpiração (E) e eficiência do uso da água (EUA)] foram avaliadas durante 5 dias após a suspensão da irrigação. Após 24 horas da última irrigação, a aplicação de CM resultou em maior g_s em comparação com as plantas não tratadas. Entretanto, as demais variáveis não apresentaram diferenças significativas de ambos os tratamentos (Tabela 2). Após 48 horas da última irrigação, a g_s e E diminuíram quando comparadas as plantas irrigadas. A EUA foi maior sob déficit hídrico. Além disso, a A das plantas tratadas com cloreto de mepiquate, apresentou maior resultado em comparação com as plantas que não receberam (Tabela 2). Após três dias do início do estresse, todas as variáveis analisadas, exceto a C_i , apresentaram redução na condição de déficit hídrico (Tabela 2). As plantas tratadas com CM apresentaram maior A , g_s , E e EUA (Figura 3 e 4). No quarto e quinto dia de deficiência hídrica, houve interação dos tratamentos para g_s e E (Tabela 2), e a aplicação de cloreto de mepiquate aumentou seus valores (Figuras 5,6,7 e 8).

Tabela 2 - Trocas gasosas durante o período de deficiência hídrica em plantas de algodão em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate.

Fonte de variação	A	gs	Ci	E	EUA
	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ ar}$	$\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	mol mmol^{-1}
<u>1º dia de deficiência hídrica – 24 h</u>					
Regime hídrico (R)					
Controle	24,29 a	1,49 a	311,78 a	9,52 a	2,55 a
Déficit	25,49 a	1,27 a	304,14 a	9,40 a	2,75 a
Cloreto de mepiquate (CM)					
Com	25,60 a	1,16 b	300,70 a	9,32 a	2,77 a
Sem	24,17 a	1,60 a	315,21 a	9,59 a	2,53 a
p- value					
R	0,2256	0,3127	0,4132	0,8251	0,1363
CM	0,1510	0,0491	0,1307	0,6164	0,0660
RxCM	0,8212	0,1534	0,8371	0,8755	0,5590
CV%	9,29	36,31	7,22	13,89	11,37
<u>2º dia de deficiência hídrica – 48 h</u>					
Regime hídrico (R)					
Controle	20,68 a	0,34 a	238,34 a	6,06 a	3,45 b
Déficit	20,01 a	0,23 b	199,76 a	4,34 b	5,15 a
Cloreto de mepiquate (CM)					
Com	22,12 a	0,29 a	212,11 a	5,21 a	4,84 a
Sem	18,57 b	0,28 a	226,00 a	5,19 a	3,76 a
p- value					
R	0,4496	0,0084**	0,0521	0,0089**	0,0108*
CM	0,0010**	0,6169	0,4593	0,9719	0,0872
RxCM	0,8464	0,9346	0,4066	0,4883	0,2043
CV%	10,49	28,79	20,45	27,01	33,35
<u>3º dia de deficiência hídrica – 72 h</u>					
Regime hídrico (R)					
Controle	20,60 a	0,68 a	297,81 a	7,82 a	2,66 b
Déficit	9,92 b	0,07 b	179,81 b	2,99 b	3,32 b
Cloreto de mepiquate (CM)					
Com	16,80 a	0,48 a	245,17 a	6,15 a	2,97 a
Sem	13,71 b	0,28 b	232,32 a	4,66 b	3,01 a
p- value					
R	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**
CM	0,0000**	0,0046**	0,3555	0,0000**	0,7076
RxCM	0,0463*	0,0089**	0,6914	0,0000**	0,0026**
CV%	5,24	39,67	13,94	8,40	7,95
<u>4º dia de deficiência hídrica – 96 h</u>					
Regime hídrico (R)					
Controle	18,33 a	0,58 a	269,05 a	6,91 a	2,69 b
Déficit	7,68 b	0,04 b	84,42 b	1,52 b	5,14 a
Cloreto de mepiquate					

(CM)					
Com	15,25 a	0,48 a	196,06 a	5,05 a	3,85 a
Sem	10,76 b	0,13 b	157,42 b	3,39 b	3,98 a
<hr/>					
p- value					
R	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**
CM	0,0000**	0,0000**	0,0366*	0,0001**	0,5709
RxCM	0,1056	0,0000**	0,3327	0,0146*	0,7261
CV%	11,76	24,52	23,90	19,67	13,79
<hr/>					
<u>5º dia de deficiência hídrica - 120 h</u>					
Regime hídrico (R)					
Controle	18,85 a	0,28 a	239,15 b	6,02 a	3,19 a
Déficit	2,76 b	0,02 b	778,83 a	0,65 b	4,25 a
<hr/>					
Cloreto de mepiquate (CM)					
Com	11,88 a	0,21 a	603,85 a	4,05 a	3,48 a
Sem	9,73 a	0,09 b	414,12 a	2,62 b	3,96 a
<hr/>					
p- value					
R	0,0000**	0,0000**	0,0673	0,0000**	0,0814
CM	0,0855	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,4055
RxCM	0,1910	0,0000**	0,1546	0,0000**	0,6034
CV%	26,87	11,72	47,20	9,87	37,72

* significativo à 5% de probabilidade. ** significativo à 1% de probabilidade.

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

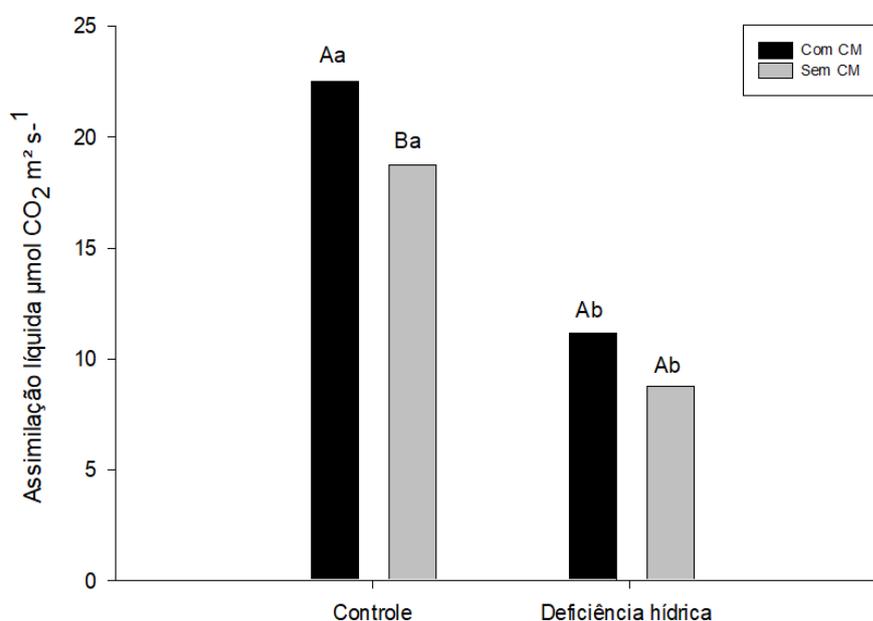


Figura 3 - Assimilação líquida de CO₂ no terceiro dia de deficiência hídrica em plantas de algodão em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).

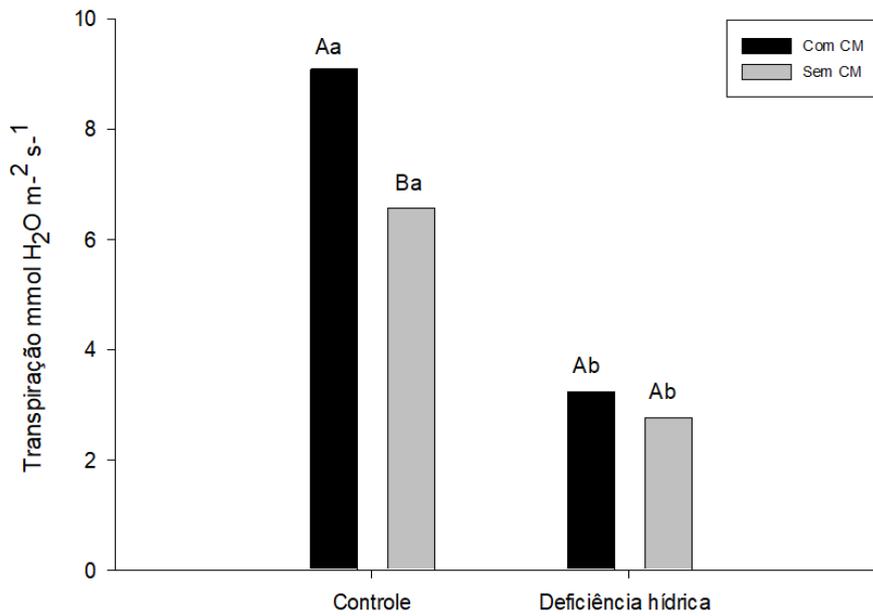


Figura 4 – Transpiração foliar no terceiro dia de deficiência hídrica em plantas de algodão em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).

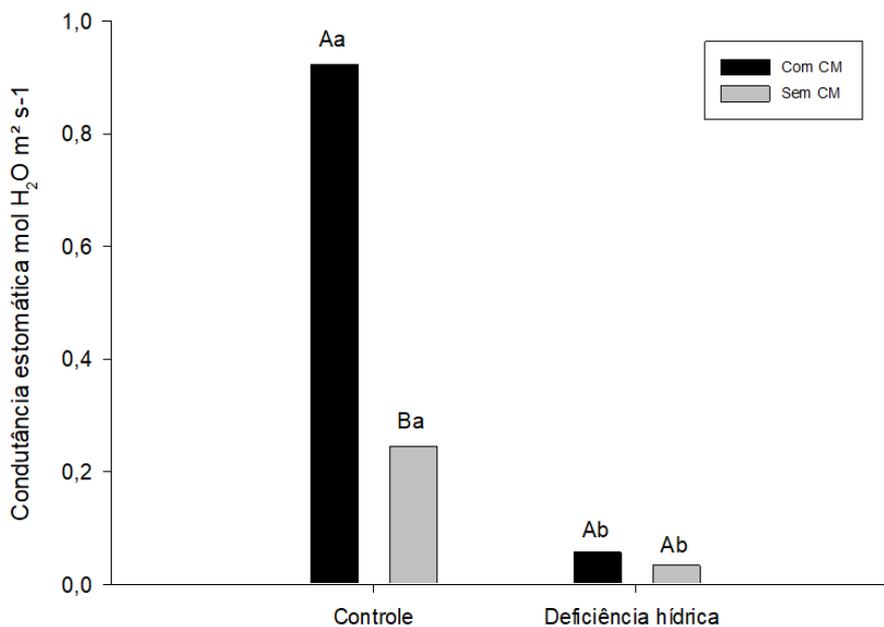


Figura 5 – Condutância estomática no quarto dia de deficiência hídrica em plantas de algodão em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas

comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).

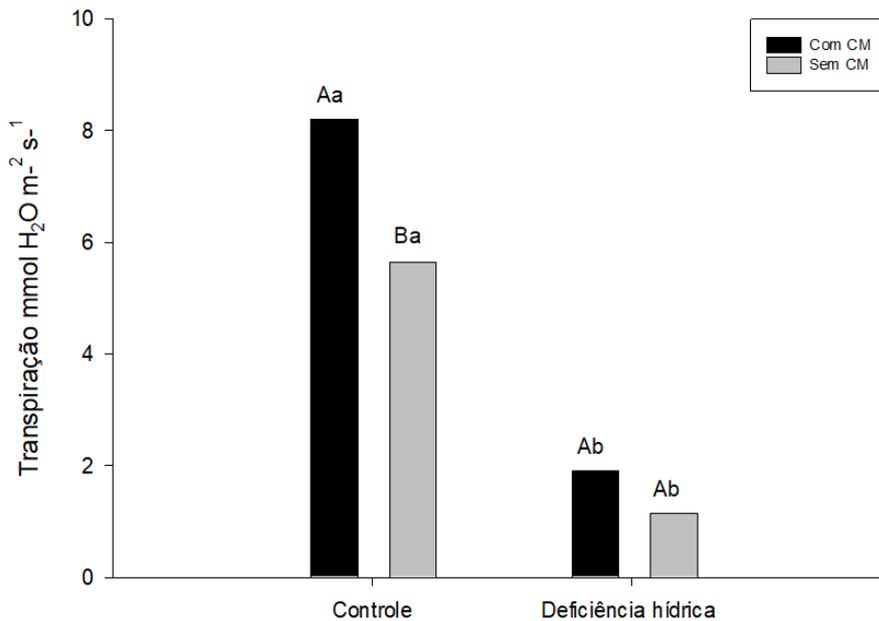


Figura 6 - Transpiração no quarto dia de deficiência hídrica em plantas de algodão em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).

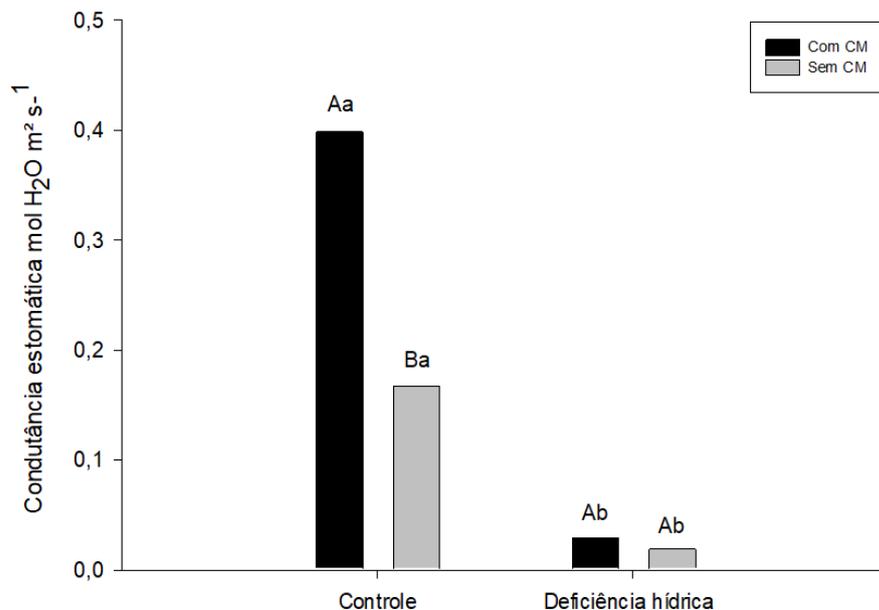


Figura 7 - Condutância estomática no quinto dia de deficiência hídrica em plantas de algodão em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas

comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).

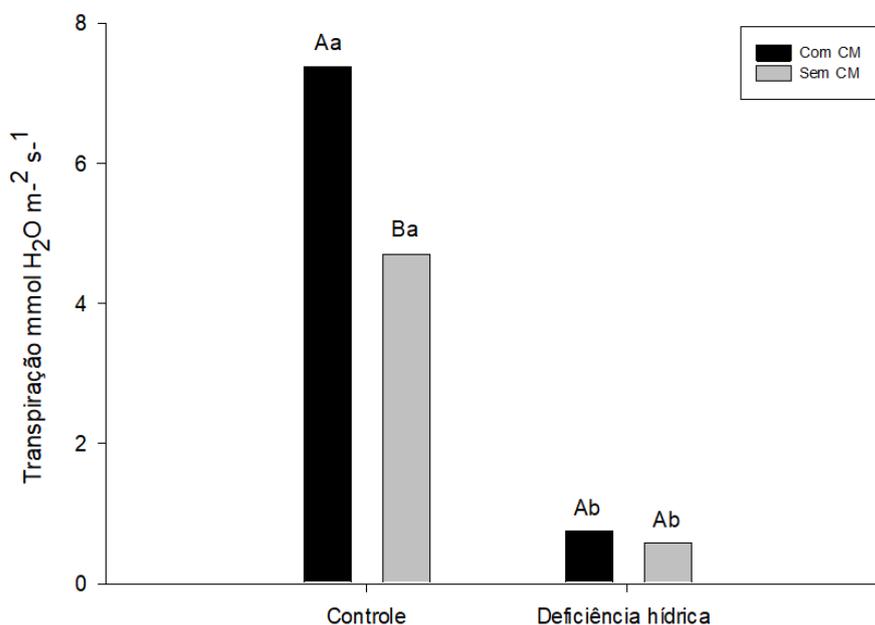


Figura 8 - Transpiração no quinto dia de deficiência hídrica em plantas de algodão em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).

5.4.3 Carboidratos

As folhas, flores e maçãs coletadas no último dia de deficiência hídrica, apresentaram maiores concentrações de carboidratos solúveis totais sob deficiência hídrica (Tabela 3). A aplicação de cloreto de mepiquate reduziu o teor de açúcares solúveis nas folhas e flores, mas não nas maçãs (Tabela 3). Houve interação dos tratamentos para a concentração de carboidratos nas folhas. Plantas tratadas com CM apresentaram menores teores de carboidratos sob déficit hídrico, mas sob irrigação não houve efeito do CM (Figura 9).

Tabela 3 – Teor de açúcares solúveis totais da folha, da flor e da maçã do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate.

Fonte de variação	Folha	Flor	Maçã
	mg g ⁻¹		
Regime hídrico (R)			
Controle	0,054 b	0,072 b	0,104 b
Déficit	0,079 a	0,100 a	0,115 a
Cloreto de mepiquate (CM)			

Com	0,060 b	0,078 b	0,108 a
Sem	0,072 a	0,093 a	0,111 a
<hr/>			
p- value			
R	0,0002**	0,0001**	0,0238*
CM	0,0236*	0,0176*	0,4581
RxCM	0,0153*	0,6770	0,2496
CV%	18,33	15,44	9,71

* significativo à 5% de probabilidade. ** significativo à 1% de probabilidade.

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

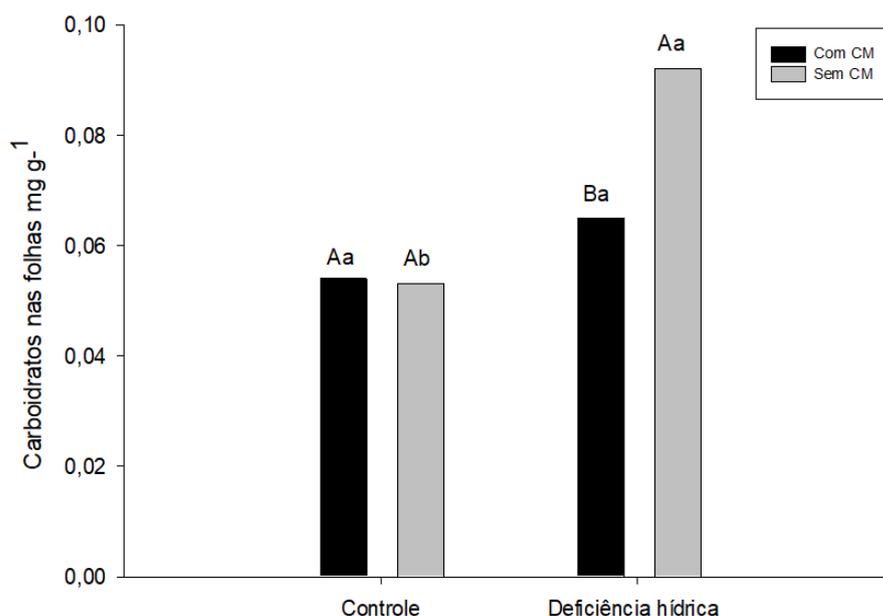


Figura 9 – Conteúdo de carboidratos das folhas do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).

5.4.4 Radicais livres

As plantas que não receberam a aplicação de CM apresentaram maiores concentrações de peróxido de hidrogênio e ânion superóxido em relação às plantas receberam cloreto de mepiquate (Figura 11 e 12). Houve interação entre os tratamentos para a produção de espécies reativas de oxigênio (radicais livres) (Tabela 4). Na concentração de malondialdeído sob condições de boa hidratação, as plantas tratadas com cloreto de mepiquate apresentaram valor mais alto em comparação com as plantas controle (Figura 10).

Tabela 4 – Concentração de malondialdeído, peróxido de hidrogênio e ânion superóxido em folhas do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate.

Fonte de variação	Malondialdeído	Peróxido de Hidrogênio	Ânion Superóxido
	$\mu\text{mol g}^{-1} \text{MF}$		
Regime hídrico (R)			
Controle	0,097 a	1,174 a	1,099 a
Déficit	0,107 a	1.337 a	1,020 b
Cloreto de mepiquate (CM)			
Com	0,106 a	1,012 b	1,026 b
Sem	0,098 a	1,499 a	1,094 a
p- value			
R	0,1888	0,3553	0,0178*
CM	0,2201	0,0123*	0,0374*
RxCM	0,0014**	0,0005**	0,0027**
CV%	16,41	33,40	6,89

* significativo à 5% de probabilidade. ** significativo à 1% de probabilidade.

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

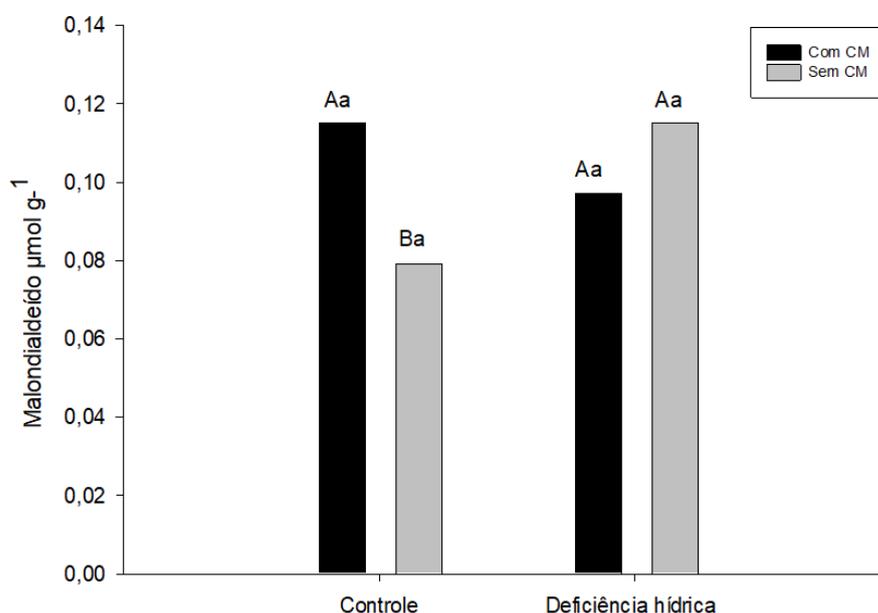


Figura 10 - Concentração de malondialdeído nas folhas do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).

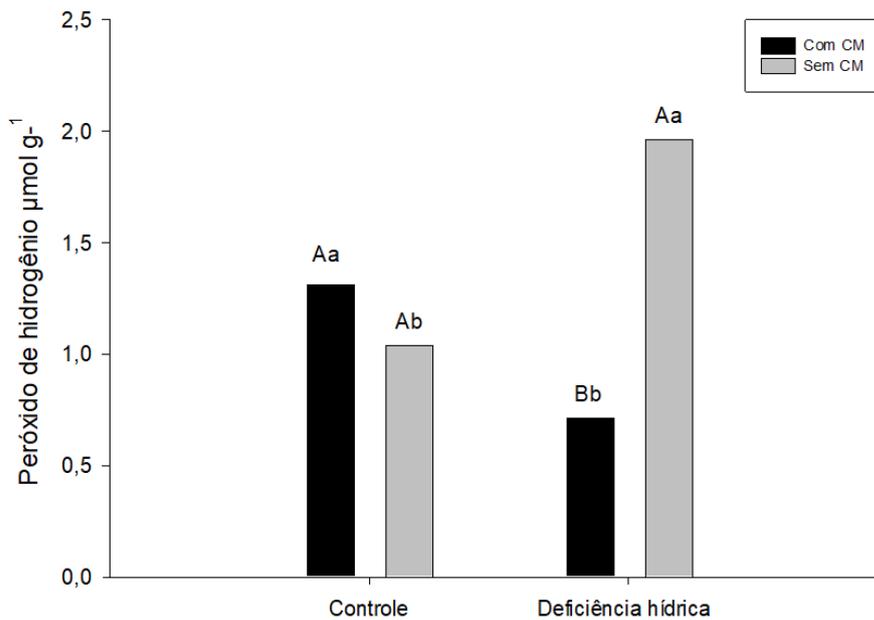


Figura 11 – Concentração de peróxido de hidrogênio nas folhas do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).

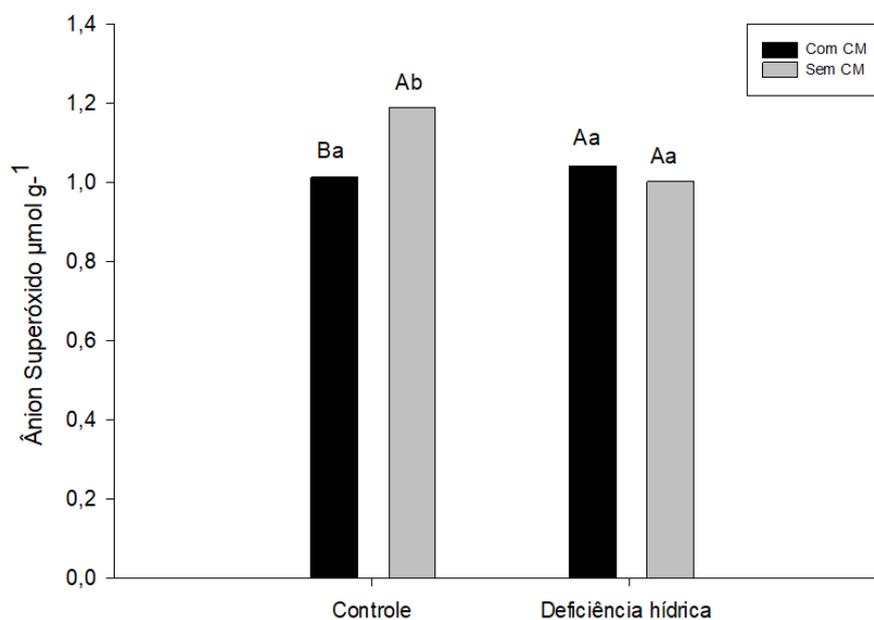


Figura 12 – Concentração de ânion superóxido nas folhas do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).

5.4.5 Biometria

Não houve diferença entre os tratamentos com cloreto de mepiquate para os parâmetros biométricos como quantidade total de folhas, quantidade total de maçãs e massa da matéria seca. Porém, a massa da matéria seca das maçãs e a altura apresentaram interação significativa entre os fatores analisados (Tabela 5). As plantas que receberam a aplicação de CM sob condições ideais de hidratação apresentaram maior massa da matéria seca das maçãs, em comparação com as plantas que não receberam esse tratamento (Figura 13). Já em relação à altura, a aplicação de CM inibiu o crescimento do algodoeiro nos dois regimes hídricos (Figura 14). A análise dos tratamentos isolados indicou que a deficiência hídrica aumentou a quantidade de folhas e que o tratamento com cloreto de mepiquate aumentou significativamente a quantidade de maçãs totais (Tabela 5).

Tabela 5 – Parâmetros biométricos de algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate.

Fonte de variação	Folhas	Maçãs	MS Folhas	MS Maçãs	Altura
	planta ⁻¹		g planta ⁻¹		cm
Regime hídrico (R)					
Controle	43,20 b	6,3 a	73,70 a	61,97 a	50,10 a
Déficit	53,0 a	7,2 a	64,64 a	35,12 b	46,80 b
Cloreto de mepiquate (CM)					
Com	49,10 a	7,8 a	71,15 a	66,40 a	44,80 b
Sem	47,10 a	5,7 b	67,19 a	30,15 b	52,10 a
p- value					
R	0,0008	0,2971	0,0898	0,0000	0,0241
CM	0,3789	0,0258	0,4357	0,0000	0,0001
RxCM	0,2944	0,5561	0,6451	0,0000**	0,0042**
CV%	10,18	27,35	15,87	15,10	5,90

* significativo à 5% de probabilidade. ** significativo à 1% de probabilidade.

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

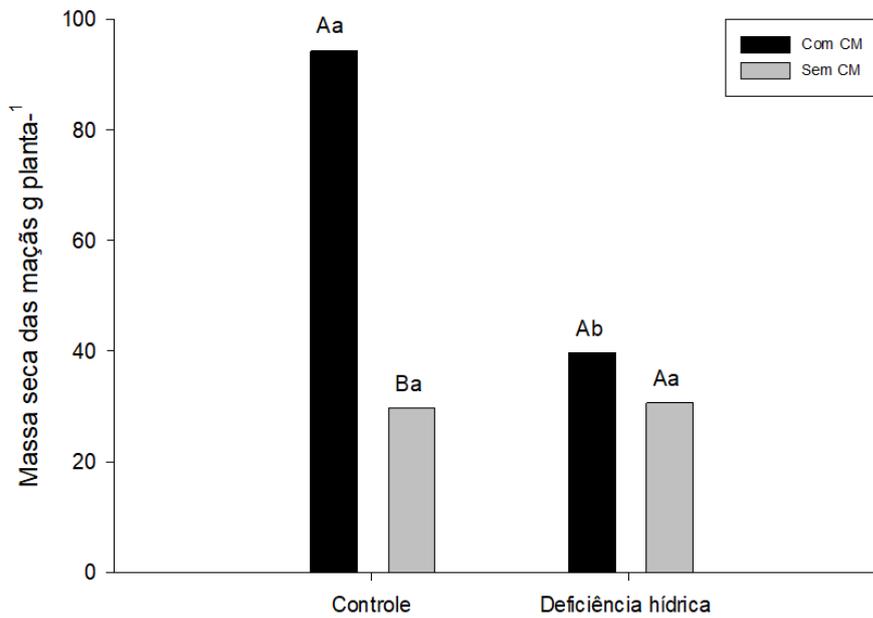


Figura 13 – Massa de matéria seca total de maçãs do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate (CM). Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).

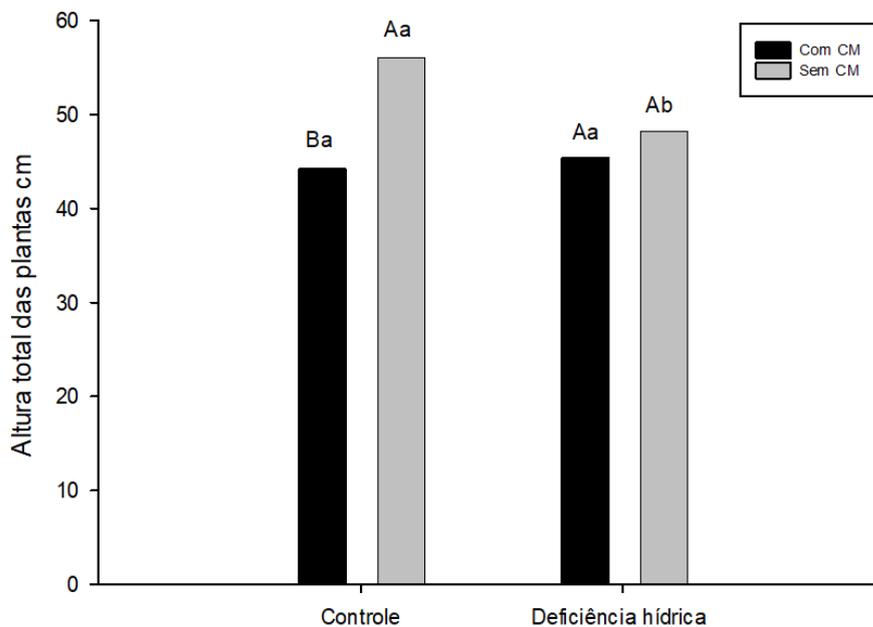


Figura 14 - Altura do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate (CM). Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).

5.5 Discussão

Há um complexo sistema de absorção de fótons para a realização da fotossíntese. Nesse sistema, encontram-se alguns pigmentos importantes como as clorofilas, carotenoides e as antocianinas. Esses pigmentos são essenciais e estreitamente relacionados com a eficiência fotossintética das plantas, o que impacta suas respostas de crescimento e adaptação a diferentes ambientes (Kozlowski; Kramer; Pallardy, 1990).

O pigmento clorofila *a*, está relacionado com a eficiência para a produção de moléculas de oxigênio realizada no processo de fotossíntese (Raven; Evert; Eichhorn, 2007). No presente trabalho foi possível verificar que a quantidade de pigmentos da clorofila *a* foi maior apenas sob deficiência hídrica, sendo que a aplicação de cloreto de mepiquate não influenciou na concentração desse pigmento. Esse resultado foi o oposto identificado por Reddy, Reddy e Hodges (1996), o qual apresentou aumento no teor de clorofila nas folhas do algodoeiro que receberam aplicação do cloreto de mepiquate.

A molécula de clorofila *b*, quando comparada com a molécula de clorofila *a*, apresenta função diferente. Esse pigmento é considerado como acessório, portanto, não está diretamente relacionado com a transdução da energia no processo fotossintético. Mas, serve como amplificador da faixa de luz que pode ser usada durante o processo. A clorofila *b* absorve os fótons, transfere sua energia para a molécula de clorofila *a* que então, transforma em energia química (Raven; Evert; Eichhorn, 2007). Observou-se neste trabalho que o teor de clorofila *b* diminuiu com a aplicação de cloreto de mepiquate, mas não foi afetado pela falta de água (Tabela 1).

As antocianinas são importantes para a captura de radicais livres, pois são capazes de doar átomos de hidrogênio fenólicos (Rice-Evans; Miller; Paganga, 1996). Nesse trabalho, foi possível identificar que a aplicação de cloreto de mepiquate juntamente com o período de deficiência hídrica levou a respostas diferentes na concentração de antocianinas presentes nas folhas do algodoeiro. Nas plantas tratadas com CM não houve alteração do teor de antocianinas pela presença do estresse hídrico (Figura 1). Porém, quando as plantas não tratadas com CM

foram expostas ao déficit hídrico, houve aumento da concentração desse pigmento. A quantidade de antocianinas nas folhas está relacionada com a atividade antioxidante, sugerindo que quando as plantas produzem moléculas reativas de oxigênio, investem em paralelo na produção de antocianinas que combatem essas moléculas prejudiciais ao aparato fotossintético (Roesler *et al*, 2007).

Os carotenoides também são importantes para a fotoproteção do aparato fotossintético, pois as membranas estão sujeitas aos danos causados pela grande quantidade de energia absorvida pelos pigmentos. Tal importância se dá pelo fato de os carotenoides atuarem na liberação do excesso de energia gerada, antes que essa danifique o organismo celular. Esse pigmento é responsável por perder a energia absorvida em forma de calor, retornando sua forma inicial em instantes (Kong *et al.*, 2003). Observou-se que o uso do cloreto de mepiquate em plantas irrigadas aumentou o teor de carotenoides, mas sob deficiência hídrica não houve o mesmo efeito (Figura 2). Assim, as plantas com cloreto de mepiquate apresentaram maior capacidade de produção de moléculas de defesa como os carotenoides em período de deficiência hídrica, tolerando a ocorrência de estresse oxidativo. Duarte (2003) apresentou resultados semelhantes, pois quando as plantas passaram por algum tipo de estresse, a produção de carotenoides foi importante para impedir a degradação do aparato fotossintético.

Além de influenciar na concentração dos pigmentos importantes na reação de fotossíntese das folhas e nas respostas antioxidantes, a deficiência hídrica também impacta diretamente as trocas gasosas durante esse período. Sob deficiência hídrica, a assimilação líquida de CO₂ é afetada, o que resulta em menor produção de biomassa (Chaves; Flexas; Pinheiro, 2009). De maneira geral, pode-se relacionar a eficiência da fotossíntese com a transpiração realizada pelas plantas. Isso porque, ambos os processos utilizam o mesmo caminho de difusão através dos estômatos. No presente estudo, podemos observar que a deficiência hídrica impactou diretamente as plantas após 72 horas da última irrigação. Momento este em que, as plantas foram diminuindo continuamente as trocas gasosas, até atingirem assimilação líquida próxima a zero (Tabela 2). Durante esse período, foi identificado que as plantas que receberam a aplicação de cloreto de mepiquate se mantiveram estáveis por mais tempo antes de apresentar maior tolerância em relação ao decaimento das trocas gasosas. Chaves; Flexas; Pinheiro (2009) evidenciaram que o algodoeiro apresenta tolerância a períodos de deficiência

hídrica. Porém, a aplicação de cloreto de mepiquate pode intensificar essas respostas.

O uso do cloreto de mepiquate pode alterar o metabolismo fisiológico das plantas, o que resulta num melhor equilíbrio entre a parte vegetativa e reprodutiva. Ao influenciar a distribuição de fotoassimilados, o cloreto de mepiquate melhora a transmissão da radiação solar no dossel, o que favorece a reação da fotossíntese e consequentemente a produção de carboidratos (Freitas, Leandro e Carvalho, 2007). O presente estudo mostrou que a deficiência hídrica aumentou significativamente o teor de carboidratos nas folhas, flores e maçãs. Quando analisadas as respostas da produção de carboidratos das plantas que receberam cloreto de mepiquate, verificou-se que as plantas que não receberam o tratamento apresentaram maior concentração de carboidratos nas folhas e nas flores, porém, não houve variação nas maçãs. Portanto, foi possível identificar que sob regime irrigado, a ausência de CM resultou em maior teor de carboidratos nas folhas, o que pode estar associado à baixa translocação. Alguns estudos mostram que a aplicação de cloreto de mepiquate proporcionou melhor alocação dos carboidratos nas maçãs (Beltrão, 1998; Lamas, 2001).

O aparato fotossintético está sob o risco de degradação quando ocorre a presença de estresse. A condição de estresse pode gerar alteração no metabolismo, ocorrendo a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs). Essas podem oxidar importantes constituintes celulares, como ácidos nucleicos, lipídeos e proteínas das membranas. A presença dessas moléculas em teores elevados pode levar a morte vegetal. O grau de estresse oxidativo das células pode ser determinado pelo teor dos radicais superóxido, peróxido de hidrogênio e concentração de malondialdeído (Apel; Hirt, 2004). Os resultados obtidos nesse estudo mostraram que sob deficiência hídrica a concentração de malondialdeído e peróxido de hidrogênio aumentaram quando não se aplica CM. Em condições irrigadas, a aplicação de CM aumentou o teor de malondialdeído e peróxido de hidrogênio em relação às plantas que não receberam o cloreto de mepiquate.

O teor do ânion superóxido foi maior na ausência da aplicação de CM no tratamento irrigado, sendo que o período de deficiência hídrica não modificou a concentração desse radical livre entre os tratamentos com e sem cloreto de mepiquate. Sob déficit hídrico os radicais livres interrompem a ação dos pigmentos fotossintéticos, o que reduz as trocas gasosas, levando a uma redução no

crescimento e produtividade da planta (Apel; Hirt, 2004). Durante o florescimento do algodoeiro, o estresse oxidativo causado pela falta de água é extremamente prejudicial, pois a planta necessita formar um dossel capaz de garantir produção eficiente de fotoassimilados suficiente para garantir maiores produtividades (Echer *et al.*, 2014).

Lamas (2001), ao analisarem os efeitos do cloreto de mepiquate aplicado de forma exógena em algodoeiro, no município de Primavera do Leste (MT), verificaram que o uso desse regulador de crescimento reduziu a altura das plantas, o que proporciona melhor eficiência para a colheita mecanizada. Esse resultado também foi obtido pelo presente estudo, o que já era esperado, pois, o cloreto de mepiquate reduz a concentração de ácido giberélico, e como esse hormônio é responsável pela divisão e expansão celular, o bloqueio da sua síntese tem como efeito principal a redução do crescimento da planta (Lamas; Ferreira, 2007). Entretanto, foi possível também identificar que a aplicação do cloreto de mepiquate proporcionou elevado peso das maçãs quando estavam sob irrigação normal em relação às plantas que não receberam a aplicação do tratamento. Portanto, sob condições hídricas ideais, o acúmulo de biomassa total nas maçãs pode ser maior e mais vantajoso se utilizado o cloreto de mepiquate. Beltrão (1998) mostrou que o uso do regulador de crescimento cloreto de mepiquate favorece a maneira de como a planta aproveita os fotoassimilados na frutificação, acumulando maior biomassa durante o enchimento das maçãs. Rossi, Souza e Silva (2020) identificaram que a aplicação do regulador permitiu que a alocação dos fotoassimilados fosse mais eficiente nas estruturas reprodutivas, o que conseqüentemente possibilitou melhor potencial produtivo.

5.6 Conclusão

Na presença de deficiência hídrica o uso do cloreto de mepiquate no algodoeiro proporcionou melhores resultados fisiológicos e bioquímicos em comparação com as plantas que não receberam a aplicação. As trocas gasosas mantiveram seus parâmetros estabilizados por mais tempo, colaborando para a normalidade na produção de açúcares e conseqüentemente a baixa concentração de radicais livres. Portanto, podemos concluir que o uso do cloreto de mepiquate proporciona maior estabilidade da planta durante a ocorrência de falta de água no solo.

REFERÊNCIAS

- ABRAPA - Associação Brasileira de Produtores de Algodão. **Números do algodão: o algodão no Brasil**. 2020. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/Dados/Algod%C3%A3o%20no%20Mundo.aspx>. Acesso em: 18 abr. 2020.
- APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress and signal transduction. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 55, p. 373–99, 2004.
- BELTRÃO, N. E. M. Análise de crescimento não destrutiva. **EMBRAPA/CNPA**, Campina Grande, v. 52, 1998.
- CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of botany**, v. 103, n. 4, p. 551-560, 2009.
- CHAVES, M. M.; MOROCO, J. P.; PEREIRA, J. S. Understanding plant responses to drought - from genes to the whole plant. **Functional Plant Biology**, v. 30, p. 239 – 264, 2003.
- CONATY, W. C.; MAHAN, J. R.; NEILSEN, J. E.; TAN, K. Y.; YATES, S. J.; SUTTON, B. G. The relationship between cotton canopy temperature and yield, fibre quality and water-use efficiency. **Field Crops Research**, v. 183, p. 329–341, 2015.
- DUARTE, C. H. **Detecção óptica da eficiência quântica da fotossíntese**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.
- DUBOIS, M.; GILLER, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determinations of sugars and related substance. **Analytic Chemistry**, v. 28, p. 350-356, 1956.
- ECHER, F. R.; OOSTERHUIS, D. M.; LOKA, D. A.; ROSOLEM, C. A. High night temperatures during the floral bud stage increase the abscission of reproductive structures in cotton. **Journal of agronomy and crop science**, v. 200, n. 3, p. 191-198, 2014.
- ECHER, F. R.; ROSOLEM, C. A. Plant growth regulation: a method for fine-tuning mepiquat chloride rates in cotton. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**. v, 47. p, 286-295. 2017.

ECHER, F. R.; ROSOLEM, C. A.; MELLO, P. R. **Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em mato grosso**. 4. ed. Cuiabá: IMAmt, 2019.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; LORETO, F.; CORNIC G.; SHARKEY, T. D. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 Plants. **Plant Biology**, v. 6, n. 3, p. 269-279, 2004.

FREITAS, R. J.; LEANDRO, W. M.; CARVALHO, M. C. S. Efeito da adubação potássica via solo e foliar sobre a produção e a qualidade da fibra em algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 2, p. 106-112, 2007.

HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives of biochemistry and biophysics**, v. 125, n. 1, p. 189-198, 1968.

INSTITUTO MATO-GROSSENSE DO ALGODÃO – IMAMT. **O algodoeiro e os estresses abióticos**: temperatura, luz, água e nutrientes. 1. ed. Cuiabá: Editora IMAmt, 2014.

IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/>. 2021.

KONG, J. M.; CHIA, L. S.; GOH, N. K; CHIA, T. F.; BROUILLARD R. Analysis and biological activities of anthocyanins. **Phytochemistry**, v. 64, p. 923-933. 2003.

KOZLOWSKI, T. T.; KRAMER, P. J.; PALLARDY, S. G. **The physiological ecology of woody plants**: a volume in physiological ecology. California: Academic press, 1990.

LAMAS, F. M. Estudo comparativo entre cloreto de mepiquat e cloreto de chlormequat aplicados em algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 36, n. 2, p. 265- 272, 2001.

LAMAS, F. M.; FERREIRA, A. C. B. Reguladores de crescimento, desfolhantes e maturadores. *In*: FREIRE, E. C. **Algodão no cerrado do Brasil**. Brasília: ABRAPA, 2007. p. 689-703.

LAWLOR, D. W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell & Environment**, v. 25, n. 2, p. 275-294, 2002.

LI C.; BAI T.; MA F.; HAN M. Hypoxia tolerance and adaptation of anaerobic respiration to hypoxia stress in two *Malus* species. **Scientia Horticulturae**, v. 124, n. 2, p. 274–279, 2010.

MARUR, C. J.; RUANO, O. A reference system for determination of developmental stages of upland cotton. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 313-317, 2001.

PAIXÃO, A. P. **Caracterização fisiológica, bioquímica e anatômica em genótipos de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.var. *latifolium* Hutch) em função da aplicação de cloreto de mepiquat**. 2016. Dissertação (Mestrado em

Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2016.

PAIXÃO, P. A. **Caracterização morfofisiológica e bioquímica de algodoeiro herbáceo (*Gossypium Hirsutum* L. Var. *Latifolium Hutch*) em função de doses e fontes de nitrogênio com e sem suplementação hídrica**. 2021. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2021.

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

REDDY, A. R.; REDDY, K. R.; HODGES, H. F. Mepiquat chloride (PIX)-induced changes in photosynthesis and growth of cotton. **Plant Growth Regulation**, v. 20, p. 179-183, 1996.

REDDY, V. R.; KAKER, D. N.; HODGES, H. F. Temperature and mepiquat chloride effects on cotton canopy architecture. **Agronomy Journal**, v. 82, p. 190-195, 1990.

RICE-EVANS C. A.; MILLER N. J.; PAGANGA G. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 20, n. 7, p. 933-956, 1996.

ROESLER, R.; MALTA, L. G.; CARRASCO, L. C.; HOLANDA, R. B.; SOUSA, C. A. S.; PASTORE, G. M. Atividade antioxidante de frutas do cerrado. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 27, n. 1, p. 53–60, 2007.

ROSSI, A. C. M.; SOUZA, E. R. C.; SILVA, M. G. Plant growth regulator in cotton crop (*Gossypium hirsutum* L.). **Research, Society and Development**, Itajubá, v. 9, n. 9, 2020.

SILVA, D. B. **Caracterização fisiológica, bioquímica e anatômica de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. var. *latifolium Hutch*) em função da aplicação foliar de silício**. 2020. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2020.

SIMS, D. A.; GAMON, J. A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. **Remote sensing of environment**, v. 81, n. 2-3, p. 337-354, 2002.

SMIRNOFF, N. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. **New Phytologist**, v. 125, n. 1, p. 27-58, 1993.

SOUSA, L. B. O algodoeiro: alguns aspectos importantes da cultura. **Revista Verde**, Mossoró - RN, v. 5, n. 4, p. 19-26, 2010.

STEWART, A. M.; EDMISTEN, K. L; WELLS, R.; JORDAN, D. L.; YORK, A. C. Wick applicator for applying mepiquat chloride on cotton: I. Rate response of wick and spray delivery systems. **Journal of Cotton Science**, v. 5, n. 1, p. 9-14, 2001.

VELIKOVA, V.; YORDANOV, I.; EDREVA, A. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. **Plant Science**, v. 151, n. 1, p. 59-66, 2000.

6 CAPÍTULO 2. ANATOMIA E VULNERABILIDADE AO EMBOLISMO DO ALGODOEIRO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE CLORETO DE MEPIQUATE SUBMETIDO À DEFICIÊNCIA HÍDRICA

Resumo

O algodoeiro é uma das principais commodities agrícolas mundiais. O uso de reguladores de crescimento, como o cloreto de mepiquate, é prática comum em lavouras de algodão, visando controle do crescimento excessivo da planta e melhoria do índice de colheita. A deficiência hídrica é um dos fatores que mais limita a produção dessa cultura. A ocorrência de embolia está entre os efeitos do estresse hídrico, impedindo a movimentação de água nos vasos do xilema. Em função disso, este trabalho foi conduzido com o objetivo de analisar respostas anatômicas das lâminas das folhas, dos estômatos, e do xilema do pecíolo e pedúnculo, juntamente com a vulnerabilidade do algodoeiro à embolia em período de deficiência hídrica em plantas que foram submetidas ou não à aplicação de cloreto de mepiquate. A aplicação do regulador vegetal foi realizada quando a média do comprimento dos 5 nós do ponteiro ultrapassasse 3,5 cm, seguindo a recomendação de 15 g i. a ha⁻¹ e volume de calda de 200 L ha⁻¹. Quando mais de 70% das plantas atingiram o estágio fenológico F7, foi suspendida a irrigação com o objetivo de induzir a deficiência hídrica, a qual teve a duração de 5 dias. Foram analisados a quantidade de estômatos nas faces adaxial e abaxial, espessura do limbo foliar e xilemas do pecíolo e pedúnculo. As curvas de vulnerabilidade foram analisadas através da medida de ar dissipado juntamente com o potencial hídrico. O experimento se estabeleceu em delineamento inteiramente ao acaso, com fatorial 2 x 2 (com déficit e sem déficit x com regulador e sem regulador). Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANAVA, p<0,05) e posteriormente os valores foram comparados pelo teste de Tukey (p<0,05). O uso do cloreto de mepiquate aumentou significativamente a densidade estomática em ambas as epidermes da folha durante o período de déficit hídrico. O parênquima lacunoso das folhas não apresentou diferenças significativas em ambos os regimes hídricos, porém com o período de falta da água a espessura da parede celular do xilema e a proporção da área xilemática no pedúnculo foram maiores nas plantas que receberam cloreto de mepiquate, apresentando resultados opostos quando analisado na anatomia do

pecíolo. As curvas de vulnerabilidade não apresentaram resultados coerentes, é notável que existem diferenças entre os tratamentos, porém são necessários mais estudos para melhorar o entendimento. Esses resultados mostram que o uso de cloreto de mepiquate pode melhorar parâmetros anatômicos durante o período de deficiência hídrica, os quais por sua vez podem influenciar na vulnerabilidade da planta ao embolismo.

Palavras-chaves: Vasos xilemáticos; regulador de crescimento; morte vegetal.

Abstract

Cotton is one of the world's main agricultural commodities. The use of growth regulators such as mepiquat chloride is a common practice in cotton crops, aiming at controlling excessive plant growth and improving the harvest rate. Water deficiency is one of the factors that most limit production. The occurrence of embolism is among the effects of water stress, preventing water movement in the xylem vessels. As a result, this work was carried out with the objective of analyzing anatomical responses of leaves, stomata, petiole and peduncle xylem. Also the vulnerability of the cotton plant to embolism in a period of water deficit of the plants that were submitted to the application of mepiquat chloride. The plant regulator was applied when the average length of the 5 pointer nodes exceeded 3.5 cm, following the recommendation of 15g/200l/ha. When more than 70% of the plants reached the F7 phenological stage, irrigation was suspended in order to induce water stress. For the anatomical evaluation, the adaxial and abaxial stomata, leaf blade and petiole and peduncle xylem were analyzed. The vulnerability curves were analyzed by measuring the dissipated air together with the water potential. The experiment was established in a completely randomized design, with a 2 x 2 factorial (with deficit and without deficit x with regulator and without regulator). The results were submitted to analyzes of variance (ANAVA, $p < 0.05$) and later the values were compared by Tukey's test ($p < 0.05$). The use of mepiquat chloride significantly increased stomatal density during the water deficit period. The spongy parenchyma of the leaves did not show significant differences in both water regimes, but with the period of lack of water, the thickness of the cell wall of the xylem and the proportion of the xylem area in the peduncle was greater in the plants that received mepiquat chloride, presenting results opposites when analyzed in the anatomy of the petiole. The vulnerability curves did not show consistent results, it is notable that there are differences between the treatments, but more testing is needed to obtain the accuracy of the curves. These results show that the use of mepiquat chloride can improve anatomical parameters during the period of water deficiency, which can influence vulnerability to embolism.

Keywords: Xylematic vessels; growth regulator; plant death.

6.1 Introdução

O algodoeiro pertence à família Malvaceae, da tribo Gossypiae e ao gênero *Gossypium*. A planta de algodão está dispersa no mundo, podendo ser encontradas espécies diferentes em regiões da Ásia, África, Austrália e América (Fryxell, 1979; Sousa, 2010). A espécie que mais se destaca mundialmente é a *Gossypium hirsutum* L., sendo cultivada atualmente.

Altas temperaturas e deficiência hídrica podem provocar queda de frutos e diminuir drasticamente a produção das fibras (Paixão, 2021). Embora o algodoeiro apresente boa tolerância a períodos de estiagem, a planta está sujeita a danos causados pelas alterações ambientais (Beltrão, 2006). Com a falta de chuva ou irrigação, o potencial hídrico do xilema diminui, o que pode levar a planta ao ponto de murcha permanente.

Portanto, ocorre uma queda do transporte de seiva no xilema, o que causa impactos negativos nas trocas gasosas e em todo o metabolismo fisiológico e bioquímico das plantas (Loka; Oosterhuis, 2012). As células xilemáticas são responsáveis por conduzirem água, e qualquer alteração anatômica em sua estrutura pode alterar o transporte hídrico por toda a estrutura vegetal (Taiz *et al.*, 2017).

A água é transportada através da ligação entre as pontes de hidrogênio, e essa ligação se dá pela lei da adesão e tensão das moléculas. O rompimento das ligações é considerado prejudicial, pois após o rompimento os elementos condutores xilemáticos são preenchidos por bolhas de gás, que dificultarão a religação das pontes de hidrogênio, ocasionando a morte da planta (Brodribb; Hill, 1999; Cardoso; Batz; McAdam, 2020). Esse problema é denominado pela formação da cavitação dentro dos vasos xilemáticos (Taiz *et al.*, 2017).

Com os impactos das mudanças climáticas no ambiente, a falha hidráulica vem sendo relatada como uma das principais causas de mortalidade vegetal em períodos com falta de precipitação pluviométrica (Charrier; Torres; Badek, 2016; Stovall; Shugart; Yang, 2019). A lacuna no interior do xilema preenchida por gás é denominada de embolia, ou seja, quando ocorre o fenômeno da cavitação os vasos xilemáticos ficam embolizados (Taiz *et al.*, 2017). Portanto, as estruturas do xilema,

suas dimensões e proporções estão correlacionadas com a resistência ou vulnerabilidade da planta ao embolismo (Cochard; Tyree, 1990).

O uso de cloreto de mepiquate no algodoeiro tem como objetivo diminuir a biossíntese do hormônio giberelina, o que faz com que o alongamento celular seja reduzido, tornando a planta mais compacta (Echer; Rosolem; Mello, 2020). Portanto, a substância cloreto de mepiquate é capaz de interferir na anatomia da planta e isso pode impactar suas respostas de tolerância a períodos de falta de água. Uma vez alterada a sua anatomia, principalmente em relação aos vasos xilemáticos, pode haver influência positiva ou negativa na condutividade hidráulica, garanti à resistência a ocorrência da cavitação nos vasos.

6.2 Material e Métodos

Capítulo 1, página 41.

6.2.1 Local experimental

Capítulo 1, página 41.

6.2.2 Delineamento experimental

Capítulo 1, página 42.

6.2.3 Instalação do experimento

Capítulo 1, página 42.

6.2.4 Capacidade de campo do vaso

Capítulo 1, página 42.

6.2.5 Tratamento com deficiência hídrica

Capítulo 1, página 43.

6.2.6 Tratamento com cloreto de mepiquate

Capítulo 1, página 44.

6.3 Avaliações

Para todas as avaliações anatômicas foram utilizadas estruturas retiradas da mesma planta referente aos tratamentos. Sendo as mesmas estruturas foliares usadas anteriormente para as avaliações fisiológicas. Todas essas estruturas foram coletadas após a aplicação do tratamento com cloreto de mepiquate.

6.3.1 Anatomia estomática

Para a avaliação estomática foram utilizadas folhas completamente expandidas após a aplicação do tratamento com cloreto de mepiquate, sendo analisados os parâmetros: comprimento, largura e densidade estomática, seguindo a metodologia de North (1956), onde uma impressão da superfície foliar foi obtida com cola a base de cianoacrilato, a qual foi colocada diretamente na lâmina para avaliação no microscópio óptico Zeiss, Axio Scope Modelo A1, acoplado a uma câmera AxioCam. Para obtenção do comprimento e largura calculou-se a média a partir da medição de 20 estômatos por lâmina, sendo uma lâmina por indivíduo. Para o cálculo da densidade, fez-se a média do número de estômatos presentes em três campos de visão por lâmina, evitando-se regiões com nervuras. As mensurações foram feitas na objetiva de 40x, com auxílio do software AxioVision.

6.3.2 Anatomia do limbo

As amostras foliares foram desidratadas em série etílica e incluídas em historesina. Cortes transversais foram obtidos em micrótomo rotativo com espessura de 8 μ m. As lâminas foram coradas com azul de toluidina 1%, pH 4,0 e montadas com Entellan. As seguintes espessuras foram avaliadas: epiderme da face superior, parênquima paliçádico, parênquima lacunoso, epiderme da face inferior e espessura total da folha. As medidas foram analisadas através do software AxioVision, e as fotos obtidas com auxílio de uma câmera AxioCam acoplada no microscópio Zeiss, Axio Scope Modelo A1. Foram realizadas 20 medições por tecido por lâmina e feita a média dos valores.

6.3.3 Anatomia do xilema do pecíolo da folha e do pedúnculo da maçã

Seguindo Segatto (2004), para a avaliação do diâmetro dos vasos do xilema, bem como a espessura de sua parede celular, e a proporção entre a área ocupada pelo xilema em relação a área total do pecíolo e do pedúnculo, foram realizados cortes transversais da parte central nessas estruturas, à mão livre. Sendo utilizadas as estruturas referentes às folhas também coletadas para avaliações. Para visualização das estruturas utilizou-se azul de toluidina a 1%, pH 4,0. As lâminas foram montadas com glicerina. As seções foram fotografadas com uma câmera AxioCam, acoplada ao microscópio Zeiss, Axio Scope Modelo A1, e as estruturas celulares foram analisadas no software AxioVision. Foram realizadas 20 medições por parâmetro e por lâmina e feita a média dos valores.

6.3.4 Curva de vulnerabilidade ao embolismo

Para as análises de ar dissipado, que caracteriza a vulnerabilidade da planta à embolia, utilizou-se o aparelho pneumático M-Pneumatron (Plantem – São José dos Campos, Brasil), juntamente com a câmera de pressão de Scholander para a realização das medidas do potencial hídrico. No dia anterior, todas as plantas que receberam o tratamento com cloreto de mepiquate e as que não receberam nenhuma aplicação foram irrigadas normalmente até atingirem sua capacidade de campo, visto que, para essa análise as plantas necessitam estar bem hidratadas pois será avaliado durante a fase de murchamento dessas. Entre 6 e 7 horas da manhã, as plantas foram embaladas com sacos de polietileno na cor preta, uma hora antes de serem submetidas às análises. Os vasos foram transportados para um ambiente com temperatura fixa de 20°C, a fim de se obter um padrão de temperatura durante o tempo das análises. O potencial da água do xilema foi medido em conjunto com a análise de ar dissipado, sendo a primeira análise realizada assim que as plantas foram conectadas ao aparelho pneumático. De início, foram realizadas duas medições com seis horas de intervalo cada, e após esse período, foi medido o potencial hídrico uma vez ao dia; sempre realizado no período da manhã. Os dados de potencial hídrico foram correlacionados com os resultados das análises de ar dissipado através do software RStudio (Pereira *et al.*, 2019).

6.3.5 Análises dos dados

A análise estatística foi realizada através do software Sisvar, Sendo atendidos os pressupostos, os dados foram submetidos à análise de variância ANAVA ($p \leq 0,05$). Constatando-se significância estatística ao nível de 5% e posteriormente os efeitos dos tratamentos foram comparados pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

6.4 Resultados

6.4.1 Anatomia estomática

Na análise da anatomia estomática adaxial, houve diferença significativa entre os fatores avaliados (regime hídrico e aplicação de CM) bem como para a interação entre eles para o comprimento dos estômatos e a densidade estomática. Porém, não foi identificado efeito dos tratamentos sobre a largura dos estômatos (Tabela 6). Em condições irrigadas, as plantas que receberam cloreto de mepiquate apresentaram maior comprimento estomático quando comparadas às plantas controle. Portanto, o tratamento com cloreto de mepiquate proporcionou um maior comprimento dos estômatos quando as plantas estavam irrigadas e quando houve a deficiência hídrica o comprimento estomático foi menor do que as plantas controle (Figura 15). A quantidade dos estômatos e a densidade estomática também apresentaram interação entre os tratamentos. Quando havia irrigação, as plantas tratadas com cloreto de mepiquate apresentaram quantidade e densidade dos estômatos inferiores às plantas não tratadas. Porém, com deficiência hídrica o tratamento com cloreto de mepiquate aumentou a quantidade e densidade dos estômatos quando comparado ao controle irrigado. Entretanto, em plantas não tratadas com CM e sob deficiência hídrica a quantidade e densidade estomática diminuíram significativamente (Figura 16 e 17). Quando submetidas à deficiência hídrica, as plantas que receberam o tratamento com cloreto de mepiquate apresentaram menor densidade estomática em comparação com as plantas não tratadas com CM (Figura 17).

Houve interação dos tratamentos quanto ao comprimento e largura dos estômatos na parte abaxial da folha (Tabela 6). Sob irrigação, a aplicação do cloreto de mepiquate resultou em maior comprimento dos estômatos (Figura 18). A largura dos estômatos das plantas não tratadas com CM foi maior sob deficiência hídrica.

Essa resposta ocorreu da forma oposta nos tratamentos com cloreto de mepiquate, pois quando sob déficit hídrico a largura dos estômatos diminuiu (Figura 19). Portanto, em condição de irrigação a largura dos estômatos das plantas tratadas com cloreto de mepiquate foi maior em comparação às plantas não tratadas. Mas, sob déficit hídrico, as plantas com cloreto de mepiquate tiveram a largura dos estômatos diminuída e as plantas não tratadas aumentada. Ao comparar os efeitos dos tratamentos isolados, pode-se verificar que a quantidade e densidade estomática foram menores nas plantas com cloreto de mepiquate em comparação com as plantas não tratadas com CM. Porém, a deficiência hídrica aumentou a quantidade e a densidade de estômatos na face abaxial da folha (Tabela 6).

Tabela 6 – Análise de parâmetros estomáticos em plantas de algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate.

Fonte de variação	Características dos estômatos – face Adaxial			
	Comprimento μm	Largura μm	Quantidade -	Densidade mm^{-2}
Regime hídrico (R)				
Controle	32,91 a	20,14 a	24,16 a	100,69 a
Déficit	30,65 b	19,76 a	24,55 a	102,31 a
Cloreto de mepiquate (CM)				
Com	31,9 a	19,77 a	21,72 b	90,51 b
Sem	31,63 a	20,12 a	27,00 a	112,50 a
p- value				
R	0,0000	0,1570	0,1845	0,1850
CM	0,4822	0,1873	0,0000	0,0000
RxCM	0,0106	0,8743	0,0000	0,0000
CV%	3,97	3,86	3,51	3,51
Características dos estômatos - face Abaxial				
Regime hídrico (R)				
Controle	32,82 a	21,49 a	44,55 b	185,64 b
Déficit	30,67 b	21,54 a	49,27 a	205,32 a
Cloreto de mepiquate (CM)				
Com	32,30 a	21,35 a	43,22 b	180,09 b
Sem	31,19 b	21,68 a	50,61 a	210,87 a
p- value				
R	0,0000	0,8569	0,0170	0,0170
CM	0,0176	0,2776	0,0005	0,0005
RxCM	0,0180*	0,0007**	0,1689	0,1689
CV%	4,11	4,12	11,77	11,77

* significativo à 5% de probabilidade. ** significativo à 1% de probabilidade.
Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

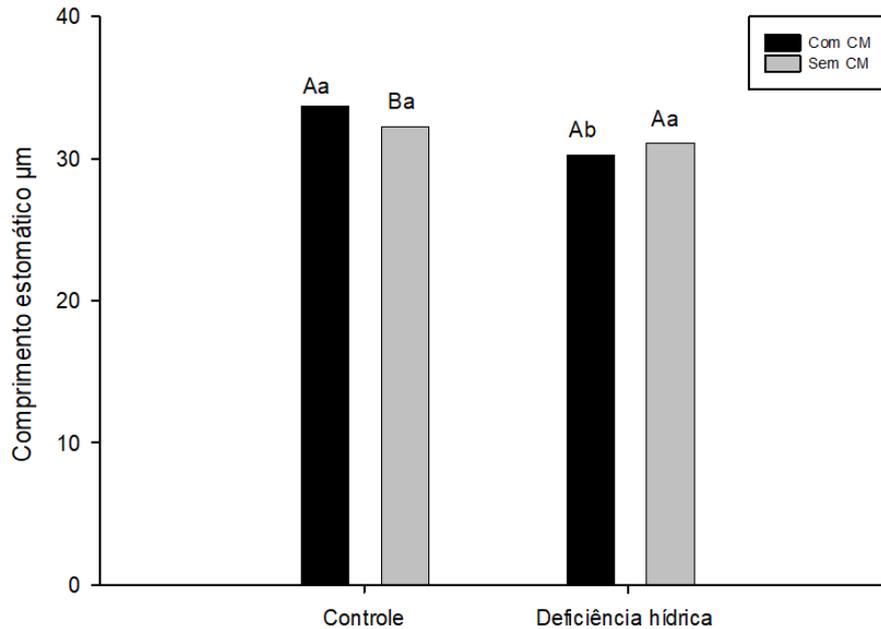


Figura 15 - Comprimento dos estômatos da face adaxial da folha do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquat. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).

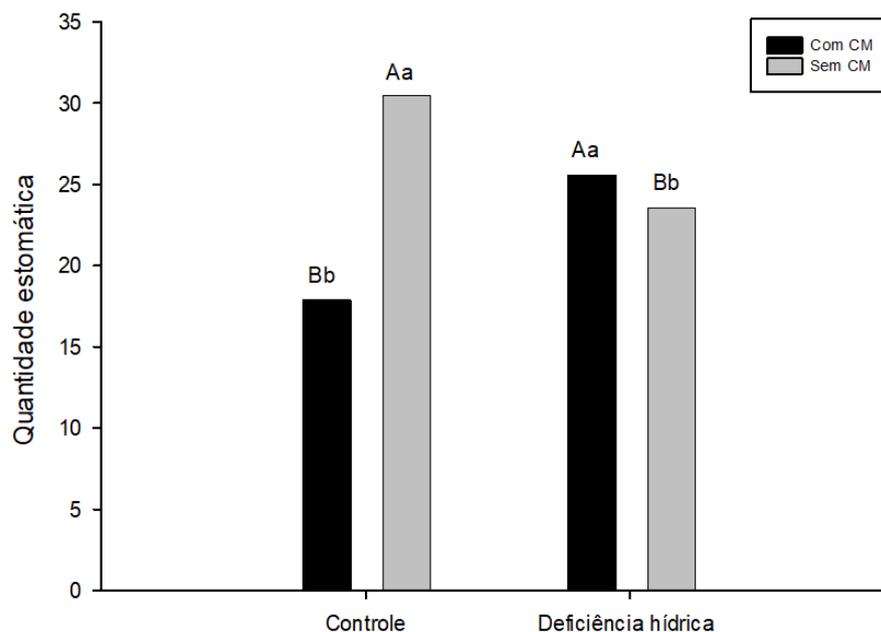


Figura 16 - Quantidade dos estômatos da face adaxial da folha do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquat. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico

(com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).

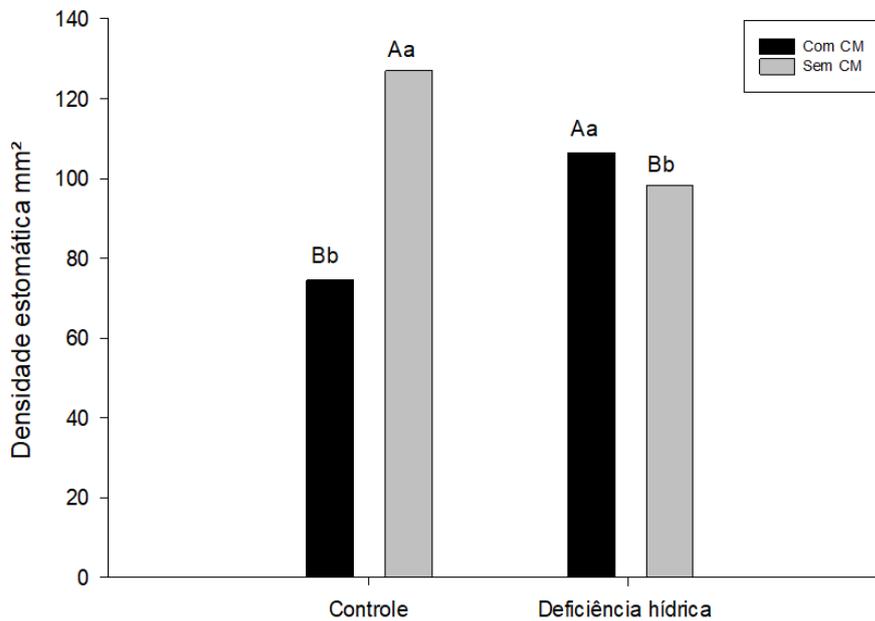


Figura 17 - Densidade estomática dos estômatos adaxial da folha do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).

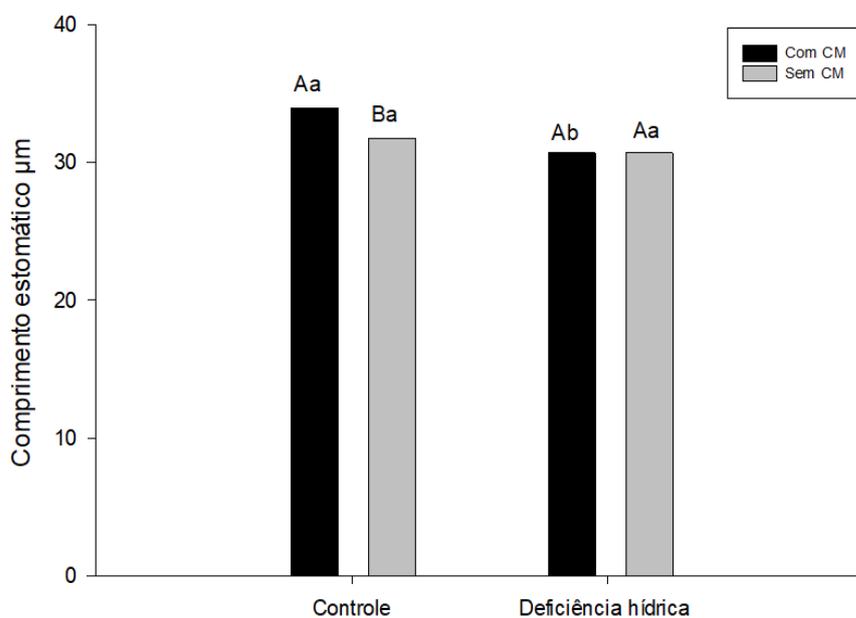


Figura 18 - Comprimento dos estômatos abaxial da folha do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico

(com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).

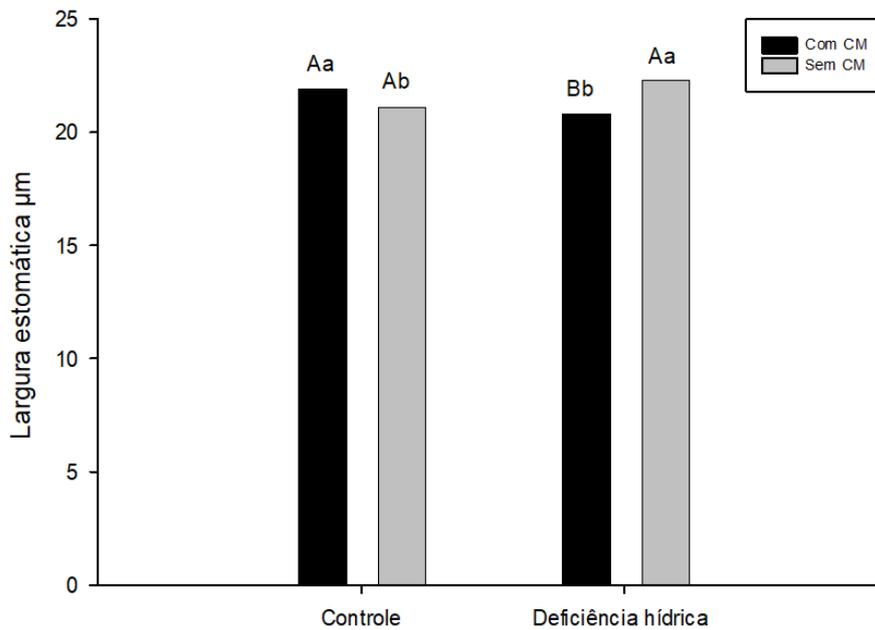


Figura 19 - Largura dos estômatos da face abaxial da folha do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).

6.4.2 Anatomia do limbo

Houve interação significativa entre os fatores estudados com a relação à epiderme superior e do parênquima lacunoso (Tabela 7). Em relação à epiderme da face superior, as plantas irrigadas que receberam o cloreto de mepiquate apresentaram uma epiderme superior mais espessa, porém quando essas passaram por deficiência hídrica a espessura da epiderme superior diminuiu. Esse efeito foi o oposto em plantas não tratadas com CM, pois a espessura da epiderme foi menor quando irrigado em relação à deficiência hídrica, ou seja, sob déficit hídrico as plantas não tratadas com CM aumentaram a espessura da epiderme superior (Figura 20). Já em relação ao parênquima lacunoso, a deficiência hídrica aumentou sua espessura em plantas tratadas com cloreto de mepiquate, e sob irrigação a espessura do parênquima lacunoso foi menor do que quando passaram por deficiência hídrica. Esse efeito foi o oposto do observado em plantas não tratadas

com CM, pois essas possuíam um parênquima lacunoso mais espesso quando estavam sob irrigação, e após o período de deficiência hídrica o parênquima lacunoso diminuiu (Figura 21). Para os outros parâmetros analisados, epiderme inferior, parênquima paliçádico e área transversal não houve diferença significativa de ambos os tratamentos (Tabela 7).

Tabela 7 – Espessura dos tecidos foliares em algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate.

Tratamentos	Epiderme Superior	Epiderme Inferior	Parênquima Paliçádico	Parênquima Lacunoso	Espessura Total
	μm	μm	μm	μm	μm
Regime hídrico (R)					
Controle	30,38 a	17,72 a	187,89 a	142,32 a	375,55 a
Déficit	31,97 a	19,71 a	176,49 a	125,57 b	362,25 a
Cloreto de mepiquate (CM)					
Com	31,97 a	20,98 a	180,79 a	131,28 a	367,66 a
Sem	30,39 a	16,46 a	183,59 a	136,60 a	370,15 a
p- value					
R	0,4303	0,3659	0,1322	0,0151	0,0730
CM	0,4318	0,0509	0,7020	0,3972	0,7233
RxCM	0,0001	0,3445	0,0735	0,0006	0,5149
CV%	15,38	27,87	9,62	11,16	4,58

* significativo à 5% de probabilidade. ** significativo à 1% de probabilidade.

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

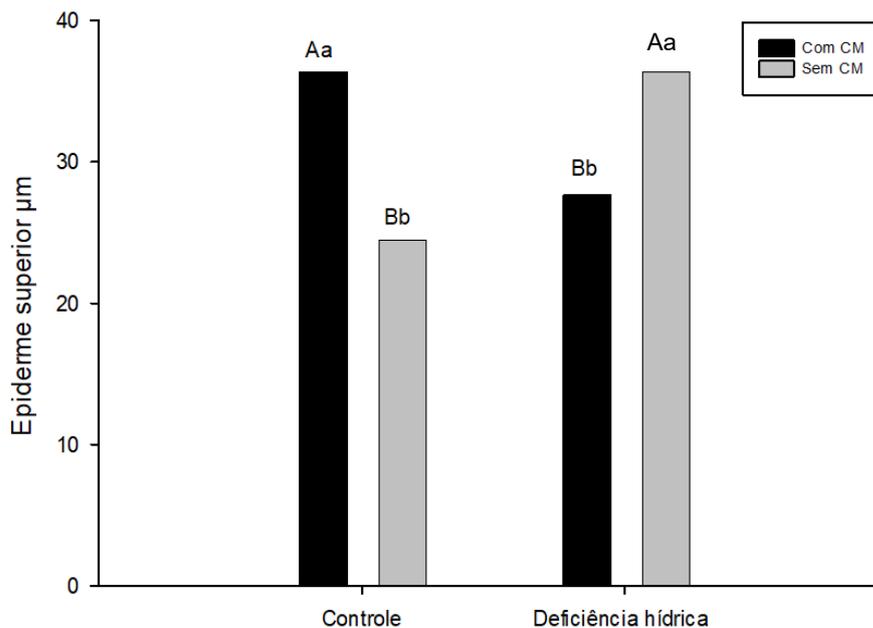


Figura 20 – Comprimento da epiderme superior da folha do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem

entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).

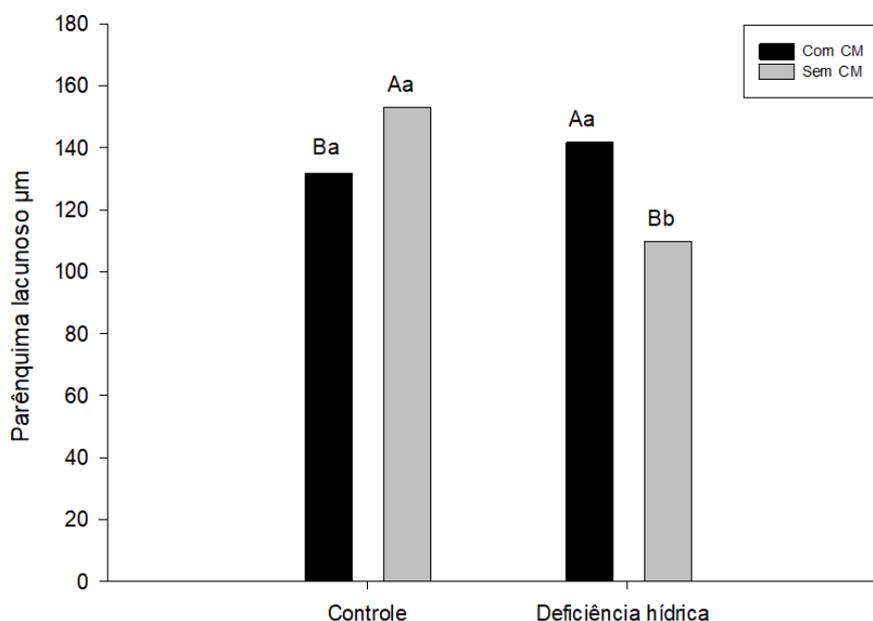


Figura 21 – Comprimento do parênquima lacunoso da folha do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).

6.4.3 Anatomia do xilema do pecíolo da folha e pedúnculo da maçã

Houve diferença significativa no diâmetro do xilema e espessura da parede celular do xilema do pedúnculo da maçã do algodoeiro (Tabela 8). Quando irrigadas, as plantas tratadas com cloreto de mepiquate apresentavam diâmetro xilemático maior em relação às plantas não tratadas. Porém, quando as plantas foram submetidas à deficiência hídrica, a ausência de CM resultou em aumento significativo do diâmetro xilemático em relação às plantas tratadas com cloreto de mepiquate. Portanto, o cloreto de mepiquate não mudou significativamente o diâmetro do xilema, mas nas plantas não tratadas com CM houve aumento do diâmetro dos vasos xilemáticos quando faltou água (Figura 22). Já em relação à espessura das paredes celulares, as plantas tratadas com cloreto de mepiquate não apresentaram diferença significativa entre os regimes hídricos. Porém, nas plantas não tratadas com CM, a espessura da parede celular foi maior sob irrigação do que nas plantas sob deficiência hídrica (Figura 23).

Houve diferença significativa nos parâmetros de espessura da parede celular e proporção da área do xilema do pecíolo da folha (Tabela 8). A espessura da parede celular das plantas com cloreto de mepiquate foi maior quando estavam sendo irrigadas, em relação às plantas não tratadas com CM. Já sob deficiência hídrica, a espessura da parede celular das plantas não tratadas com CM foi maior em relação às plantas que receberam a aplicação de cloreto de mepiquate (Figura 24). As plantas sem CM apresentaram maior proporção da área do xilema em relação às plantas que haviam recebido cloreto de mepiquate sob regime irrigado. Entretanto, quando as plantas passaram por período de deficiência hídrica as plantas com cloreto de mepiquate apresentaram maior proporção de área com vasos xilemáticos em relação às plantas não tratadas (Figura 25).

Tabela 8 – Parâmetros xilemáticos para o pedúnculo das maçãs e pecíolo das folhas em algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate.

Fonte de variação	Diâmetro xilemático	Espessura da parede celular xilemática	Proporção da área xilemática
	µm	µm	%
<u>Pedúnculo da maçã</u>			
Regime hídrico (R)			
Controle	120,92 b	3,43 a	23,22 a
Déficit	150,91 a	3,18 b	17,54 b
Cloreto de mepiquate (CM)			
Com	133,57 a	3,06 b	19,17 b
Sem	138,25 a	3,55 a	21,58 a
p- value			
R	0,0004	0,0014	0,0000
CM	0,4968	0,0000	0,0003
RxCM	0,0081	0,0019	0,6585
CV%	11,07	4,44	5,82
<u>Pecíolo da folha</u>			
Regime hídrico (R)			
Controle	594,81 a	4,17 a	19,08 a
Déficit	516,74 b	4,10 a	20,08 a
Cloreto de mepiquate (CM)			
Com	614,53 a	4,03 a	19,13 a
Sem	497,03 b	4,25 a	20,04 a
p- value			
R	0,0063	0,5638	0,2922
CM	0,0003	0,0919	0,3406
RxCM	0,0628	0,0002**	0,0001**
CV%	9,52	6,31	10,45

* significativo à 5% de probabilidade. ** significativo à 1% de probabilidade
Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

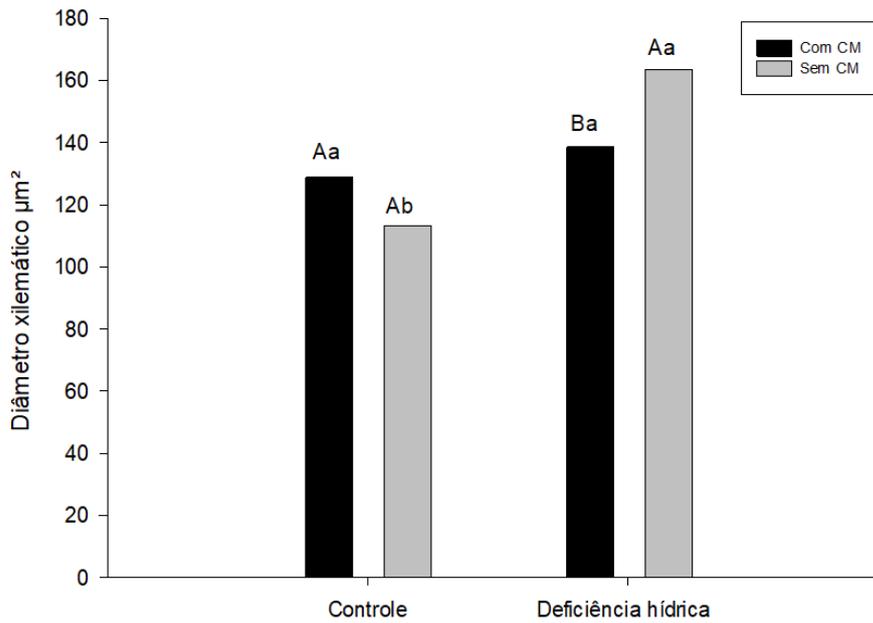


Figura 22 - Diâmetro do xilema do pedúnculo das maçãs do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate . Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).

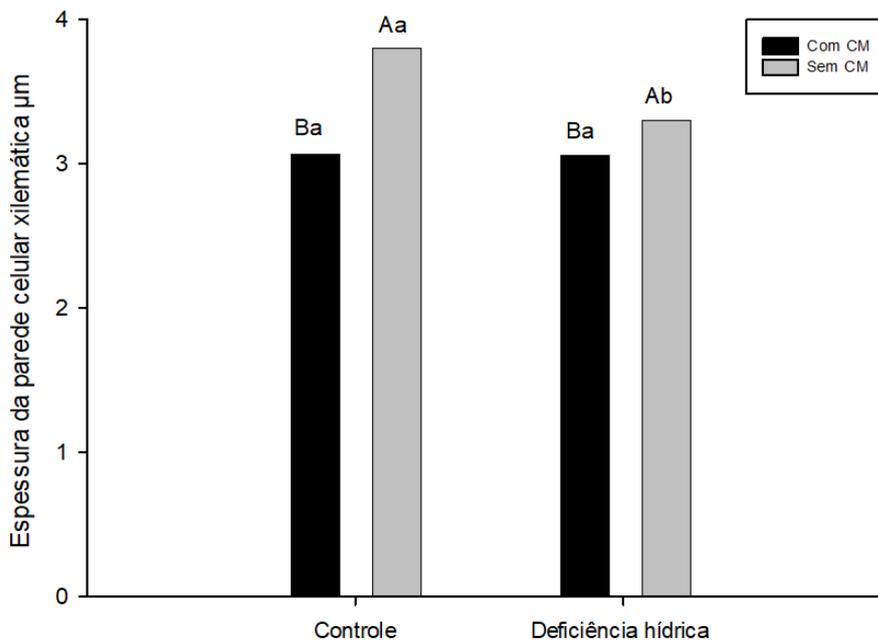


Figura 23 - Espessura da parede celular do xilema do pedúnculo das maçãs do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam

o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).

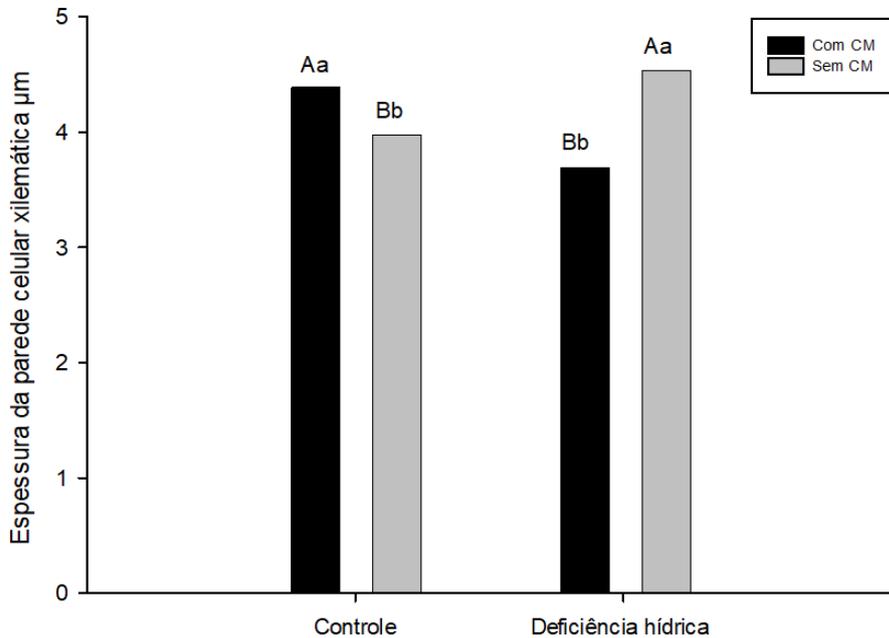


Figura 24 - Espessura da parede celular do xilema do pecíolo das folhas do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico (com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).

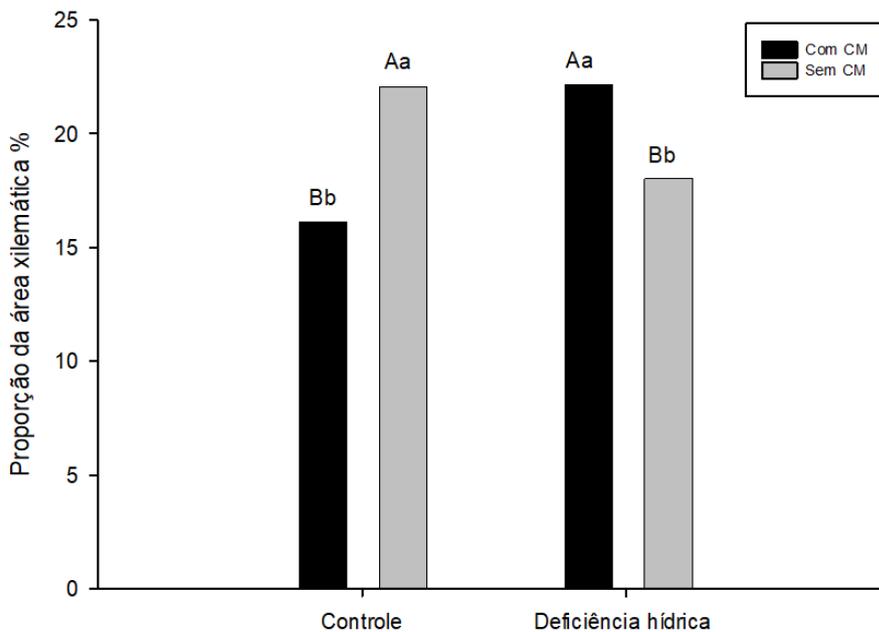


Figura 25 - Proporção da área do xilema do pecíolo da folha do algodoeiro em função de regime hídrico e aplicação de cloreto de mepiquate. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam o regime hídrico

(com e sem água). Letras minúsculas comparam o uso de cloreto de mepiquate dentro de cada regime hídrico (com e sem CM).

6.4.4. Curva de vulnerabilidade a embolismo

Não foi possível obter boas curvas das plantas que não receberam o tratamento com cloreto de mepiquate (Figura 28 e 29). Sendo assim, apenas duas curvas de vulnerabilidade ao embolismo das plantas tratadas com cloreto de mepiquate puderam ser utilizadas. Nelas, pode-se verificar que essas plantas apresentaram P50% na média de -2,22 MPa, P88% -2,66 MPa e P12% -1,78 MPa (Figuras 26 e 27).

Sem cloreto de mepiquate

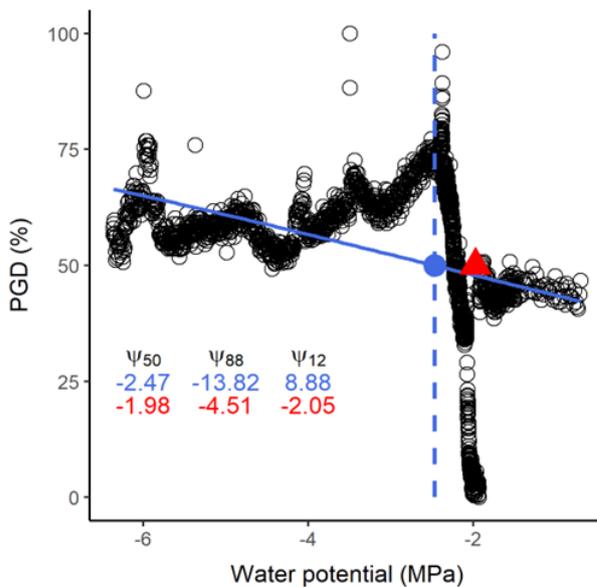


Figura 26 - Curva da vulnerabilidade ao embolismo das plantas que não receberam o tratamento com cloreto de mepiquate 1. Porcentagem de ar dissipado (PGD %), Potencial hídrico (Water potential MPa).

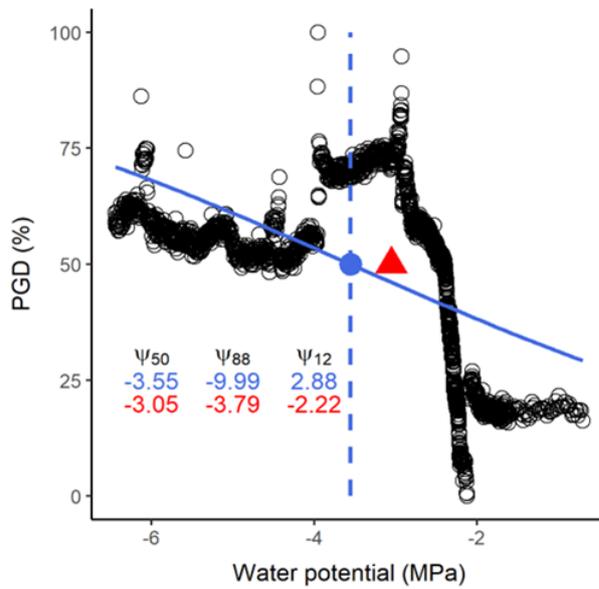


Figura 27 - Curva da vulnerabilidade ao embolismo das plantas que não receberam o tratamento com cloreto de mepiquate 2. Porcentagem de ar dissipado (PGD %), Potencial hídrico (Water potential Mpa).

Com cloreto de mepiquate

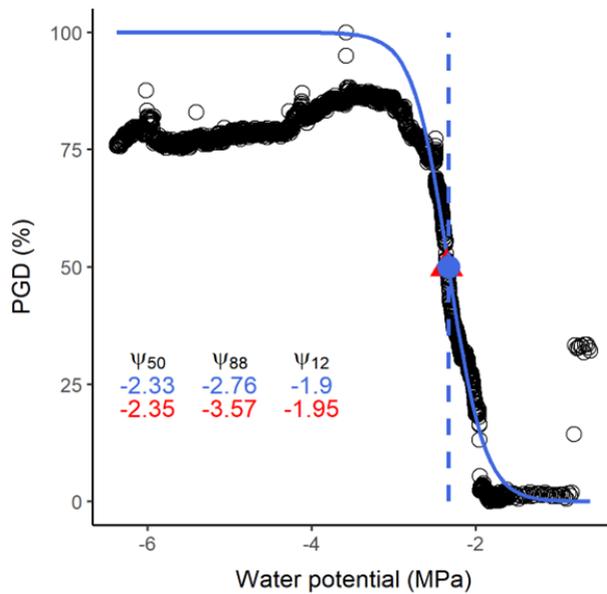


Figura 28 - Curva da vulnerabilidade ao embolismo das plantas tratadas com cloreto de mepiquate 1. Porcentagem de ar dissipado (PGD %), Potencial hídrico (Water potential Mpa).

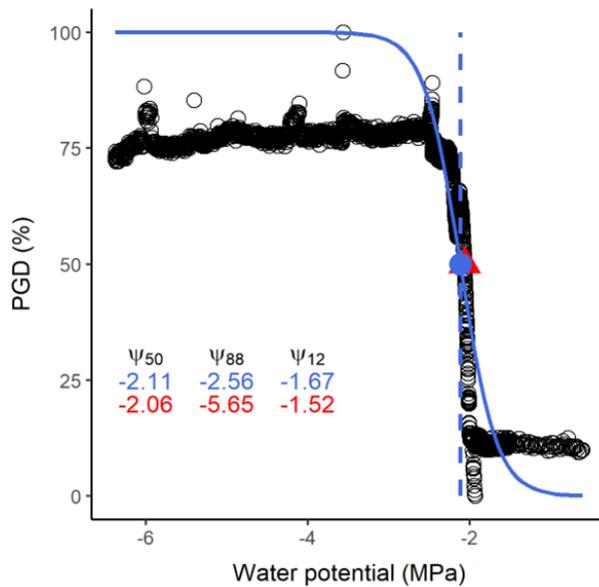


Figura 29 - Curva da vulnerabilidade ao embolismo das plantas tratadas com cloreto de mepiquate 2. Porcentagem de ar dissipado (PGD %), Potencial hídrico (Water potential MPa).

6.5 Discussão

O movimento da água através das raízes até as folhas se dá pela pressão hidrostática negativa gerada pela transpiração que ocorre nas extremidades foliares. Assim, quando ocorre a difusão da molécula de água em forma de vapor para a atmosfera, as moléculas de água dentro do xilema são tensionadas para cima, o que permite a absorção de água presente no solo para dentro do xilema das raízes e assim, conseqüentemente, a água é transportada para o dossel foliar (Taiz *et al.*, 2017).

As células condutoras de água no xilema possuem diferença especializada em sua anatomia. Existem dois tipos importantes, as traqueídes e os elementos de vaso. As células das traqueídes possuem somente a parede celular, pois na maturação ocorre a morte das organelas e das membranas. As traqueídes são células fusiformes alongadas, que possuem uma eficaz organização delas em filas verticais estando sempre sobreposta umas às outras (Taiz *et al.*, 2017).

Diferentemente das traqueídes, os elementos de vaso têm suas paredes terminais perfuradas, que permite que eles sejam dispostos extremidade com extremidade. Esse empilhamento dos elementos de vaso forma um conduto com maior dimensão, chamado por vaso xilemático. Esses vasos xilemáticos variam seu comprimento de acordo com cada espécie vegetal. Por causa das paredes terminais

perfuradas, que se encaixam de forma eficiente umas as outras, os vasos proporcionam uma rota de baixa resistência e muito eficiente no transporte hídrico (Taiz *et al.*, 2017).

O transporte hídrico nas plantas é essencial para sua sobrevivência. A forma anatômica dos seus vasos xilemáticos influencia diretamente na adaptação das plantas às mudanças climáticas (Kattge *et al.*, 2011). Um subconjunto de características anatômicas do caule pode estar ligado à resistência a embolia induzida pela seca, como o aumento da densidade da madeira, membranas das pontuações e diâmetros dos vasos xilemáticos mais estreitos (Hacke *et al.*, 2016; Olson *et al.*, 2018). Este presente estudo encontrou respostas diferentes dos diâmetros dos vasos xilemáticos do pedúnculo das maçãs entre plantas de algodão que receberam cloreto de mepiquate e plantas que não receberam sob condições de deficiência hídrica. Ao passar por período de deficiência hídrica, ambos os tratamentos aumentaram o diâmetro dos vasos do xilema, porém o tratamento com cloreto de mepiquate apresentou célula xilemática com menor diâmetro nesse período. Isso mostra que a condutividade hidráulica em plantas com cloreto de mepiquate pode apresentar menor vulnerabilidade ao embolismo, uma vez que diâmetros das células do xilema menores a planta apresenta maior tolerância ao rompimento das moléculas de água (Choat *et al.*, 2012; Dória *et al.*, 2016).

Nas folhas, a transpiração está estreitamente relacionada com a parede celular das células mesofílicas. As células do mesofilo estão em contato direto com a atmosfera por meio de um sistema extenso de espaços intercelulares. À medida que mais água é removida da parede, a pressão da água torna-se mais negativa. Assim, a força responsável por mover a água dentro dos vasos do xilema é gerada nas interfaces ar-água dentro da folha. O vapor de água sai das folhas através dos poros estomáticos (Taiz *et al.*, 2017). Portanto, a quantidade de estômatos presentes nas folhas pode influenciar a tolerância ao período de deficiência hídrica. Paixão (2021), ao analisar a quantidade estomática de genótipos de algodoeiro, identificou que o cloreto de mepiquate influenciou na quantidade de estômatos na face adaxial das folhas, ocorrendo diminuição do número de estômatos em comparação com plantas que não receberam o regulador. Esse resultado também foi observado neste estudo, uma vez que o cloreto de mepiquate diminuiu a quantidade de estômatos tanto na face adaxial quanto abaxial das folhas (Tabela 6).

O parênquima paliçádico fica voltado para a face adaxial da folha, já o parênquima lacunoso para a face abaxial. As células do parênquima paliçádico são ricas em cloroplastos e ocupam aproximadamente metade da espessura total da folha. As células do parênquima lacunoso são dispostas de forma frouxa, favorecendo que o vapor de água e dióxido de carbono circulem por entre suas células (Môro; Damião, 1999). Este estudo identificou que o cloreto de mepiquate proporcionou maior espessura do parênquima lacunoso quando as plantas passaram por período de deficiência hídrica, em relação as plantas não tratadas. Portanto, como mencionado no capítulo 1 deste trabalho, as plantas com o tratamento do cloreto de mepiquate, puderam apresentar melhores respostas a transpiração e absorção de CO₂, mantendo esses parâmetros por mais tempo. Cruz, Sabino e Toledo, 1982, também identificou que a aplicação de cloreto de mepiquate aumentou o número de células do parênquima lacunoso. Além de aumentar a espessura da epiderme superior, o que também foi identificado nesse estudo (Tabela 7).

Períodos de deficiência hídrica reduzem a disponibilidade de água no solo, com isso, os estômatos possuem papel fundamental para manter a pressão hídrica no xilema, essa pressão é medida como potencial hídrico, com valores abaixo de zero. Um dos parâmetros mais utilizados para determinar a vulnerabilidade ao embolismo é o P50. O P50 consiste no valor do potencial hídrico em que ocorre 50% de perda da condutividade hidráulica dentro dos vasos xilemáticos. Quando o valor do potencial hídrico fica abaixo do valor do P50, o transporte hídrico é prejudicado e a planta fica exposta a um risco considerável de embolia. Também, é importante levar em consideração mais dois pontos importantes, o P88 e o P12. O P88 é um valor estimado que representa o exato momento em que o potencial hídrico não pode mais ser recuperado, desencadeando a morte vegetal. Já, o P12 representa o ponto inicial da formação de embolia nos vasos. Portanto, entender quais são os valores encontrados em plantas que recebem o tratamento com cloreto de mepiquate é fundamental para futuras pesquisas. Nesse trabalho, foi possível identificar que o P50 das plantas que receberam o cloreto de mepiquate foi em média -2,22 MPa. Já o valor de P88 foi de -2,66 MPa. Com esses valores podemos identificar que o algodoeiro tratado com cloreto de mepiquate possui o valor do P50 próximo ao valor de P88, mostrando que possuem uma margem de segurança estreita. Essa estratégia de apresentar uma margem estreita, mostra que essa

planta possui a capacidade limitada de trabalhar seu metabolismo fisiológico até estar sob risco de cavitação dos vasos. Porém, Choat *et al.* (2012) apresentou que as plantas angiospermas, ou seja, as que possuem flores e frutos apresentam margens maiores entre P50 e P88, mostrando que possuem maior capacidade de reverter a embolia, embora, esse processo seja ainda pouco compreendido.

6.6 Conclusão

O uso do cloreto de mepiquate resultou em diferenças no comportamento anatômico do algodoeiro. As plantas que receberam esse tratamento quando submetidas à deficiência hídrica apresentaram maior densidade estomática na face adaxial das folhas, já na face abaxial o comprimento dos estômatos foi maior. O tratamento CM foi capaz de garantir a estabilidade do parênquima lacunoso das folhas e xilema do pedúnculo da maçã. Portanto, podemos concluir que o uso do cloreto de mepiquate melhorou o conteúdo estomático e garantiu maior estabilidade dos vasos xilemáticos do pedúnculo, visto que essa estrutura é fundamental para a produção. Mesmo que as curvas de vulnerabilidade ao embolismo tenham apresentado resultados incoerentes, é possível inferir que o uso de cloreto de mepiquate influenciou essas respostas.

REFERÊNCIAS

BELTRÃO, N. E. M. Fisiologia da produção do algodoeiro. **Embrapa Algodão**, Campina Grande, v. 94, 2006.

BRODRIBB, T.; HILL, R. S. The importance of xylem constraints in the distribution of conifer species. **New Phytologist**, Austrália, v. 143, p. 365–372, 1999.

CARDOSO, A. A.; BATZ, T. A.; MCADAM, S. A. Xylem embolism resistance determines leaf mortality during drought in *persea americana*. **Plant Physiology**, v. 182, n. 1, p. 547–554, 2020.

CHARRIER G.; TORRES-RUIZ J. M.; BADEL E. Evidence for hydraulic vulnerability segmentation and lack of xylem refilling under tension. **Plant Physiology**, v. 172, n. 3, p. 1657–1668, 2016.

CHOAT, B.; JANSEN, S.; BRODRIBB, T. J.; COCHARD, H.; DELZON, S.; BHASKAR, R. *et al.* Global convergence in the vulnerability of forests to drought. **Nature**, v. 491, p. 752–755, 2012.

COCHARD, H.; TYREE, M. T. Xylem dysfunction in *Quercus*: vessel sizes, tyloses, cavitation and seasonal changes in embolism. **Tree Physiology**, v. 6, n. 4, p. 393-407, 1990.

CRUZ, L. S. P., SABINO, N. P., & TOLEDO, N. M. P. Efeitos do cloreto de mepiquat empregado como fitorregulador sobre algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. "IAC 16"). **Planta Daninha**, 5(1), 15–22, 1982. <https://doi.org/10.1590/S0100-83581982000100003>

DÓRIA L. C.; PODADERA D. S.; BATALHA M. A.; LIMA R. S.; MARCATI R. M. Do woody plants of the Caatinga show a higher degree of xeromorphism than in the Cerrado?. **Flora**, v. 224, p. 244–251, 2016.

ECHER, F. R.; ROSOLEM, C. A.; MELLO, P. R. **Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso**. 4. ed. Cuiabá: Casa da Árvore, 2020.

FRYXELL, P. A. **The natural history of the cotton tribe (Malvaceae, Tribe Gossypieae)**. Michigan: Texas A & M University Press, 1979.

HACKE U. G.; SPICE R.; SCHREIBER S. G.; PLAVCOVA L. An ecophysiological and developmental perspective on variation in vessel diameter. **Plant, Cell & Environment**, v. 40, n. 6, p. 831–845, 2016.

KATTGE, J. *et al.* TRY – a global database of plant traits. **Global Change Biology**, v. 17, n. 9, p. 2905–2935, 2011.

LOKA, D. A.; OOSTERHUIS, D. M. **Flowering and fruiting in cotton**: water stress and reproductive development in cotton. 8. ed. Tennessee: The cotton foundation, 2012.

MÔRO, F. V.; DAMIÃO FILHO, C. F. Alterações morfo-anatômicas das folhas de milho submetidas à aplicação de nicosulfuron. **Planta Daninha**, v. 17, n. 3, p. 331–337, 1999.

NORTH, C. A technique for measuring structural features of plant epidermis using cellulose acetate films. **Nature**, v. 178, p. 1186–1187, 1956.

OLSON M. E.; SORIANO D.; ROSELL J. A. *et al.* Plant height and hydraulic vulnerability to drought and cold. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, USA, v. 115, n. 29, p. 7551–7556, 2018.

PAIXÃO, P. A. **Caracterização morfofisiológica e bioquímica de algodoeiro herbáceo (*Gossypium Hirsutum* L. Var. *Latifolium Hutch*) em função de doses e fontes de nitrogênio com e sem suplementação hídrica**. 2021. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2021.

PEREIRA, L.; BITTENCOURT, P. L.; PACHECO, V. S.; MIRANDA, M. T.; XHANG, Y.; OLIVEIRA, R. S. *et al.* The pneumatron: an automated pneumatic apparatus for estimating xylem vulnerability to embolism at high temporal resolution. **Plant, Cell e Environment**, v. 43, n. 1, p. 131-142, 2019.

SEGATTO, F. B.; BISOGNIN, D. A.; BENEDETTI, M.; COSTA, L. C.; RAMPELOTTO, M. V.; NICOLOSO, F. T. Técnica para o estudo da anatomia da epiderme foliar de batata. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1597-1601, 2004.

SOUSA, L. B. O algodoeiro: alguns aspectos importantes da cultura. **Revista Verde**, Mossoró - RN, v. 5, n. 4, p. 19-26, 2010.

STOVALL, A. E. L.; SHUGART, H.; YANG, X. Tree height explains mortality risk during an intense drought. **Nature communications**, v. 10, 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. ed. 6. Porto Alegre: Artmed, 2017.

ANEXO 1

CURSO DE AGRONOMIA - Laboratório de Análise de Solos e Tecido Vegetal

Faculdade de Ciências Agrárias da Unoeste - Rodovia Raposo Tavares, Km 572 - Bairro Limoeiro.
CEP 19067 - 175 - Presidente Prudente - São Paulo - Fone (18) 3229-2039 / 3229-2073

10/09/2021

RESULTADO DE ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO

Página 1 de 1

SOLICITANTE : ESTER GERONIMO SERRA

PROPRIEDADE : TERRA VEGETAL

PROPRIETÁRIO : ESTER GERONIMO SERRA / FÁBIO RAFAEL ECHER

MUNICÍPIO : PRESIDENTE PRUDENTE - SP



ENTRADA

08/09/2021

SAÍDA

10/09/2021

BÁSICA

Amostras Código	Área	pH (CaCl ₂)	M.O. -----(g dm ⁻³)-----	C total -----	P ----- (mg dm ⁻³) -----	S-SO ₄ ²⁻	Al ³⁺	H + Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	m	V
1954 01		7,5	84,2	****	457,1	66,8	0	9,9	32,7	218,6	96,8	348,2	358,1	0	97,2
1955 02		7,7	88,6	****	402,7	59,3	0	8,8	38,9	212,5	92,2	343,6	352,4	0	97,5
1956 03		7,7	91,5	****	442,3	86,8	0	13,2	36,6	214,3	92,6	343,6	356,7	0	96,3

Responsável Técnico
Carlos Henrique dos Santos
Engenheiro Agrônomo
CREA/SP 5060867863

Classe de Teores	P (resina)				K	Ca	Mg	Sat. Bases (V)	pH (CaCl ₂)	S-SO ₄ ²⁻ Ca(H ₂ PO ₄)	Al (KCl)
	Anuais	Hortaliças	Perenes	Florestais							
	----- (mg dm ⁻³) -----				----- (mmol _c dm ⁻³) -----		%	-	(mg dm ⁻³)	(mmol _c dm ⁻³)	
Muito Baixo	0 - 6	0 - 10	0 - 5	0 - 2	0 - 0,7	-	-	0 - 25	Até 4,3	-	-
Baixo	7 - 15	11 - 25	6 - 12	3 - 5	0,8 - 1,5	0 - 3	0 - 4	26 - 50	4,4 - 5,0	0 - 4	< 5
Médio	16 - 40	26 - 60	13 - 30	6 - 8	1,6 - 3,0	4 - 7	5 - 8	51 - 70	5,1 - 5,5	5 - 10	-
Alto	41 - 80	61 - 120	31 - 60	9 - 16	3,1 - 6,0	> 7	> 8	71 - 90	5,6 - 6,0	> 10	> 5
Muito Alto	> 80	> 120	> 60	> 16	> 6,0	-	-	> 90	> 6,0	-	-

Met. de Análise : Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais. Raij et al. (2001). Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). 285 p.