

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

AMANDA PEREIRA PAIXÃO

**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**

Ilha Solteira
2021

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

AMANDA PEREIRA PAIXÃO

**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**

Tese apresentada à Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como
parte dos requisitos para obtenção do título
de Doutora em Agronomia. Especialidade:
Sistemas de Produção

Prof. Dr. Enes Furlani Junior
Orientador

Profa. Dra. Liliane Santos de Camargos
Profa. Dra. Aline Redondo Martins
Coorientadoras

Ilha Solteira
2021

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- P149c Paixão, Amanda Pereira.
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 / Amanda Pereira Paixão. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2021
168 f. : il.
- Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2021
- Orientador: Enes Furlani Junior
Coorientadoras: Liliane Santos de Camargos; Aline Redondo Martins
Inclui bibliografia
1. Fisiologia vegetal. 2. Suplementação hídrica. 3. Adubação nitrogenada. 4. Metabolismo antioxidante. 5. Espécies reativas de oxigênio.


Rajane da Silva Santos

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: 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

AUTORA: AMANDA PEREIRA PAIXÃO

ORIENTADOR: ENES FURLANI JUNIOR

COORIENTADORA: LILIANE SANTOS DE CAMARGOS

COORIENTADORA: ALINE REDONDO MARTINS

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



Prof. Dr. ENES FURLANI JUNIOR (Participação Virtual)

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



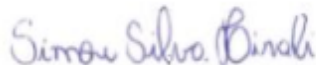
Prof. Dr. RICARDO ANTONIO FERREIRA RODRIGUES (Participação Virtual)

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP



Prof. Dr. RAÍSSA PEREIRA DINALLI (Participação Virtual)

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



Prof. Dr. SIMONE SILVA HIRAKI (Participação Virtual)

Campus de Três Lagoas / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul - IFMS



Prof. Dr. DANILO MARCELO AIRES DOS SANTOS (Participação Virtual)

Departamento de Engenharia Agrônômica / Universidade Estadual do Tocantins - Unitins

Ilha Solteira, 05 de março de 2021

DEDICO

A **Deus**, pela presença constante em minha vida e por iluminar o meu caminho, que sem sua graça jamais teria conseguido chegar até aqui.

Aos meus pais, **Moisés Augusto da Paixão** e **Luci Dalva Pereira Paixão**, pela presença constante em minha vida, por acreditarem na minha capacidade e me encorajarem a vencer todos os obstáculos.

Ao meu irmão, **Matheus Augusto Pereira Paixão** por sempre me ajudar nos momentos que precisei.

Ao meu noivo, **Luis Henrique Marani Daruichi Machado** pelo seu amor, companheirismo e paciência.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a **Deus**. Sei que se cheguei até aqui foi graças a Ele, e pude sentir sua fidelidade, cuidado e amor, sempre iluminando meus passos, me consolando nas horas difíceis, me dando forças para seguir em frente. Obrigado meu Deus por tamanha conquista e pelas bênçãos que certamente virão. Toda honra e toda glória sejam dadas a ti Jesus, sempre!

Aos meus pais, **Moisés Augusto da Paixão** e **Luci Dalva Pereira Paixão**, que são a minha razão de viver. Faltam-me palavras para descrever o tanto que os amo, e tudo que tenho devo a vocês, que sempre me motivaram e me ensinaram com amor que tudo é possível quando entregamos nossos sonhos nas mãos de Deus.

Ao meu irmão, **Matheus Augusto Pereira Paixão**, por ter me ajudado nos experimentos e nas avaliações de campo. Tenho muito orgulho de você.

Ao meu noivo, **Luis Henrique Marani Daruichi Machado**, que não mediu esforços para me ajudar em tudo que precisei, pela paciência e por me motivar a realizar os meus sonhos.

Em especial ao meu orientador, Prof. Dr. **Enes Furlani Junior**, por me proporcionar o privilégio de trabalharmos juntos durante todos esses anos, pela amizade, confiança e constantes incentivos em minha vida profissional. Suas ideias e seus ensinamentos foram muito valiosos durante esta jornada.

Às minhas coorientadoras, Profa. Dra. **Liliane Santos de Camargos** e Profa. Dra. **Aline Redondo Martins**, por serem exemplos de profissionais, pelos conselhos e por oferecerem sempre o melhor para o meu aprendizado. Muito obrigado pela amizade e pelo vasto conhecimento a mim transmitido.

À banca da defesa, Profa. Dra. **Simone Silva Hiraki**, Profa. Dra. **Raíssa Pereira Dinalli**, Prof. Dr. **Danilo Marcelo Aires dos Santos**, obrigado pelas contribuições e sugestões, e o Prof. Dr. **Ricardo Antonio Ferreira Rodrigues**, pela gentileza de ter me ajudado com os cálculos da irrigação durante o experimento de campo.

Às meninas do nosso grupo de pesquisa, **Noemi Cristina**, **Dayane Bortolloto**, **Jaquelyne Poliszuck**, **Raiana Crepaldi**, **Lorena Marçal** e **Camila Fernandes**, pela amizade e contribuição para o desenvolvimento deste projeto. Sem a ajuda de vocês meu trabalho teria sido muito mais árduo.

A todos os colegas de graduação e de pós-graduação da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, **Daiene Corsini, Vinicius Martins, Geraldo Gouveia, Matheus Mateus, Thalissa Pereira, Mariana Forini e Marilaine Leite**, que contribuíram em alguma etapa deste trabalho.

Aos colaboradores do departamento DEFTASE, pela amizade e por sempre me ajudarem, em especial: **Selma Moraes, Mirian Oliveira, Alexandre Marques e Sinval Abreu**.

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

A todos os professores do curso de Pós – Graduação em Agronomia da UNESP/ Ilha Solteira, pelos ensinamentos e contribuição na minha carreira acadêmica.

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

“Não te mandei eu? Esforça-te, e tem bom ânimo; não temas, nem te espantes; porque o Senhor teu Deus é contigo, por onde quer que andares” Josué 1:9

RESUMO

O cultivo do algodoeiro herbáceo no Brasil ocorre principalmente na região Centro Oeste, sendo a maior produção em solos do Cerrado. Porém, é comum ocorrer nessa região períodos de seca, que é representada pela irregularidade da distribuição das chuvas. O nitrogênio (N) é o nutriente mais importante e o mais extraído por esta cultura. Nesse sentido, objetivou-se verificar no algodoeiro os possíveis efeitos, positivos ou negativos, em função de doses e fontes de N com e sem suplementação hídrica, obtido através de um respaldo fisiológico, bioquímico e anatômico, fornecendo informações do metabolismo e produtividade. Neste contexto, realizaram-se dois experimentos. O 1º experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Unesp, localizada em Selviria- MS, região de Cerrado, em 2017/18 (Dezembro-Maio). O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com 16 tratamentos em fatorial 4x2x2, com três repetições, totalizando 48 parcelas. Os tratamentos foram: 3 doses de N (40; 80 e 150 kg ha⁻¹) e a testemunha (0 N); 2 fontes de N (ureia e nitrato de amônio) e dois sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado). As irrigações foram realizadas por aspersão convencional fixa. As doses e fontes foram aplicadas aos 45 dias após a emergência (DAE), via adubação de cobertura e aos 145 DAE finalizou-se o experimento com a colheita dos capulhos. O 2º experimento foi realizado em casa de vegetação (CV), no campus II da Unesp, em Ilha Solteira-SP, com temperatura máxima de 30°C e umidade controlada, em 2018/19 (Novembro-Março). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, onde utilizaram-se as mesmas doses e fontes do 1º experimento, equivalentes ao estudo em vasos, e duas condições hídricas: capacidade de campo (CC) e 1/3 da (CC), totalizando 48 vasos. O experimento foi conduzido até os 95 DAE. De posse dos resultados, verificou-se que no Cerrado o cultivo irrigado e as doses de N proporcionaram as plantas maior crescimento em altura, aumento do índice SPAD, da taxa fotossintética e dos teores de N, nitrato e sacarose nas folhas. A produtividade do algodão em caroço (kg ha⁻¹) aumentou com a irrigação. As plantas de sequeiro desenvolveram mais o crescimento das raízes, houve um predomínio do controle estomático sobre a fotossíntese, e não acumularam feofitina e o aminoácido prolina, indicando que o estresse hídrico foi moderado. A anatomia foliar, evidenciou que os tratamentos modificaram a epiderme abaxial e adaxial, bem como a densidade dos estômatos. As enzimas superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT) aumentaram suas atividades nas plantas de sequeiro, indicando que o déficit hídrico não promoveu danos oxidativos. Nas plantas da CV, a (CC) e doses de N, estimularam o crescimento em altura das plantas. O diâmetro caulinar, número de estruturas reprodutivas, o aparato fotossintético, os teores de aminoácidos livres totais e prolina, bem como a atividade das enzimas antioxidantes não foram influenciados pelas condições hídricas, sugerindo que o déficit hídrico não desencadeou o estresse nas plantas. As doses de N aumentaram o número das estruturas reprodutivas e o teor de N nas folhas, com maior incorporação do N foliar pelo nitrato de amônio. Os demais macronutrientes foliares interagiram de forma distinta aos tratamentos. A atividade das enzimas (SOD) e peroxidase (POD) aumentaram com as doses de N, indicando que as doses propiciaram a formação das espécies reativas de oxigênio (EROs), porém estas enzimas foram ativadas para desintoxicar as células do algodoeiro contra esses radicais livres, impedindo danos oxidativos.

Palavras-chaves: Cotonicultura. Adubação nitrogenada. Déficit hídrico. Metabolismo antioxidante.

ABSTRACT

The cultivation of herbaceous cotton in Brazil occurs mainly in the Midwest region, being the largest production in Cerrado soils. However, it is common to experience periods of drought in this region, which is represented by the irregular distribution of rainfall. Nitrogen (N) is the most important nutrient and the most extracted by this culture. The objective of this work was to verify the possible effects on herbaceous cotton, positive or negative, depending on doses and sources of N with and without water supplementation, obtained through a physiological, biochemical and anatomical support, providing relevant information on metabolism and productivity. In this context, two experiments were carried out. The 1st experiment was conducted at the Unesp teaching, research and extension farm, located in Selviria-MS, Cerrado region, in 2017/18 (December-May). The experimental design was a randomized blocks, with 16 treatments in factorial 4x2x2, with three replications, totaling 48 plots. The treatments were: 3 rates of N (40; 80 and 150 kg ha⁻¹) and the control (0 N); 2 sources of N (urea and ammonium nitrate) and two cultivation systems (rainfed and irrigated). Irrigations were carried out by conventional fixed sprinkler. The rates and sources were applied 45 days after emergence (DAE), by covering fertilization and at 145 DAE the experiment with the harvesting of bolls was concluded. The 2nd experiment was carried out in a greenhouse (GH), on campus II of Unesp, in Ilha Solteira-SP, with a maximum temperature of 30°C and controlled humidity, in 2018/19 (November-March). The experimental design was completely randomized, using the same rates and sources of the 1st experiment, equivalent to the study in pots, and two water conditions: field capacity (FC) and 1/3 of (FC), totaling 48 vessels. The FC is the maximum amount of water that can be retained in the soil. The experiment was conducted until 95 DAE. Based on the results, it was found that in the Cerrado, irrigated cultivation and N doses provided the plants with greater height growth, increased SPAD index, photosynthetic rate and the levels of N, nitrate and sucrose in the leaves. Seed cotton yield (kg ha⁻¹) increased with irrigation. The upland plants developed more root growth, there was a predominance of stomatal control over photosynthesis, and did not accumulate pheophytin and the amino acid proline, indicating that water stress was moderate. The leaf anatomy showed that the treatments modified the abaxial and adaxial epidermis, as well as the density of the stomata. The enzymes superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) increased their activities in rainfed plants, indicating that the water deficit did not promote oxidative damage. In the CV plants, the (CC) and N rates, stimulated the growth in height of the plants. The stem diameter, number of reproductive structures, the photosynthetic apparatus, the levels of total free amino acids and proline, as well as the activity of antioxidant enzymes were not influenced by water conditions, suggesting that the water deficit (1/3 of WC) did not trigger plant stress. The rates of N increased the number of reproductive structures and the content of N in the leaves, with greater incorporation of leaf N by ammonium nitrate. The other leaf macronutrients interacted differently to the treatments. The activity of the (SOD) and peroxidase (POD) enzymes increased with the rates of N, indicating that the rates provided the formation of (ROS), however these enzymes were activated to detoxify the cotton cells against these free radicals, preventing oxidative damage.

Keywords: Cotton culture. Nitrogen fertilization. Water deficit. Antioxidant metabolism.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Médias mensais da precipitação, temperaturas mínima, média e máxima durante a condução do experimento com o algodoeiro herbáceo, no período de dezembro de 2017 a maio de 2018, na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Engenharia, UNESP/Campus de Ilha Solteira, Selvíria – MS.....	50
Figura 2	- Medição da área foliar do algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo, através do medidor portátil ADC-AM10.....	55
Figura 3	- Visão parcial do experimento evidenciando os capulhos dez dias antes da colheita. Selvíria-MS, ano agrícola 2017/18.....	56
Figura 4	- Extração de compostos nitrogenados e açúcares evidenciando o processo de separação de fases.....	57
Figura 5	- Medição do índice SPAD do algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo. Selvíria-MS, 2017/18.....	60
Figura 6	- Regressão linear das médias de altura (cm) do algodoeiro herbáceo em função das doses de N aos 60 (a), 80 (b), 100 (c) e 120 (d) DAE. Selvíria- MS, 2017/18.....	65
Figura 7	- Regressão linear do teor de N foliar do algodoeiro herbáceo em função das doses de N no cultivo de sequeiro aos 80 DAE. Selvíria- MS, 2017/18.....	74
Figura 8	- Regressão linear do índice SPAD do algodoeiro herbáceo em função das doses de N no cultivo de sequeiro aos 80 DAE. Selvíria- MS, 2017/18.....	75
Figura 9	- Regressão linear do teor foliar de potássio (K) e Cálcio (Ca) do algodoeiro herbáceo em função das doses de N aos 80 DAE. Selvíria- MS, 2017/18.....	76
Figura 10	- Regressão quadrático do teor de magnésio (Mg) foliar do algodoeiro herbáceo em função das doses de ureia aos 80 DAE. Selvíria- MS, 2017/18.....	77
Figura 11	- Regressão linear do teor de enxofre (S) foliar do algodoeiro herbáceo em função das doses de ureia aos 80 DAE. Selvíria- MS, 2017/18.....	77
Figura 12	- Regressão linear da fotossíntese líquida (a) do algodoeiro herbáceo em função das doses de N aos 90 DAE. Selvíria- MS, 2017/18.....	81

Figura 13	- Regressão linear da eficiência do uso de água (EUA) do algodoeiro herbáceo em função das doses de N aos 90 DAE. Selvíria- MS, 2017/18.....	83
Figura 14	- Regressão linear da eficiência instantânea de carboxilação ($EIC_i = A/C_i$) do algodoeiro herbáceo em função das doses de N aos 90 DAE. Selvíria- MS, 2017/18.....	84
Figura 15	- Regressão linear dos teores de nitrato (a) (NO_3^-) ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) e amônia (b) (NH_4^+) ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) em função das doses de N. Selvíria-MS, 2017/2018	87
Figura 16	- Regressão linear dos teores de ALT (mg g^{-1} MF) (a) e regressão quadrático dos teores de PRO (mg g^{-1} MF) (b) em função das doses de N em algodoeiro herbáceo. Selvíria-MS, 2017/2018.....	89
Figura 17	- Regressão linear dos teores de SAC (mg g^{-1} MF) em função das doses de N em algodoeiro herbáceo. Selvíria-MS, 2017/2018.....	92
Figura 18	- Regressão quadrático da espessura da epiderme adaxial do algodoeiro herbáceo em função da interação entre fontes x doses de N. Selvíria- MS, 2017/18.....	97
Figura 19	- Secções transversais da região mediana do limbo foliar de algodoeiro herbáceo em sistema de cultivo de sequeiro, com diferentes doses de ureia. (A) Controle; (B) 40 kg ha^{-1} ; (C) 80 kg ha^{-1} ; (D) 150 kg ha^{-1} . (ed: epiderme adaxial, pp: parênquima paliçádico, pl: parênquima lacunoso, eb: epiderme abaxial).....	98
Figura 20	- Secções transversais da região mediana do limbo foliar de algodoeiro herbáceo em sistema de cultivo irrigado, com diferentes doses de ureia. (A) Controle; (B) 40 kg ha^{-1} ; (C) 80 kg ha^{-1} ; (D) 150 kg ha^{-1} . (ed: epiderme adaxial, pp: parênquima paliçádico, pl: parênquima lacunoso, eb: epiderme abaxial).....	98
Figura 21	- Secções transversais da região mediana do limbo foliar de algodoeiro herbáceo em sistema de cultivo de sequeiro, com diferentes doses de nitrato de amônia. (A) Controle; (B) 40 kg ha^{-1} ; (C) 80 kg ha^{-1} ; (D) 150 kg ha^{-1} . (ed: epiderme adaxial, pp: parênquima paliçádico, pl: parênquima lacunoso, eb: epiderme abaxial).....	99
Figura 22	- Secções transversais da região mediana do limbo foliar de algodoeiro herbáceo em sistema de cultivo irrigado, com diferentes doses de nitrato de amônia. (A) Controle; (B) 40 kg ha^{-1} ; (C) 80 kg ha^{-1} ; (D) 150 kg ha^{-1} . (ed: epiderme adaxial, pp: parênquima paliçádico, pl: parênquima lacunoso, eb: epiderme abaxial).....	99

Figura 23 - Regressão linear do número de estômatos da superfície adaxial (a) e abaxial (b) de folhas de algodoeiro herbáceo em função das doses de N. Selviria- MS, 2017/18.....	101
Figura 24 - Estômatos em secção paradérmica em folhas de algodoeiro cultivado em condição de sequeiro em diferentes doses de ureia. (A-B) Controle; (C-D) 40 kg ha ⁻¹ ; (E-F) 80 kg ha ⁻¹ ; (G-H) 150 kg ha ⁻¹ . (A, C, E, G) Epiderme na face Adaxial; (B, D, F, H) Epiderme na face Abaxial.....	102
Figura 25 - Estômatos em secção paradérmica em folhas de algodoeiro cultivado em condição irrigada em diferentes doses de ureia. (A-B) Controle; (C-D) 40 kg ha ⁻¹ ; (E-F) 80 kg ha ⁻¹ ; (G-H) 150 kg ha ⁻¹ . (A, C, E, G) Epiderme na face Adaxial; (B, D, F, H) Epiderme na face Abaxial.....	103
Figura 26 - Estômatos em secção paradérmica em folhas de algodoeiro cultivado em condição de sequeiro em diferentes doses de nitrato de amônio. (A-B) Controle; (C-D) 40 kg ha ⁻¹ ; (E-F) 80 kg ha ⁻¹ ; (G-H) 150 kg ha ⁻¹ . (A, C, E, G). Epiderme na face Adaxial. (B, D, F, H) Epiderme na face Abaxial.....	104
Figura 27 - Estômatos em secção paradérmica em folhas de algodoeiro cultivado em condição irrigada em diferentes doses de nitrato de amônio. (A-B) Controle; (C-D) 40 kg ha ⁻¹ ; (E-F) 80 kg ha ⁻¹ ; (G-H) 150 kg ha ⁻¹ . (A, C, E, G) Epiderme na face Adaxial; (B, D, F, H) Epiderme na face Abaxial.....	105
Figura 28 - Regressão quadrático (a) e regressão linear (b) da atividade da enzima catalase (CAT) do algodoeiro herbáceo em função das doses de N, no cultivo de sequeiro e irrigado, respectivamente. Selviria- MS, ano agrícola 2017/18.....	108
Figura 29 - Plântulas do algodoeiro herbáceo pré emergidas, em casa de vegetação. Ilha Solteira- SP, 2019.....	130
Figura 30 - Visão geral do experimento conduzido em casa de vegetação, aos 35 dias após a emergência (DAE). Ilha Solteira- SP, 2019...	130
Figura 31 - Avaliação de trocas gasosas em algodoeiro herbáceo com o equipamento portátil (Infra Red Gas Analyser –IRGA). Ilha Solteira- SP, ano agrícola 2019.....	135
Figura 32 - Regressão quadrático para as médias da altura (cm) do algodoeiro herbáceo aos 65 (a), 80 (b) e 95 (c) dias após a emergência (DAE) em função das doses de N. Ilha Solteira – SP, 2019.....	137

Figura 33 - Regressão quadrático das médias do número de estruturas reprodutivas (botões florais, flores e maçãs) do algodoeiro herbáceo em função das doses de N. Ilha Solteira, 2019.....	139
Figura 34 - Regressão linear dos teores de N foliar da interação fontes x doses de N, aos 80 dias após a emergência (DAE). Ilha Solteira- SP, 2019.....	142
Figura 35 - Regressão linear e regressão quadrático da interação condições hídricas x doses de N do teor de nitrato (NO_3^-) ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo, aos 90 DAE. Ilha Solteira- SP, 2019.....	150
Figura 36 - Regressão linear e regressão quadrático da interação fontes x doses de N para os teores de amônia (NH_4^+) ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo, aos 90 DAE. Ilha Solteira- SP, 2019.....	152
Figura 37 - Regressão linear dos teores de proteínas solúveis totais: PST (mg g^{-1} MF), sacarose: SAC (mg g^{-1} MF) e açúcares solúveis totais: AST (mg g^{-1} MF) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo, aos 90 (DAE) em função de doses de N. Ilha Solteira – SP, 2019.....	154
Figura 38 - Regressão linear da atividade da enzima SOD (Unidade $\text{mg de proteína}^{-1}$), aos 90 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.....	157
Figura 39 - Regressão linear da atividade da enzima (POD: $\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2$ decomposto min^{-1} $\text{mg de proteína}^{-1}$), aos 90 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.....	158

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Resultados da análise química do solo na profundidade de 0 a 20 cm. Selvíria-MS, 2017.....	51
Tabela 2	- Coeficientes de cultura (Kc) utilizados durante as fases de desenvolvimento da cultura do algodoeiro herbáceo em Selvíria - MS, 2017/2018.....	53
Tabela 3	- Altura (cm) de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), dias após a emergência (DAE). Selvíria- MS, 2017/18.....	64
Tabela 4	- Diâmetro do caule (mm), número de ramos vegetativos e reprodutivos de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), dias após a emergência (DAE). Selvíria- MS, 2017/18.....	67
Tabela 5	- Massa de 20 capulhos (g), número de capulhos por planta (unidade) e produtividade de algodão em caroço (kg ha ⁻¹) de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses, fontes de N e sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado). Selvíria- MS, 2017/18.....	68
Tabela 6	- Área foliar total (AFT), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa fresca do sistema radicular (MFR) e massa seca do sistema radicular (MSR) em plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), aos 120 DAE. Selvíria- MS, 2017/18.....	69
Tabela 7	- % de água retida na parte aérea (H ₂ O PA) e nas raízes (H ₂ O R), relação massa seca da raiz e massa seca da parte aérea (MSR/MSPA) em plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), aos 120 DAE. Selvíria- MS, 2017/18.....	71
Tabela 8	- Teores de macronutrientes foliar (g kg ⁻¹) de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), aos 80 DAE. Selvíria- MS, 2017/18.....	73
Tabela 9	- Desdobramento da interação sistemas de cultivo x doses de N referentes ao teor de N foliar do algodoeiro herbáceo, aos 80 DAE. Selvíria-MS, 2017/2018.....	73
Tabela 10	- Desdobramento da interação fontes x doses de N referentes ao teor de magnésio (Mg) do algodoeiro, aos 80 DAE. Selvíria-MS, 2017/2018.....	76

Tabela 11 - Teores de pigmentos fotossintéticos: clorofila <i>a</i> (Cl <i>a</i>), clorofila <i>b</i> (Cl <i>b</i>), clorofila total (Cl T), carotenóides (Carot) e feofitinas (Feo) extraídos da massa fresca foliar ($\mu\text{g mL}^{-1}$ de solução) de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), aos 95 DAE. Selviria-MS, 2017/18.....	78
Tabela 12 - Taxa de fotossíntese líquida ($A - \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática ($g_s - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração ($E - \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a concentração interna de CO_2 ($C_i - \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), aos 90 DAE. Selviria-MS, 2017/18.....	80
Tabela 13 - Eficiência intrínseca do uso da água, ($E_i\text{UA} = A / g_s$), eficiência do uso da água ($\text{EUA} = A/E$), eficiência instantânea de carboxilação ($\text{EIC}_i = A/C_i$) e a razão entre as concentrações de CO_2 intra/extracelular (C_i/C_a) em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), obtidos aos 90 DAE. Selviria-MS, 2017/18.....	83
Tabela 14 - Teores de nitrato (NO_3^-) ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) e amônia (NH_4^+) ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), aos 90 DAE. Selviria-MS, 2017/18.....	86
Tabela 15 - Teores de aminoácidos livres totais: ALT (mg g^{-1} MF), proteínas solúveis totais: PST (mg g^{-1} MF) e do aminoácido prolina: PROL (mg g^{-1} MF) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo em função de fontes, doses de N e sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), obtidos aos 90 DAE. Selviria-MS, 2017/18.....	89
Tabela 16 - Teores de açúcares solúveis totais: AST (mg g^{-1} MF) e sacarose: SAC (mg g^{-1} MF) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo em função de fontes, doses de N e sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), aos 90 DAE. Selviria-MS, 2017/18.....	91
Tabela 17 - Caracteres anatômicos da região mediana do limbo foliar de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado). Selviria- MS, 2017/18.....	94
Tabela 18 - Desdobramento da interação sistemas de cultivo x fontes de N referentes à espessura foliar da epiderme adaxial de algodoeiro herbáceo. Selviria-MS, 2017/18.....	96
Tabela 19 - Desdobramento da interação fontes x doses de N referentes à espessura foliar da epiderme adaxial de algodoeiro herbáceo. Selviria-MS, 2017/18.....	97

Tabela 20 - Número de estômatos da parte adaxial (mm ²) e abaxial (mm ²) de folhas de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado). Selviria- MS, ano agrícola 2017/18.....	100
Tabela 21 - Atividade das enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD: Unidade mg de proteína ⁻¹), catalase (CAT: umol H ₂ O ₂ decomposto min ⁻¹ mg de proteína ⁻¹) e peroxidase (POD: umol de H ₂ O ₂ decomposto min ⁻¹ mg de proteína ⁻¹), em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), aos 90 DAE. Selviria-MS, ano agrícola 2017/2018.....	107
Tabela 22 - Desdobramento da interação sistemas de cultivo x doses de N referentes à atividade da enzima catalase (CAT) do algodoeiro herbáceo, aos 90 DAE. Selvíria-MS, ano agrícola 2017/2018.....	108
Tabela 23 - Características químicas iniciais do solo utilizado no experimento, na profundidade de 0,00-0,20 m, proveniente da Fazenda Bovino da UNESP, localizada no município de Selvíria - MS, 2018.....	128
Tabela 24 - Altura (cm) e diâmetro caulinar (mm) de plantas de algodoeiro herbáceo em dias após a emergência (DAE) em função de doses e fontes de N sob condições hídricas. Ilha Solteira – SP, 2019.....	136
Tabela 25 - Número de estruturas reprodutivas (botões florais, flores e maçãs) de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N sob condições hídricas, aos 95 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.....	138
Tabela 26 - Análise de macronutrientes foliares (em g kg ⁻¹) de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N sob condições hídricas, aos 80 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.....	141
Tabela 27 - Desdobramento da interação fontes x doses de N, referentes ao teor de N do algodoeiro herbáceo, aos 80 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.....	141
Tabela 28 - Teor de pigmentos fotossintéticos: clorofila a (Cl a), clorofila b (Cl b), clorofila total (Cl T), carotenóides (Carot) e feofitinas (Feo), extraídos da massa fresca foliar (ug mL ⁻¹ de solução) de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N sob diferentes condições hídricas, aos 90 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.....	143

Tabela 29 - Fotossíntese líquida (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (C_i - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N sob diferentes condições hídricas, aos 90 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.....	145
Tabela 30 - Eficiência intrínseca do uso da água ($E_i\text{UA} = A / g_s$), eficiência do uso da água ($\text{EUA} = A/E$), eficiência instantânea de carboxilação ($\text{EIC}_i = A/C_i$) e a razão entre concentrações de CO_2 intra/extracelular (C_i/C_a) de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N sob diferentes condições hídricas, aos 90 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.....	147
Tabela 31 - Teor de nitrato (NO_3^-) ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF}$) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N sob condições hídricas, aos 90 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.....	148
Tabela 32 - Desdobramento da interação condições hídricas x fontes referentes ao teor de nitrato (NO_3^-) ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF}$) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo, aos 90 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.....	149
Tabela 33 - Desdobramento da interação condições hídricas x doses de N referentes ao teor de nitrato (NO_3^-) ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF}$) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo, aos 90 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.....	149
Tabela 34 - Teor de amônia (NH_4^+) ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF}$) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N sob condições hídricas, aos 90 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.....	151
Tabela 35 - Desdobramento da interação fontes x doses de N referentes ao teor de amônia (NH_4^+) ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF}$) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo, aos 90 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.....	151
Tabela 36 - Teores de aminoácidos livres totais: ALT ($\text{mg g}^{-1} \text{ MF}$), proteínas solúveis totais: PST ($\text{mg g}^{-1} \text{ MF}$), prolina: PROL ($\text{mg g}^{-1} \text{ MF}$), sacarose: SAC ($\text{mg g}^{-1} \text{ MF}$) e açúcares solúveis totais (AST) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo aos 90 DAE, em função de doses e fontes de N em diferentes condições hídricas. Ilha Solteira – SP, 2019.....	153
Tabela 37 - Atividade das enzimas antioxidantes Superóxido Dismutase (SOD: Unidade $\text{mg de proteína}^{-1}$), Catalase (CAT: $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2$ decomposto $\text{min}^{-1} \text{ mg de proteína}^{-1}$) e Peroxidase (POD: $\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2$ decomposto $\text{min}^{-1} \text{ mg de proteína}^{-1}$), em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N sob condições hídricas, aos 90 DAE. Ilha Solteira- SP, 2019.....	157

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	22
2	HIPÓTESE DO TRABALHO.....	25
3	OBJETIVO.....	26
4	REVISÃO DE LITERATURA.....	27
4.1	Ecofisiologia do algodoeiro e sua importância econômica.....	27
4.2	Adubação nitrogenada para o algodoeiro.....	28
4.3	Assimilação do N pelas plantas.....	31
4.4	Irrigação na cultura do algodoeiro.....	33
4.5	Déficit hídrico na cultura do algodoeiro.....	35
4.6	Estresse oxidativo.....	37
	REFERÊNCIAS.....	39
5	CAPÍTULO 1: Aspectos fisiológicos, bioquímicos e anatômicos do algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em cultivo de sequeiro e irrigado no ambiente de Cerrado.....	47
	Resumo.....	47
5.1	Introdução.....	49
5.2	Material e métodos.....	50
5.2.1	<i>Localização do experimento.....</i>	<i>50</i>
5.2.2	<i>Precipitação e temperatura.....</i>	<i>50</i>
5.2.3	<i>Características do solo.....</i>	<i>51</i>
5.2.4	<i>Preparo do solo e adubação.....</i>	<i>51</i>
5.2.5	<i>Instalação do experimento.....</i>	<i>51</i>
5.2.6	<i>Delineamento experimental e tratamentos.....</i>	<i>52</i>
5.2.7	<i>Irrigação.....</i>	<i>52</i>
5.2.8	<i>Controle de plantas daninhas, regulador de crescimento e controle fitossanitário.....</i>	<i>53</i>
5.2.9	<i>Colheita.....</i>	<i>54</i>
5.3	Variáveis analisadas.....	54
5.3.1	<i>Características agronômicas.....</i>	<i>54</i>
5.3.2	<i>Teor nutricional.....</i>	<i>56</i>
5.4	Análises bioquímicas.....	57

5.4.1	<i>Extração de compostos nitrogenados e açúcares.....</i>	57
5.4.2	<i>Análise quantitativa de nitrato.....</i>	58
5.4.3	<i>Análise quantitativa de amônia.....</i>	58
5.4.4	<i>Análise quantitativa de aminoácidos.....</i>	58
5.4.5	<i>Análise quantitativa de sacarose.....</i>	59
5.4.6	<i>Análise quantitativa de açúcares solúveis totais.....</i>	59
5.5	<i>Extração e determinação da prolina.....</i>	59
5.6	<i>Determinação de pigmentos fotossintéticos e índice Spad.....</i>	60
5.7	<i>Extração de proteínas e enzimas antioxidantes.....</i>	61
5.7.1	<i>Determinação de proteínas.....</i>	61
5.7.2	<i>Superóxido dismutase (SOD, EC 1.15.1.1).....</i>	61
5.7.3	<i>Atividade da enzima catalase (CAT, EC 1.11.1.6).....</i>	62
5.7.4	<i>Atividade da enzima peroxidase (POD, EC 1.11.1.7).....</i>	62
5.8	<i>Trocas gasosas.....</i>	62
5.9	<i>Avaliação dos caracteres anatômicos do limbo foliar.....</i>	63
5.10	<i>Análise dos dados.....</i>	63
5.11	<i>Resultados e discussão.....</i>	64
5.11.1	<i>Altura de plantas.....</i>	64
5.11.2	<i>Diâmetro caulinar, número médio de ramos vegetativos e reprodutivos.....</i>	66
5.11.3	<i>Massa de 20 capulhos, capulhos por planta e produtividade.....</i>	67
5.11.4	<i>Área foliar, massa fresca e seca da parte aérea e sistema radicular.....</i>	69
5.11.5	<i>Teor de água disponível na parte aérea e radicular.....</i>	71
5.11.6	<i>Macronutrientes foliar e índice SPAD.....</i>	72
5.11.7	<i>Pigmentos fotossintéticos.....</i>	78
5.11.8	<i>Trocas gasosas.....</i>	80
5.11.9	<i>Quantificação de compostos nitrogenados e açúcares.....</i>	86
5.11.10	<i>Avaliação dos caracteres anatômicos do limbo foliar.....</i>	94
5.11.11	<i>Enzimas do metabolismo antioxidante.....</i>	107
5.12	<i>Conclusões.....</i>	111
	<i>REFERÊNCIAS.....</i>	112

6	CAPÍTULO 2: Resposta do algodoeiro herbáceo à aplicação de doses e fontes de N sob condições hídricas em ambiente controlado.....	125
	Resumo.....	125
6.1	Introdução.....	127
6.2	Material e métodos.....	128
6.2.1	<i>Localização do experimento.....</i>	128
6.2.2	<i>Caracterização do solo.....</i>	128
6.2.3	<i>Determinação da capacidade de campo (CC) nos vasos.....</i>	128
6.2.4	<i>Preparo do solo e adubação.....</i>	129
6.2.5	<i>Instalação do experimento.....</i>	129
6.2.6	<i>Delineamento experimental e tratamentos.....</i>	130
6.2.7	<i>Manejo hídrico.....</i>	131
6.2.8	<i>Regulador de crescimento e controle fitossanitário.....</i>	131
6.3	Variáveis analisadas.....	132
6.3.1	<i>Características agronômicas.....</i>	132
6.3.2	<i>Análise nutricional.....</i>	132
6.4	Análises bioquímicas.....	132
6.4.1	<i>Extração e determinação de compostos nitrogenados.....</i>	133
6.4.2	<i>Extração e determinação da Prolina.....</i>	133
6.4.3	<i>Determinação de pigmentos fotossintéticos.....</i>	134
6.4.4	<i>Extração de proteínas e enzimas antioxidantes.....</i>	134
6.5	Trocas gasosas.....	134
6.6	Análise dos dados.....	135
6.7	Resultados e discussão.....	136
6.8	Conclusões.....	160
	REFERÊNCIAS.....	161

1 INTRODUÇÃO GERAL

A espécie de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. var. *latifolium* Hutch) é a mais cultivada mundialmente, pois apresenta grande capacidade adaptativa a diferentes ambientes (SALVATIERRA, 2008). É tido como a planta de aproveitamento mais completo e a que oferece a mais variada gama de produtos de utilização universal, sendo considerada a mais importante das fibras têxteis (MAO *et al.* 2015).

De acordo com os dados apresentados pelo Conselho Nacional de Abastecimento - Conab (2019), o Brasil ocupa uma posição de destaque em relação à produção e comercialização da pluma de algodão. Com base nos dados do ranking ordenado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (Usda), o país assumiu nessa temporada de 2018/19 o posto de segundo maior exportador do mundo, atrás apenas dos EUA. Já em relação à produção, ocupa a quarta posição.

A maior parte da produção brasileira do algodão em pluma está localizada na região Centro Oeste e na Bahia, sendo que os 20 maiores municípios produtores estão localizados em solos do Cerrado (CONAB, 2017).

A maioria dos solos do Cerrado brasileiro, como nos Estados do MT, BA e MS, são deficientes em nutrientes, o que justificaria o intenso uso de adubos. No entanto, alguns resultados experimentais indicaram a possibilidade de se obter altas produtividades com níveis de adubação inferiores aos predominantes em grandes lavouras típicas do Cerrado (ORNELLAS *et al.*, 2001). Tal fato aponta para a necessidade de estudos experimentais na área de nutrição, a fim de contribuir para um delineamento econômico da cultura do algodoeiro, que será determinante para o sucesso na expansão da área de cultivo.

Diante das exigências de nutrientes pelas cultivares, deve-se salientar a importância do nitrogênio (N), que é o nutriente mais extraído pelo algodoeiro e tem papel fundamental para o crescimento e desenvolvimento da planta, produção de maçãs, produtividade e qualidade das fibras (PERSEGIL, 2012). O N apresenta alta absorção e está intimamente ligado a funcionalidade bioquímica e fisiológica das plantas, porém há baixa disponibilidade desse nutriente nos solos brasileiros (BELTRÃO *et al.*, 1999), e sua recomendação tem sido feita, muitas vezes de maneira empírica, não se levando em consideração a resposta da cultura e o solo (ROSOLÉM; MELLIS, 2010).

Outro fator relevante refere-se às fontes de N utilizadas. A ureia (45% de N) é o principal fertilizante sólido no mercado mundial. No Brasil, este produto responde por cerca de 60% dos fertilizantes nitrogenados comercializados, havendo clara preferência da indústria pela fabricação de ureia em comparação com outras fontes de N, em função do menor custo e maior facilidade de produção (CANTARELLA; MARCELINO, 2008). O nitrato de amônio (32% de N) é menos utilizado do que a ureia, pois apresenta um custo mais elevado; porém seu uso pode ser interessante em alguns casos de aplicação superficial (YANO; TAKAHASHI; WATANABE, 2005), uma vez que sofre menor volatilização que a ureia.

O N é absorvido na raiz da planta nas formas de amônio (NH_4^+) e/ou nitrato (NO_3^-), sendo este último preferencial para grande parte das culturas (CRAWFORD, 1995), e conforme Matos *et al.* (2012), o metabolismo do N depende substancialmente da disponibilidade de água na planta. Em condições naturais e agriculturáveis, as plantas são frequentemente expostas aos estresses ambientais. O déficit hídrico, estresse térmico, salinidade e a deficiência de oxigênio são alguns dos principais fatores de estresse que restringem o crescimento vegetal, de tal modo que a biomassa ou produtividade agrônômica no final de um ciclo expressem apenas uma fração do potencial genético das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Pelo fato de no Brasil o algodoeiro ser cultivado principalmente em região de Cerrado, devido às condições climáticas favoráveis para a cultura, é comum nessa região períodos de déficit hídrico (LUZ *et al.*, 1997), em razão da seca, relacionada com um período de falta de precipitação, ocorrendo uma diminuição do conteúdo de água no solo (PAIVA; OLIVEIRA, 2006). Sendo assim, visando minimizar os efeitos nocivos das secas periódicas e das irregularidades das chuvas sobre o rendimento da cultura, muitos agricultores começaram a mostrar interesse por seu cultivo em regime de irrigação (OLIVEIRA; CAMPOS, 1992).

O déficit hídrico é um fator estressante para as plantas e pode afetar os processos de desenvolvimento, bem como a fisiologia, a bioquímica, a morfologia e a fotossíntese (JONES, 1985) e, embora o algodoeiro apresente boa tolerância ao déficit hídrico, podem ocorrer perdas significativas na produtividade, quando o estresse hídrico ocorre na fase de floração e frutificação (NUNES FILHO *et al.*, 1998).

Conforme Mendonça *et al.* (2003), a determinação da quantidade de água necessária para as culturas é um dos principais parâmetros para o correto planejamento, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação. Dessa

forma, tem-se que a necessidade hídrica das culturas é um parâmetro de fundamental importância, porque condiciona as atividades fisiológicas e metabólicas das plantas. Quanto maior a disponibilidade de água no solo, melhor a capacidade de absorção de nutrientes pelas raízes e maior a eficiência fotossintética, resultando em um máximo rendimento agrícola (AZEVEDO *et al.*, 1993).

Considerando o exposto, objetivou-se analisar o comportamento do algodoeiro a doses e fontes de N (ureia e nitrato de amônio) com e sem suplementação hídrica, através de análise fisiológica, bioquímica e anatômica foliar, no sentido de verificar as possíveis alterações que ocorrem nas plantas, fornecendo informações acerca do metabolismo do N dessa espécie herbácea, uma vez que estas são escassas na literatura científica e, quando buscam-se respostas à situações de estresse, estas são praticamente inexistentes.

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

- Capítulo 1: Aspectos fisiológicos, bioquímicos e anatômicos do algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em cultivo de sequeiro e irrigado no ambiente de Cerrado
- Capítulo 2: Resposta do algodoeiro herbáceo à aplicação de doses e fontes de N sob condições hídricas em ambiente controlado

2 HIPÓTESE DO TRABALHO

Considerando a região de Cerrado uma das principais áreas onde o algodoeiro é cultivado e que em algumas regiões está sujeito a períodos de seca, podendo culminar em déficit hídrico no solo, a irrigação tem sido uma opção adotada por alguns produtores. Nesse sentido, quais alterações, positivas ou negativas e de níveis bioquímico, fisiológico e anatômico podem ser esperadas, e que, de forma isolada ou interativamente podem inferir no desenvolvimento da cultura submetida às fontes de N, sistema irrigado e déficit hídrico? É plausível prever que alguma das doses ou fontes de N podem minimizar ou maximizar os efeitos negativos do déficit hídrico na cultura do algodão? Ou que a eficiência do uso de N ou balanço C/N pode ser negativamente alterada sob determinado limiar de déficit hídrico?

3 OBJETIVO

Verificar na cultura do algodão os possíveis efeitos, positivos ou negativos, em função de doses e fontes de N (ureia e nitrato de amônio) com e sem suplementação hídrica, que foi obtido através de um respaldo fisiológico, bioquímico e anatômico, fornecendo desta forma, informações do metabolismo desta espécie herbácea, além de dados sobre a produtividade dessa cultura, visto que os produtores têm adotado como alternativa para melhorar a produção a aplicação de fontes de N, em condições de sequeiro e o cultivo irrigado.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Ecofisiologia do algodoeiro e sua importância econômica

Pertencente à família das malváceas, o algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. var. *latifolium* Hutch) é uma planta de origem tropical e subtropical, necessitando de dias ensolarados com nebulosidade abaixo de 30% para apresentar elevadas produtividades e uma fibra de alta qualidade. A temperatura média deve estar acima de 20%, umidade relativa do ar em torno de 60%, inexistência de inversão térmica e de precipitação pluvial entre 500 a 1800 mm, sendo que as precipitações devem ser maiores nos períodos de floração, crescimento e desenvolvimento dos frutos, pois a energia solar é um dos componentes para abertura do fruto (BELTRÃO *et al.*, 1999).

Trata-se de uma planta ereta, anual ou perene, dotada de raiz principal cônica, pivotante com número reduzido de raízes secundárias grossas e superficiais. O caule herbáceo ou lenhoso tem altura variável sendo dotado de ramos vegetativos. As folhas são pecioladas, geralmente cordiformes, de consistência coriácea ou não, inteira ou recortada possuindo de três a nove lóbulos. As flores são hermafroditas, axilares, isoladas ou não, apresentando coloração creme, abrindo-se entre 9 e 10 horas. Os frutos são denominados de maçãs quando verdes e de capulhos quando se abrem, são capsulares de deiscência longitudinal, possuindo três a cinco lóculos, podendo chegar de seis a dez sementes. As sementes são revestidas de pelos, mais ou menos longos, denominados de fibra ou línter (SECRETARIA DE AGRICULTURA, IRRIGAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA - SEAGRI, 2012). É um dos fitossistemas de maior complexidade encontrado na natureza, tendo hábito de crescimento indeterminado (OOSTERHUIS, 1999).

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

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

A fibra é o principal produto do algodoeiro, tem mais de 400 aplicações industriais, entre as quais a confecção de fios para tecelagem (tecidos variados), algodão hidrófilo para enfermagem, confecção de feltro de cobertores, de estofamentos, obtenção de celulose (SOAVE; MORAES, 1987).

Conforme Beltrão (2006), é uma das culturas que mais geram empregos no campo, sendo uma planta considerada como o “boi vegetal”, tendo somente a fibra, seu principal produto, responsável por mais de 43% da vestidura da humanidade e a única que produz economicamente fibra, óleo e proteína.

Diversos fatores ambientais influenciam a quantidade e a qualidade da fibra produzida. As condições possíveis de manipulação, como correções químicas e físicas do solo, irrigações, época de semeadura e emprego de reguladores, são ferramentas que oferecem suporte para a obtenção de boas produções, mas nem sempre são suficientes para garantir o objetivo almejado (ZANON, 2002).

4.2 Adubação nitrogenada para o algodoeiro

As plantas do algodoeiro exigem relativamente grandes quantidades de N quando comparado com a demanda por outros nutrientes, para obtenção do rendimento máximo de produtividade. Mesmo em se considerando o fato de que a fibra é quase destituída de N, as sementes o contêm em grandes quantidades, sendo ele responsável por muitas funções na planta que podem afetar seu crescimento e desenvolvimento. O N estimula o crescimento e o florescimento, regulariza o ciclo da planta, aumenta a produtividade e melhora o comprimento e a resistência da fibra, quando aplicado em doses adequadas (AZEVEDO *et al.*, 1998; BELTRÃO, 1999).

Na região do Cerrado, a adubação na cultura do algodoeiro possui elevado custo, podendo atingir até 30% do valor total de cultivo, sendo necessário otimizar seu uso para obter maior rendimento e o menor custo (CAMACHO *et al.*, 2013).

Conforme Zancanaro e Kappes (2012), o algodoeiro herbáceo por ser uma planta exigente à qualidade do solo, desenvolve seu máximo potencial produtivo em solos férteis, bem estruturados, profundos, bem drenados e ricos em matéria orgânica, absorvendo grandes quantidade de nutrientes, em especial o N.

Devido à dinâmica das transformações do N no solo, a recomendação de adubação nitrogenada com base na análise do solo é uma tarefa muito difícil, razão por que as recomendações têm sido feitas com base em curvas de resposta da cultura à aplicação de doses crescentes, produtividade esperada e histórico da área (sistema de produção, culturas anteriores e produtividades obtidas nas últimas três safras) (CARVALHO *et al.*, 2006).

Segundo Carvalho, Ferreira e Staut (2007), a adubação de cobertura do algodoeiro com N é de fundamental importância para aumentar o aproveitamento do fertilizante aplicado e considerando-se a marcha de absorção de N pelo algodoeiro e os resultados conduzidos em condições de campo, recomenda-se que a adubação nitrogenada em cobertura seja realizada no máximo até 55 dias após a emergência.

Pelo fato de ocorrerem possíveis perdas de N por lixiviação, Coelho *et al.* (2002) verificaram que em solos de Cerrado o processo de nitrificação não é tão rápido, prolongando a permanência do N na forma amoniacal, o que contribui para a redução das perdas e o aumento da possibilidade de absorção pelas plantas.

A lixiviação consiste no movimento vertical de íons ou de moléculas no perfil do solo para profundidades abaixo daquelas exploradas pelas raízes. Ela é a reação mais importante que ocorre com o N em áreas com alta precipitação pluvial, principalmente nos solos de países de clima tropical (ERNANI, 2008).

Fontoura e Bayer (2006) considerando o potencial de perdas do N por lixiviação de (NO_3^-) em solos agrícolas, recomendaram que a maior parte da aplicação do fertilizante nitrogenado seja feita em cobertura, num período imediatamente anterior ao de maior demanda das culturas pelo N. A fração do N amoniacal (NH_4^+) está sujeita à perdas por volatilização da amônia, que é influenciada pela umidade do solo no momento da aplicação do fertilizante, pelo tipo de solo, pela fonte de N empregada e pelo manejo do adubo nitrogenado.

Em estudos realizados por Oliveira (1994), Silva *et al.* (1997) e Furlani Junior *et al.* (1997) verificaram-se que a eficiência do N depende basicamente dos seguintes fatores: doses aplicadas, fontes utilizadas, época de aplicação, forma de aplicação, condições climáticas, intensidade de cultivo da área, disponibilidade de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, sistema de cultivo, da rotação de culturas e utilização de regulador de crescimento.

O N é o nutriente extraído em maior quantidade pelas culturas, entretanto, quando aplicado em quantidades excessivas em algodoeiro, favorece o crescimento vegetativo, prolongando o ciclo e apodrecimento das maçãs no “baixeiro” (KANEKO *et al.*, 2014).

As fontes de N mais utilizadas são: ureia (45% - 46% de N), amoníaco anidro (82% de N), sulfato de amônio (21% de N) e nitrato de amônio (34% de N) (ALI, 2015). O uso do nitrato de amônio é restrito pelas forças armadas, devido sua ação explosiva (LEGAZ, 1994).

Quando o N é aplicado ao solo na forma de ureia, é inicialmente convertido em amônio, possibilitando maior absorção do nutriente pelas plantas. Entretanto, a aplicação deve ser realizada de forma criteriosa, pois sem incorporação e/ou irrigação, pode provocar perdas significativas por volatilização (DUARTE *et al.*, 2007; LUCHESE; FAVERO; LENZI, 2001). Souza e Lobatto (2004) recomendam que a adubação nitrogenada em cobertura para o algodoeiro cultivado no Cerrado seja feita em função da expectativa de produtividade, e que doses superiores a 40 kg de N ha⁻¹ devem ser parceladas em duas aplicações, aos 30 e 50 dias após a emergência.

Conforme o relato de Grespan e Zancanaro (1999), em função dos fluxos de absorção de N e da sua alta exigência nutricional tardia, o comportamento do N no solo e condições climáticas, há a necessidade de parcelamento da adubação nitrogenada, em duas ou três vezes, a fim de aumentar a eficiência desse nutriente no sistema solo-planta.

Vale salientar que na atmosfera o N representa 78% do volume molecular (N₂), porém não disponível diretamente aos organismos vivos. No sistema solo-planta o N pode ser inserido por fixação biológica, deposições atmosféricas, adubações químicas e orgânicas. Está presente na composição de importantes biomoléculas como ATP (adenosina trifosfato), NADH (nicotinamida adenina dinucleotídeo), NADPH (nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato), clorofila, proteínas e enzimas, promovendo aceleração do crescimento, e sua deficiência inibe o crescimento das

plantas, com clorose (amarelecimento) nas folhas mais velhas. Por possuir alta mobilidade na planta, as folhas mais jovens podem não apresentar inicialmente os sintomas visuais (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O acúmulo de N no algodoeiro ocorre no pico do florescimento, neste estágio, cerca de 2/3 já se encontra dentro da planta. Isto indica que, durante a plena formação dos frutos, o nutriente mais se transloca dentro da planta do que é absorvido do solo. Portanto, recomenda-se colocar o nutriente à disposição da planta durante os primeiros estádios do seu desenvolvimento (SILVA; KONDO; SABINO, 1994).

Rosolem (2001) afirmou que a marcha de absorção dos nutrientes pelo algodoeiro segue o padrão de crescimento, aumentando consideravelmente a partir dos 30 dias da semeadura, coincidindo com a emissão dos primeiros botões florais, e alcançando uma absorção máxima diária na fase de florescimento entre 60 e 90 dias após a germinação, dependendo da cultivar.

Rosolem e Bogiani (2014) relataram que os nutrientes são transportados do solo para a planta por mecanismos tais como interceptação radicular, difusão e fluxo de massa. Neste último, o N é transportado juntamente com a água, movimentando-se em direção às raízes em função da transpiração da planta. Desse modo, se a planta não estiver transpirando, ou houver pouca água no solo, a absorção de N será prejudicada.

4.3 Assimilação do N pelas plantas

No solo, o N encontra-se em formas orgânicas (restos culturais e matéria orgânica), mineral (NO_3^- e NH_4^+) e em formas gasosas combinadas (NH_3^+ , N_2O e NO). Da quantidade total de N no solo, apenas 2% encontra-se disponível às plantas (HAVLIN *et al.*, 2005).

Nas plantas, o N representa de 1 a 6% da sua matéria seca absorvido sob diferentes formas (SODEK, 2004). As formas preferenciais de N absorvidas pelas plantas são aquelas mais abundantes na solução do solo, nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A assimilação do N é um processo vital que controla o crescimento e o desenvolvimento das plantas e tem efeitos marcantes sobre a fitomassa e a produtividade final das culturas. A rota de assimilação do nitrato em plantas superiores envolve dois estágios sequenciais (LAM *et al.*, 1996).

Primeiramente, o nitrato (NO_3^-) é absorvido pelas raízes e pode então ser reduzido ou armazenado nos vacúolos, ou translocado para a parte aérea, onde será reduzido ou armazenado nos vacúolos foliares. O primeiro passo da redução do nitrato ocorre no citossol e envolve a ação da enzima nitrato redutase, produzindo nitrito (NO_2), o qual adentra aos plastídeos nas raízes ou cloroplastos em folhas, sendo reduzido à amônia (NH_3) por ação da enzima nitrito redutase, a qual é fixada via glutamato sintase / glutamina sintase nos aminoácidos, glutamina e glutamato que por sua vez servem de substrato para reações de transaminação, para a produção de aminoácidos necessários à síntese de proteínas (DONATO *et al.*, 2004) e servem também para translocar N orgânico de fontes para drenos (LAM *et al.*, 1996). Segue abaixo o esquema resumido para melhor compreensão:



O nitrato (NO_3^-) é a principal forma de N disponível para as plantas após a calagem e adubação, mas em áreas onde o pH é naturalmente baixo ou não foi devidamente corrigido a atividade microbiana é baixa, impedindo a conversão do amônio (NH_4^+). A maioria das plantas absorvem o N na forma de nitrato (NO_3^-), sendo que a forma amoniacal tem efeito tóxico para as células (COELHO *et al.*, 1991).

A assimilação redutiva do N é um processo dispendioso energeticamente às plantas, razão por que ocorre predominantemente nas folhas, centro da síntese de energia (ATP) e agentes redutores (fornecedores de elétrons). O processo de incorporação do N compete com a fotossíntese por carboidrato e energia (EPSTAIN; BLOOM, 2006).

Após a assimilação, nas folhas, o excesso de aminoácidos pode ser exportado via floema, enquanto nas raízes, este excesso é exportado à parte aérea via xilema. Desta forma, os aminoácidos estão presentes tanto no xilema quanto no floema, e podem ser retirados do sistema vascular, adentrando as células adjacentes, dependendo da concentração externa, de modo que sirva de suprimento para ápices, tecidos em desenvolvimento e órgãos reprodutivos. Em muitas plantas, o espectro de aminoácidos é virtualmente idêntico, tanto no floema quanto no xilema. Porém, a concentração relativa destes aminoácidos é muito diferente: o xilema contém baixas concentrações, enquanto o floema altas concentrações (LOHAUS; BURBA; IIHELDT *et al.*, 1994; ROSNICK-SHIMMEL, 1985).

O metabolismo do N depende substancialmente da disponibilidade de água na planta (MATOS *et al.*, 2012). Em condições naturais e agriculturáveis, as plantas são frequentemente expostas aos estresses ambientais. O déficit hídrico, estresse térmico, salinidade e a deficiência de oxigênio são alguns dos principais fatores de estresse que restringem o crescimento vegetal, de tal modo que a biomassa ou produtividade agronômica no final de um ciclo expressem apenas uma fração do potencial genético das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2013).

4.4 Irrigação na cultura do algodoeiro

Assim como em outros organismos, a água constitui a porção maior do volume celular e é o recurso limitante mais importante. Cerca de 97% da água captada pelas plantas é perdida para a atmosfera (principalmente pela transpiração). Aproximadamente 2% é usado para aumento de volume ou expansão celular e 1% para processos metabólicos, predominantemente a fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A emergência do algodoeiro em condições de campo pode durar de 4 a 10 dias após a semeadura, necessitando para emergência e estabelecimento, de temperaturas do solo superiores a 20 °C e temperaturas do ar entre 25 e 30 °C (MARUR, 1999). Dentre os fatores climáticos envolvidos no crescimento e desenvolvimento da cultura do algodoeiro podemos destacar também a disponibilidade hídrica por ser essencial desde o processo de germinação até a maturação do fruto. A disponibilidade hídrica no momento da semeadura deve ser o suficiente para que ocorra a embebição da semente (SANTOS JÚNIOR *et al.*, 2018).

De acordo com Beltrão e Azevedo (2008), depois da emergência do algodoeiro inicia-se a fase de desenvolvimento vegetativo com formação de folhas que tem como principal função a interceptação da luz solar e produção de fotoassimilados. Ao longo do crescimento, seus órgãos vegetativos competem com órgãos reprodutivos por estes fotoassimilados, além de apresentar um sistema fotossintético pouco eficiente do ponto de vista fisiológico (C3) e uma estrutura do dossel que proporciona distribuição irregular das folhas para interceptação da luz.

Como o crescimento é controlado pela divisão celular, seguida de sua expansão, uma quantidade de água insuficiente, que mantenha células das zonas de crescimento em condições de flacidez, reduz o coeficiente de divisão celular e mais

ainda a expansão de todas as células, impedindo, assim, o crescimento vegetativo das plantas (BELTRÃO *et al.*, 2011).

O algodoeiro é considerado uma planta muito sensível às variações do conteúdo de água do solo durante e principalmente na floração (HEARN, 1975; RAO *et al.*, 1978), e requer durante seu ciclo de vida entre 650 e 900 mm de água, sendo que demanda hídrica depende das práticas culturais, da disponibilidade de água no solo, da cultivar, da demanda evapotranspirométrica, e geralmente na fase inicial até o aparecimento dos primeiros botões florais, o requerimento hídrico é inferior a 2 mm dia⁻¹ e após essa fase, com o rápido crescimento vegetativo, aumenta-se o consumo de água, que pode ultrapassar 8 mm d⁻¹ (BEZERRA *et al.*, 2010).

Segundo Oliveira e Campos (1992), a cotonicultura nordestina baseou-se na exploração de sequeiro, mas visando minimizar os efeitos nocivos das secas periódicas e das irregularidades das chuvas sobre o rendimento da cultura, muitos agricultores começaram a mostrar interesse por seu cultivo em regime de irrigação. Uma das vantagens desse cultivo é o curto período de ocupação da área (110 a 150 dias), baixo consumo de água e uma boa produtividade. Dessa forma, em função dessa instabilidade climática, que é representada pela irregularidade da distribuição das chuvas, faz com que uma agricultura produtiva se desenvolva melhor às custas da irrigação. Sendo assim, um dos grandes desafios da agricultura tem sido aumentar a produtividade das culturas em regiões passíveis de ocorrência de restrição hídrica, como por exemplo, o Cerrado.

Conforme Farias *et al.* (2000) a disponibilidade irregular de água no solo afeta a produção agrícola e a utilização da irrigação geralmente praticada para suplementar a precipitação natural no atendimento das necessidades hídricas das culturas, tem assegurado o crescimento e o desenvolvimento das culturas, melhorando substancialmente a produtividade (AMORIM NETO *et al.*, 2001).

Porém, de modo a usar a água de forma racional nas culturas é importante definir o momento de irrigar, a quantidade e as alternativas que minimizam os efeitos da deficiência hídrica nas plantas (BONFIM *et al.*, 2012).

4.5 Déficit hídrico na cultura do algodoeiro

Embora o algodoeiro apresente boa tolerância ao déficit hídrico, pode ocorrer perdas significativas na produtividade, quando o estresse hídrico ocorre na fase de floração e frutificação (NUNES FILHO *et al.*, 1998).

Segundo Souza (1999), os componentes de crescimento e desenvolvimento da cultura do algodoeiro estão relacionados às condições da água disponível no solo e com o tipo de solo. Cordão Sobrinho *et al.* (2007) relataram em sua pesquisa com algodoeiro que a adequada disponibilidade hídrica concorre para aumento de produtividade e obtenção de fibra de melhor qualidade. Por outro lado, o déficit hídrico diminui a resistência e a finura da fibra, o diâmetro do caule, a altura de planta e, conseqüentemente, a produtividade.

O estágio vegetativo abrange o período compreendido entre a emergência a emissão da primeira flor. Ao final deste, o sistema radicular do algodoeiro encontra-se com aproximadamente 80% do seu total desenvolvimento, evidenciando a rápida expansão que pode chegar a 2,5 cm dia⁻¹ durante várias semanas (ECHER, 2014). Ou seja, é importante nesse período que haja uma quantidade de água suficiente para o desenvolvimento da cultura.

O estresse hídrico durante a produção dos botões florais, ou seja, antes do florescimento, é extremamente prejudicial, devido à necessidade do algodoeiro em formar um dossel capaz de garantir produção de fotoassimilados suficientes para a manutenção dos botões florais e, conseqüentemente, garantir maiores produtividades (ECHER, 2014). A exigência de água nesta etapa de desenvolvimento do algodoeiro passa de menos de 1 mm de água por dia para 4 mm por dia, cessando o crescimento em caso de estresse hídrico (ROSOLEM, 2001).

O estágio de desenvolvimento compreendido entre a primeira flor e o primeiro capulho apresenta elevada atividade metabólica, exigindo grandes quantidades de água que passa de 4 mm a mais de 8 mm por dia, de modo a garantir uma eficiente partição de biomassa para órgãos vegetativos e reprodutivos (ROSOLEM, 2001; ECHER, 2014). Nesta etapa, quando a demanda de fotoassimilados supera a capacidade de fornecimento pelo dossel, tem-se o fenômeno chamando de *cut-out* que é a paralização do crescimento vegetativo e o abortamento de flores, além de maçãs e botões jovens, na ausência de estresse (SANTOS JÚNIOR *et al.*, 2018).

Por outro lado, devido a menor taxa fotossintética em virtude do estresse hídrico, tem-se a redução da alocação de carboidratos para as estruturas reprodutivas desencadeando o processo de abortamento. O abortamento de estruturas de frutificação e a sensibilidade ao abortamento dos botões florais diminuem por volta dos 14 dias após a antese e aos 21 dias após a emissão do primeiro botão floral visível, respectivamente. Como estratégia de sobrevivência, a planta de algodão no estágio compreendido entre o *cut-out* à maturação responderá ao estresse hídrico por meio do abortamento de frutos pequenos, favorecendo o desenvolvimento da semente e fibras em frutos mais velhos (ECHER, 2014).

Caso tenha a persistência do estresse e não houver mais frutos pequenos a serem abortados, o crescimento do capulho será reduzido, bem como o espessamento da fibra produzindo, conseqüentemente, fibras imaturas, comprometendo a produtividade e a qualidade da fibra (SANTOS JÚNIOR *et al.*, 2018).

A escassez de água afeta os processos de desenvolvimento das plantas, bem como a fisiologia, a bioquímica, a morfologia e reduz a fotossíntese de três maneiras: pela redução da área foliar disponível para interceptar a radiação solar, pela redução da difusão do CO₂ para dentro da folha e pela redução da habilidade dos cloroplastos para fixar o CO₂ que neles penetra (JONES, 1985).

Além disso, o déficit hídrico no solo causa a perda progressiva do turgor protoplasmático e um aumento na concentração de solutos. Posteriormente, um distúrbio na função celular é ocasionado, surgindo uma diminuição na atividade funcional da célula, culminando com o desarranjo e perda de funções das estruturas protoplasmática (especialmente as membranas) (PAIVA; OLIVEIRA, 2006).

De acordo com Marijuan e Bosch (2013), o ajuste osmótico constitui-se um dos mecanismos fisiológicos mais eficazes para manutenção da turgescência celular, sob condições de baixo potencial hídrico no solo, pois confere proteção por curtos períodos de tempo de estresse e é importante quando as condições não tardam a se normalizar. Esse mecanismo se estabelece mediante o acúmulo, no vacúolo ou no citosol, de solutos compatíveis que contribuem para a manutenção do equilíbrio hídrico e a preservação da integridade de proteínas, enzimas e membranas celulares.

Segundo Trovato, Mattioli e Constantino (2008) e Ashraf *et al.* (2011), o aminoácido prolina é o soluto compatível mais estudado, em razão de sua sensibilidade de resposta a condições de estresse.

Verbruggen e Hermans (2008) relataram que em plantas sob estresse, o conteúdo de prolina pode aumentar até 100 vezes, em comparação ao observado em plantas cultivadas sob condições normais. Esse acúmulo fornece um importante parâmetro para a seleção de plantas resistentes (BOUCHÉ, FROMM, 2004).

A planta em condições adversas pode sofrer três fases de estresses: fase de alarme, fase de resistência e fase de exaustão. O estresse induz a mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do organismo, as quais são reversíveis a princípio, podendo se tornar permanentes. Mesmo se uma condição de estresse é somente temporária, a vitalidade da planta torna-se cada vez menor conforme a duração do estresse (LARCHER, 2004).

Pelo fato da água ter seu papel predominante no transporte de nutrientes da planta, nas reações químicas e enzimáticas, na expansão celular e na transpiração, a sua falta ou o estresse hídrico resulta em alterações anatômicas e morfológicas, bem como mudanças na fisiologia e nos processos bioquímicos, afetando diversas funções das plantas (HSIAO, 1973; KRAMER, 1980).

Desta forma, a necessidade hídrica das culturas condiciona as atividades fisiológicas e metabólicas das plantas (BALDO *et al.*, 2009).

4.6 Estresse oxidativo

Situações de extremos hídricos (falta ou excesso de água) nas plantas podem induzir o aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), promovendo a quebra da homeostase celular (PINHEIRO; BELO; MOTA, 2002).

As EROs produzidas são os radicais superóxido ($O_2^{\cdot-}$), radicais hidroxila ($OH^{\cdot}$) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (BOWLER; MONTAGU; INZÉ, 1992; SCANDALIOS, 1993). Para eliminar esses compostos, as plantas apresentam sistemas enzimáticos antioxidantes que constituem uma importante defesa primária contra os radicais livres (CARNEIRO *et al.*, 2011). As EROs são comumente produzidas, porém sua produção aumenta quando a planta é submetida às condições de estresse (THAKUR; SOHAL, 2013).

O estresse oxidativo surge a partir de um desbalanço na formação e no metabolismo das espécies reativas de oxigênio (EROs), ou seja, mais EROs sendo produzidas do que metabolizadas (NEILL *et al.*, 2002), e uma vez formadas, as EROs

precisam ser detoxificadas eficientemente pelo complexo antioxidante a fim de minimizar eventuais danos.

Os mecanismos de detoxificação fazem parte da segunda linha de defesa contra os efeitos danosos das EROs (GRATÃO *et al.*, 2005), na qual as principais enzimas antioxidantes são a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidase (POD), que protegem as células das plantas contra radicais livres e espécies reativas de oxigênio (GONZÁLEZ *et al.*, 2015), contribuindo na defesa da planta (THAKUR; SOHAL, 2013).

A primeira enzima a agir é a SOD que é responsável por dismutar o superóxido ($O_2^{\bullet-}$) em formas menos tóxicas H_2O_2 e O_2 para a planta. Em seguida CAT e POD são responsáveis por transformar o H_2O_2 em H_2O e O_2 (THAKUR; SOHAL, 2013).

A atividade das enzimas antioxidantes pode variar de acordo com a duração do tratamento e do tipo de estresse, e entre espécies e partes de plantas (CHEN; HUANG; LIU, 2009). Para um determinado fator estressante cada planta tem um limite de tolerância a partir do qual as alterações são intensivamente mais profundas e permanentes. Além de variar entre espécies o seu efeito pode variar entre genótipos de uma mesma espécie e entre fases fenológicas de um mesmo genótipo (SAMALLWOOD; CALVERT; BOURLES, 1999).

REFERÊNCIAS

- ALI, N. Review: nitrogen utilization features in cotton crop. **American Journal of Plant Sciences**, [s. l.], v. 6, n. 7, p. 987, 2015.
- AMORIM NETO, M. da S.; ARAUJO, A. E. de; BELTRÃO, N. E. de M. **Clima e solo**. In: BELTRÃO, N. E. de M.; VIEIRA, D. J. (ed.). O agronegócio do gergelim no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. Cap. 5, p.93-107.
- ASHRAF, M.; AKRAM, N.A.; ALQURAINY, F.; FOOLAD, M.R. Drought tolerance: roles of organic osmolytes, growth regulators, and mineral nutrients. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 111, p. 249-296, 2011. DOI: 10.1016/B978-0-12-387689-8.00002-3.
- AZEVEDO, D. M. P.; VIEIRA, D. J.; BELTRÃO, N. E. de M.; NÓBREGA, L. B. **Efeito da adubação nitrogenada e do regulador de crescimento em algodoeiro irrigado**. Campina Grande: Embrapa- CNPA, 1998. 4 p.
- AZEVEDO, P. V.; RAO, T. V. R.; NETO, M. S. A.; PEREIRA, J. R. C.; SOBRINHO, J. E.; MACIEL, G. F. Necessidades Hídricas da Cultura do Algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 7, p. 863-870, 1993.
- BELTRÃO, N. E de M.; SOUZA, J. G. de; GUERRA, J. S.; TAKIZAWA, E. Manejo cultural do algodoeiro herbáceo na região do Cerrado. In: FARIAS, F. J. C.; AGUIAR, P. H.; FREIRE, E. C.; HIROMOTO, D. M. (ed.) **Mato Grosso: liderança e competitividade**. Rondonópolis: Fundação MT, 1999. p. 70-86. (Boletim, 3)
- BELTRÃO, N. E. M. **Fisiologia da produção do algodoeiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. 8 p. (Embrapa Algodão. Circular técnica, 94).
- BELTRÃO, N. E. M.; OLIVEIRA, M. I. P.; SOUSA JÚNIOR, S. P.; BRITO, G. G.; CARDOSO, G. D. Ecofisiologia do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch.). In: BELTRÃO, N. E. de M.; OLIVEIRA, M. I. P. de. (ed.). **Ecofisiologia das culturas de algodão, amendoim, gergelim, mamona, pinhão-manso e sisal**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 322 p.
- BELTRÃO, N. E. M.; SOUZA, J. G. Fisiologia e ecofisiologia do algodoeiro. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Algodão: tecnologia de produção**. Dourados: EMBRAPA- CNPAO, 2011. p. 54-75
- BELTRÃO, N. M. Algodão brasileiro em relação ao mundo: situação e perspectivas. In: **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. v. 1, p. 15-27.

BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. de. **O Agronegócio do Algodão no Brasil**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 2. p. 570.

BEZERRA, J. R. C.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; DIAS, J. M. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do algodoeiro BRS-200 Marron, irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 6, p. 625-632, 2010.

BONFIM, F. P. G.; CASALI, V. W. D.; MENDONÇA, E. G. de; MARTINS, E. R. Estresse hídrico em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tratado com o preparado homeopáticos de arnica montana. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, p. 530-538, 2012.

BOUCHE, N.; FROMM, H. **GABA in plants**: just a metabolite? Trends in Plant Science 9 (3), 110–115, 2004.

BOWLER, C.; MONTAGU, M. van; INZÉ, D. Superoxide dismutase and stress tolerance. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 43, p. 83-116, 1992.

CAMACHO, M. A.; MARCANTE, N. C.; DOS SANTOS, R. C.; RUIZ, J. G. C. L.; ECCO, M.; SCHIAVO, J. A. Absorção de nitrogênio pelo algodoeiro herbáceo em dois sistemas de cultivo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 1, p. 51-58, 2013.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. **Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho**. In: FANCELLI, A.L. (ed). Milho: nutrição e adubação. Piracicaba: FEALQ, 2008. v.1, p. 36-55.

CARVALHO, M. C. S.; FERREIRA, G. B.; STAUT, L. A. **Nutrição, calagem e adubação**. In: FREIRE, E. C. (ed.) Algodão no Cerrado do Brasil. Brasília, DF: ABRAPA, 2007. Cap. 16. p. 581-687

CARVALHO, M. da C. S.; LEANDRO, W. M.; FERREIRA, A. C. de B.; BARBOSA, K. A. **Sugestão de adubação nitrogenada do algodoeiro para o Estado de Goiás com base em resultados de pesquisa**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. 4 p. (Embrapa Algodão. Comunicado Técnico, 268).

CHEN, C.; HUANG, D.; LIU, J. Functions and toxicity of nickel in plants: recent advances and future prospects. **Clean-soil, air, water**, Malden, v. 37, n. 4-5, p. 304-313, 2009.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; BAHIA, A.F.C.; GUEDES, G.A.A. Balanço de nitrogênio (¹⁵N) em um latossolo vermelho-escuro, sob vegetação de Cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 15, p. 187-193, 1991.

COELHO, A.M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. Rendimento de milho no Brasil: Chegamos ao Máximo? *In: SIMPÓSIO DE ROTAÇÃO SOJA/MILHO NO PLANTIO DIRETO*, 3., 2002, Piracicaba. **Anais [...]** Piracicaba: [s. n.], 2002. p. 1-32.

CONSELHO NACIONAL DO ABASTECIMENTO - CONAB. **Perspectivas para a agropecuária**. Brasília, DF: Conab, 2019. v. 7.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Séries históricas**. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=>. Acesso em: 17 jan. 2017.

CORDÃO SOBRINHO, F. P.; FERNANDES, P. D.; BELTRÃO, N. E. de M.; SOARES, F. A. L.; TERCEIRO NETO, C. P. C. Crescimento e rendimento do algodoeiro BRS – 200 com aplicações de cloreto de mepiquat e lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 284-292, 2007.

CRAWFORD, N.M. Nitrate: nutrient and signal for plant growth. **The Plant Cell**, Rockville, v. 7, p.859-868, 1995.

DONATO, V.M.T.S. et al. Atividade enzimática em variedades de cana-de-açúcar cultivadas in vitro sob diferentes níveis de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 11, p. 1087-1093, 2004.

DUARTE, F. M.; POCOJESKI, E.; SILVA, L. S.; GRAUPE, F. A.; BRITZKE, D. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia com aplicação de uréia em solo de várzea com diferentes níveis de umidade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 705-711, 2007.

ECHER, F. R. **O algodoeiro e os estresses abióticos**: temperatura, luz, água e nutrientes. Net, Cuiabá (MT), 2014. Instituto Mato-Grossense do Algodão – IMAMt. Disponível em: Acesso em: 20 Jan. 2018.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas**: princípios e perspectivas. 2. ed. São Paulo: Planta, 2006. 401 p.

ERNANI, P.R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages: O Autor, 2008. 230 p.

FARIAS, R. A. de; SOARES, A. A.; SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, C. A. A. S. Demanda de irrigação suplementar para a cultura do milho no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, p. 46-50, 2000.

FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. **Manejo e fertilidade de solos em plantio direto**. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2006. 218 p.

FURLANI JÚNIOR, E.; SILVA, N. M; FUZATTO, M. G.; CIA, E.; BOLONHEZI, D.; CARVALHO, L. H.; BORTOLETTO, N.; CANTARELLA, H. Adubação nitrogenada e modo de aplicação de regulador de crescimento para o cultivar de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) IAC 22, em diferentes densidades populacionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 1., 1997, Fortaleza. **Anais [...]** Campina Grande:Embrapa- CNPA, 1997. p. 293-295.

GONZÁLEZ, C. I.; MAINE, M. A.; CAZENAVE, J.; HADAD, H. R.; BENAVIDES, M. P. Ni accumulation and its effects on physiological and biochemical parameters of *Eichhornia crassipes*. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 117, n. 1, p. 20-27, 2015.

GRATÃO, P. L. et al. Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 32, n. 6, p. 481-494, 2005.

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

HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. 7.ed. New Jersey: Pearson, 2005. 515 p.

HEARN, A.B. Response of cotton to water and nitrogen in tropical environment. I. Frequency of watering and method of application of nitrogen. **Journal of Agricultural Science**, [s. l.], v. 84, p. 407-417, 1975.

HSIAO, T. C. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 24, p. 519-570, 1973.

JONES, C. A. **C4 Grasses and cereals: growth, development and stress response**. New York: John Wiley & Sons, 1985. 419 p.

KANEKO, F. H.; LEAL, A. J. F.; DIAS, A. R.; ANSELMO, J. L.; BUZETTI, S.; DAL BEM, E. A.; GITTI, D. C.; NASCIMENTO, V. Resposta do algodoeiro em cultivo adensado a doses de nitrogênio, fósforo e potássio. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 7, n. 25, p. 382-389, 2014.

KRAMER, P. J. Drought stress and the origin of adaptation. In: TURNER, N.C.; KRAMER, P. J. **Adaptation of plants to water and high temperature stress**. John Wiley & Sons, New York, 1980, p.7-20

LAM, H. M.; KOSCHIGANO, K. T.; OLIVEIRA, I. C.; MELO-OLIVEIRA, R.; CORUZZI, G. M. The molecular-genetics of nitrogen assimilation into amino acids in higher plants. **Annual review of plant physiology and plant molecular biology**, New York, v. 47, p. 569- 593, 1996.

LARCHER, W. A Planta sob Estresse. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2004. p. 341-478.

LEGAZ, F. Mejora de la eficiencia de la utilización de los fertilizantes nitrogenados. CONGRESO DE LA CITRICULTURA DE LA PLANA. 1994. **Anais** [...] Nules: Castellon, 1994. p. 137-155 p. (Serie de Estudis i investigacions, 4)

LOHAUS, G.; BURBA, M.; IELDIT, I. I. W. Comparisons of the contents of sucrose and amino acids in the leaves, phloem sap and taproots of high and low sugar-producing hybrids of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 45, p. 1097-1101, 1994.

LUCHESI, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2001. 182 p.

LUZ, M.J. DA S. E; BEZERRA, J.R.C.; BARRETO, A.N.; SANTOS, J.W. DOS; AMORIM NETO, M. DA S. Efeito da deficiência hídrica sobre o rendimento e a qualidade da fibra do algodoeiro. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 1, n. 1, p. 125-133, 1997.

MAO, L.; ZHANG, L.; EVERS, J.B.; WOPKE, W.; LIU, S.; ZHANG, S.; WANG, B.; LI, Z. Yield components and quality of intercropped cotton in response to mepiquat chloride and plant density. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 179, p. 63-71, 2015.

MARIJUAN, M.P.; BOSCH, S.M. Ecophysiology of invasive plants: osmotic adjustment and antioxidants. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 18, p. 660-666, 2013. DOI: 10.1016/j.tplants.2013.08.006.

MATOS, F.S.; OLIVERIA, L.R.; FREITAS, R.G.; EVARISTO, A.B.; MISSIO, R.F.; CANO, M.A.O. Physiological characterization of leaf senescence of *Jatropha curcas* L. populations. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 45, n. 10, p. 57-64, 2012.

MENDONÇA, J. C.; SOUZA, E. F. de; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET₀) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.

NEILL, S. J. et al. Hydrogen peroxide and nitric oxide as signaling molecules in plants. **Journal Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 372, p. 1237-1247, 2002.

NUNES FILHO, J.; SÁ, V.A.L; JÚNIOR, I.S.O; COUTINHO, J.L.B; SANTOS, V.F. Efeito de lâminas de irrigação sobre o rendimento e qualidade da fibra de cultivares de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 295-299, 1998.

OLIVEIRA, E. L. de. Coberturas verdes de inverno e adubação nitrogenada em algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 2, p. 235-241, 1994.

OLIVEIRA, F. A. de.; CAMPOS, T. G. da S. Efeito da supressão da irrigação no algodoeiro herbáceo. **Pesquisa Agropecuária**, Brasília, DF, v. 26, n. 3, p. 383-390, 1992.

OOSTERHUIS, D. M. **Growth and development of a cotton plant**. In: CIA, E.; FREIRE, E. C.; SANTOS, W. J. dos (Ed.). Cultura do algodoeiro. Piracicaba: POTAFÓS, 1999. p. 35-55.

ORNELLAS, A. P.; HIROMOTO, D. M.; YUYAMA, M. M.; CAMARGO, T. V. **Boletim de pesquisa de algodão**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. 238 p. (Boletim de Pesquisa 04)

PAIVA, R.; L. M. OLIVEIRA. 2006. **Fisiologia e Produção Vegetal**. Lavras: Ed. UFLA., 2006. 104 p.

PERSEGIL, E. O. **Recomendação de adubação nitrogenada para o cultivar de algodoeiro FMT 701 com base na leitura de clorofila ICF**. 2012. 52 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012.

PINHEIRO, R.; BELO, I.; MOTA, M. Oxidative stress response of *Kluyveromyces marxianus* to hydrogen peroxide, paraquat and pressure. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 58, p. 842-847, 2002.

RAO, G.R.; SHIDE, J.S.; KADAM, D.M.; VARADE, S.B. Phenoclimatological study of rainfed cotton crop. **International Journal of Ecology and Environment Science**, [s. l.], v.4, p.7-13, 1978.

ROSNICK-SHIMMEL, L. The influence of nitrogen nutrition on the accumulation of free amino acids in tissue of *Urtica dioica* and their apical transport in xylem sap. **Plant and Cell Physiology**, Kyoto, v. 26, p. 215-219, 1985.

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

ROSOLEM, C. A.; BOGIANI, J. C. **Nutrição e estresses nutricionais em algodoeiro**. In: ROSOLEM, C. A.; KAWAKAMI, E. M.; CHIAVEGATO, E. J.; ECHER, R. F.; BRITO, G. G.; CARVALHO, H. DA R.; SNIDER, J. L.; BOGIANI, J. C.; BERNARDES, M. S.; YEATES, S. O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes. Cuiabá: Embrapa Agropecuária Oeste, 2014. p. 103-121.

ROSOLEM, C. A.; MELLIS, V. V. Monitoring nitrogen nutrition in cotton. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 5, p. 1601-1607, 2010.

SALVATIERRA, D. K. **Ocorrência da Ramulose (*Colletotrichum gossypii* var. *cephalosporioides* Costa) sob semeadura convencional e direta relacionada ao microclima, crescimento e desenvolvimento da cultura do algodoeiro**. 2008. 109 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008. Acesso em: 13 mar. 2020.

SAMALLWOOD, M. F.; CALVERT, C. M.; BOWLES, D. J. **Plant responses to environmental stress**. New York: Bios Scientific Publishers Limited, 1999. 224 p
SANTOS JÚNIOR, A. dos et al. Ecofisiologia do algodoeiro. In: DIAS, J. P. T.. **Ecofisiologia de Culturas Agrícolas**. Belo Horizonte: Uemg, 2018. p. 32-43.

SCANDALIOS, J. G. Oxygen stress and superoxides dismutases. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 101, p. 7-12, 1993.

SECRETARIA DE AGRICULTURA, IRRIGAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA - SEAGRI. **Cultura: algodão**. 2012. Disponível em: <http://www.seagri.ba.gov.br/Algodão.htm#Algodão> na Bahia. Acesso em 10 jul. 2012.

SILVA, N. M.; KONDO, J. I.; SABINO, N. P. Importância da adubação na qualidade do algodão e outras plantas fibrosas. In: SÁ, M. E.; BUZZETI, S. (Eds) **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Ícone, 1994. p. 189-216.

SILVA, N. M.; RAIJ, B. van. Fibrosas. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. Cap. 16. p. 107-111. (Boletim Técnico, 100).

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

SODEK, L. **Metabolismo do nitrogênio**. In: KERBAUY, G. B. Fisiologia vegetal. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p. 98.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. (ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

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

TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 719 p. 2013.

THAKUR, M.; SOHAL, B. S. Role of elicitors in inducing resistance in plants against pathogen infection: a review. **ISRN biochemistry**, [s. l.], v. 2013, p. 1-10, 2013.

TROVATO, M.; MATTIOLI, R.; COSTANTINO, P. Multiple roles of proline in plant stress tolerance and development. **Rendiconti Lincei**, Milano, v. 19, p. 325-346, 2008. DOI: 10.1007/s12210-008-0022-8.

VERBRUGGEN, N.; HERMANS, C. Proline accumulation in plants: a review. **Amino Acids**, v. 35, p. 753-759, 2008. DOI: 10.1007/s00726-008-0061-6.

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

YANO, G. T.; TAKAHASHI, H. W.; WATANABE, T. S. Avaliação de fontes de nitrogênio e épocas de aplicação em cobertura para o cultivo do trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 2, p. 141-148, 2005.

ZANCANARO, L.; KAPPES, C. **Correção do solo e adubação da cultura**. In: Manual de Boas Práticas de Manejo do Algodão em Mato Grosso: safra 2012/13. Cuiabá: IMAmt; Cuiabá: Ampa, p. 92-98, 2012

ZANON, G. D. **Manejo de cultivares de algodoeiro em densidade populacional variável com o uso de regulador de crescimento**. 2002. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

5 CAPÍTULO 1: ASPECTOS FISIOLÓGICOS, BIOQUÍMICOS E ANATÔMICOS DO ALGODOEIRO HERBÁCEO EM FUNÇÃO DE DOSES E FONTES DE N EM CULTIVO DE SEQUEIRO E IRRIGADO NO AMBIENTE DE CERRADO

Resumo: Devido à importância do algodoeiro herbáceo no cenário mundial, torna-se evidente a busca por meios necessários à maximização do seu rendimento. O uso da adubação nitrogenada pode fornecer aumento na produtividade, porém seu uso é feito muitas vezes de forma empírica, não levando em consideração a resposta da cultura ao meio inserido. A água é um fator essencial para o bom funcionamento fisiológico e bioquímico das plantas. Nesse sentido, objetivou-se estudar o comportamento do algodoeiro à aplicação de doses e fontes de N em cultivo de sequeiro e irrigado, em região de Cerrado, onde ocorre maior parte de sua produção no Brasil. O experimento foi realizado na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Unesp em Selviria-MS, em 2017/18 (Dezembro-Maio). O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, contendo 16 tratamentos em fatorial 4x2x2, com três repetições, totalizando 48 parcelas. Os tratamentos foram: 3 doses de N (40; 80 e 150 kg ha⁻¹) e a testemunha (0 N); 2 fontes de N (ureia e nitrato de amônio) e dois sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado). As irrigações foram realizadas por aspersão convencional fixa. As doses e fontes foram aplicadas aos 45 dias após a emergência (DAE), via adubação de cobertura e aos 145 DAE finalizou-se o experimento com a colheita dos capulhos. Concluiu-se que o cultivo irrigado e as doses de N proporcionaram as plantas maior crescimento em altura, aumento do índice SPAD, da taxa fotossintética e dos teores de N, nitrato e sacarose nas folhas. A produtividade do algodão em caroço (kg ha⁻¹) aumentou com a irrigação. O diâmetro caulinar, número de ramos e área foliar total foram menores nas plantas de sequeiro, porém desenvolveram mais o crescimento das raízes, e houve o predomínio do controle estomático sobre a fotossíntese, aumentando a eficiência intrínseca do uso de água, além de não terem acumulado feofitinas e o aminoácido prolina nas folhas, indicando que não ocorreu a degradação das moléculas de clorofilas e danos no ajuste osmótico, e o estresse hídrico foi moderado. Na anatomia foliar os tratamentos proporcionaram várias modificações na epiderme abaxial e adaxial, bem como para o número dos estômatos, que tiveram maior densidade nas plantas irrigadas. A atividade das enzimas antioxidantes diferiu, sendo que a peroxidase (POD) não foi influenciada pelos tratamentos. Porém, a superóxido dismutase (SOD) e a catalase (CAT) aumentaram nas plantas de sequeiro, evidenciando que ocorreu a formação das espécies reativas de oxigênio (EROs), porém essas enzimas foram ativadas, indicando redução nos níveis de EROs e ausência de danos oxidativos pelo déficit hídrico.

Palavras-Chaves: *Gossypium hirsutum* L. Produtividade. Nutrição de plantas. Estresse hídrico.

PHYSIOLOGICAL, BIOCHEMICAL AND ANATOMICAL ASPECTS OF HERBACEOUS COTTON IN FUNCTION OF RATES AND SOURCES OF N IN RAINFED AND IRRIGATED CULTIVATION IN THE CERRADO ENVIRONMENT

Abstract: Due to the importance of herbaceous cotton on the world stage, the search for means necessary to maximize its yield becomes evident. The use of nitrogen fertilization can provide an increase in productivity, but its use is often made empirically, not taking into account the culture response to the inserted medium. Water is an essential factor for the proper physiological and biochemical functioning of plants. In this sense, the objective was to study the behavior of cotton to the application of rates and sources of N in rainfed and irrigated cultivation, in the Cerrado region, where most of its production occurs in Brazil. The experiment was carried out at Unesp's teaching, research and extension farm in Selviria-MS, in 2017/18 (December-May). The experimental design used was a randomized blocks, containing 16 treatments in a 4x2x2 factorial, with three replications, totaling 48 plots. The treatments were: 3 rates of N (40; 80 and 150 kg ha⁻¹) and the control (0 N); 2 sources of N (urea and ammonium nitrate) and two cultivation systems (rainfed and irrigated). Irrigations were carried out by conventional fixed sprinkler. The rates and sources were applied at 45 days after emergence (DAE), by means of cover fertilization and at 145 DAE the experiment was concluded with the harvest of the bolls and irrigated. It was concluded that irrigated cultivation and N doses provided the plants with greater height growth, increased SPAD index, photosynthetic rate and N, nitrate and sucrose levels in the leaves. Seed cotton yield (kg ha⁻¹) increased with irrigation. The stem diameter, number of branches and total leaf area were smaller in upland plants, but they developed more root growth, and there was a predominance of stomatal control over photosynthesis, increasing the intrinsic efficiency of water use, in addition to not having accumulated pheophytins and the amino acid proline in the leaves, indicating that there was no degradation of the chlorophyll molecules and damage in the osmotic adjustment, and water stress was moderate. In leaf anatomy, the treatments provided several changes in the abaxial and adaxial epidermis, as well as for the number of stomata, which had a higher density in irrigated plants. The activity of antioxidant enzymes differed, with peroxidase (POD) not being influenced by treatments. However, superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) increased in rainfed plants, showing that the formation of reactive oxygen species (ROS) occurred, however these enzymes were activated, indicating a reduction in ROS levels and absence of damage oxidative by water deficit.

Keywords: *Gossypium hirsutum* L. Productivity. Plant nutrition. Hydrical stress.

5.1 Introdução

O algodoeiro herbáceo é uma malvácea de clima tropical que apresenta tolerância relativamente alta à seca quando comparado a culturas como soja, arroz ou milho. Isso se deve à sua capacidade de aprofundamento do sistema radicular em condições de déficit hídrico, o que permite à planta absorver água em camadas mais profundas do solo em condições de estresse (ROSOLEM, 2007).

Para seu crescimento e desenvolvimento, o algodoeiro necessita com certa frequência, de uma quantidade de água adequada definida de acordo com o solo e clima. A falta de água em períodos críticos do ciclo compromete o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas (HUSSEIN *et al.*, 2011; LUO *et al.*, 2014). A maior parte da produção brasileira está localizada na região do Cerrado, onde apresenta condições climáticas favoráveis para a cultura, porém é comum nessa região período de déficit hídrico.

Segundo Lamas e Staut (1999) e Medeiros *et al.* (2001), o N é considerado um dos nutrientes mais importantes para o algodoeiro devido a sua interferência nos aspectos qualidade e quantidade da produção. Beltrão (1999) relatou que o N estimula o crescimento e o florescimento, regulariza o ciclo da planta e aumenta a produtividade, quando aplicado em doses adequadas.

A água é o fator mais limitante para o crescimento e produtividade das culturas (KRAMER, 1983) e para o algodoeiro não é diferente. Conforme Saini e Westgate (1999), o efeito do estresse hídrico no algodoeiro depende da severidade e da duração do estresse, além do estágio de crescimento em que o estresse é imposto e do genótipo da planta. Diversas pesquisas foram realizadas demonstrando que o estresse hídrico persistente durante o ciclo de cultivo do algodoeiro afeta seu crescimento, produtividade e qualidade das fibras (SNOWDEN *et al.*, 2013).

Sendo assim, visando a importância do N na cultura do algodoeiro, e que seu cultivo é frequente em regiões de Cerrado, passível de déficit hídrico, tornam-se importante pesquisas voltadas no sentido de compreender o comportamento morfofisiológico e bioquímico dessa espécie herbácea, em função das doses e fontes de N com e sem suplementação hídrica.

5.2 Material e métodos

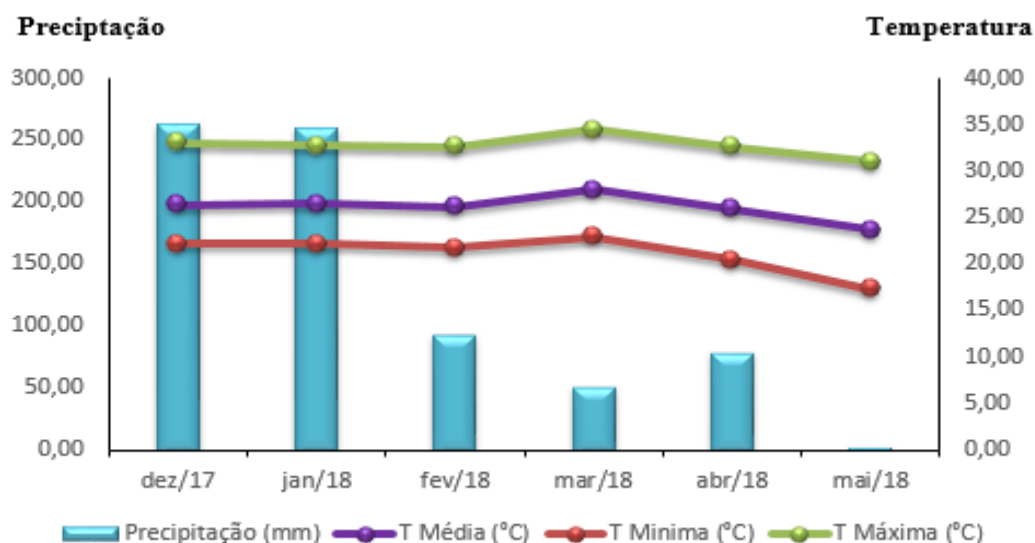
5.2.1 Localização do experimento

O estudo foi desenvolvido na área experimental da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Engenharia, UNESP/Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria-MS. As coordenadas geográficas da área em estudo são 20°20' de Latitude Sul e 51°24' de Longitude Oeste e com altitude média de 344m, sendo o clima da região classificado segundo Köppen como do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. Apresenta temperatura média anual de 24,5°C, precipitação média anual de 1.232mm e umidade relativa média anual de 64,8% (HERNANDEZ; LEMOS FILHO; BUZETTI, 1995).

5.2.2 Precipitação e temperatura

Durante o período experimental foram obtidas informações de temperatura média mensal e precipitação pluvial média mensal para a localidade de Selvíria-MS (Figura 1).

Figura 1- Médias mensais da precipitação, temperaturas mínima, média e máxima durante a condução do experimento com o algodoeiro herbáceo, no período de dezembro de 2017 a maio de 2018, na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Engenharia, UNESP/Campus de Ilha Solteira, Selvíria – MS.



Fonte: Dados obtidos no posto meteorológico da FEIS – Selvíria (MS).

5.2.3 Características do solo

O solo da área foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico muito argiloso, conforme classificação brasileira dos solos (EMBRAPA, 2018). Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras de solo da área e realizadas as análises químicas, segundo metodologia proposta por Raij e Quaggio (1983), obtendo as seguintes características químicas (Tabela 1):

Tabela 1- Resultados da análise química do solo na profundidade de 0 a 20 cm. Selvíria-MS, 2017.

P_{resina}	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V
mg/dm³	g/dm³	(CaCl₂)	mmolc/dm³						(%)
11	26	4,7	2,5	13	11	42	2	68,5	39

Fonte: Dados obtidos no laboratório de Fertilidade de Solos da FEIS – UNESP.

5.2.4 Preparo do solo e adubação

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

A adubação básica de semeadura seguiu as recomendações de Silva e Raij (1997), calculada de acordo com as características químicas do solo (Tabela 1), e constou com 350 kg ha⁻¹ do formulado 04-30-10, aplicado pela semeadora.

5.2.5 Instalação do experimento

Procedeu-se a instalação do experimento em 5 de dezembro de 2017, com semeadura do genótipo de algodoeiro herbáceo TMG 81 WS de ciclo tardio e porte alto (TMG CULTIVARES, 2017), em sistema de plantio convencional. A emergência das plantas ocorreu após dez dias, deixando-se um stand de 8 plantas por metro.

5.2.6 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, em esquema fatorial 4x2x2 totalizando 16 tratamentos, com 3 repetições, perfazendo um total 48 parcelas. Os tratamentos foram constituídos por 3 doses de N em cobertura (40, 80 e 150 kg ha⁻¹) e a testemunha (0 N), 2 fontes de N (ureia e nitrato de amônio) e dois sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado). Cada parcela experimental foi constituída por oito linhas, com 4 m de comprimento e espaçamento de 0,9 m, sendo considerado como a área útil as quatro fileiras centrais. O espaçamento entre as parcelas foi de 1 m.

As aplicações das doses e fontes de N foram realizadas manualmente, distribuindo-se os fertilizantes sobre a superfície do solo em adubação de cobertura, ao lado da linha de plantas e sem incorporação ao solo, aos 45 dias após a emergência (DAE). Após a adubação de cobertura, a área experimental total foi irrigada por aspersão, para minimizar as perdas de N por volatilização da amônia.

5.2.7 Irrigação

A área foi irrigada com sistema fixo de irrigação por aspersão com vazão de 3,3 mm h⁻¹ nos aspersores, pressão de operação de 0,25 MPa e com o espaçamento entre os aspersores de 6 x 6 m. A evaporação da água (ECA) foi obtida diariamente do tanque Classe A, instalado no posto agrometeorológico situado a aproximadamente 500 m da área experimental. O coeficiente do tanque classe A (Kp) foi proposto por Doorenbos e Pruitt (1976), o qual é função da área circundante, velocidade do vento e umidade relativa do ar.

A Evapotranspiração de referência foi determinada pela expressão:

$ET_o = K_p \times ECA$, em que:

ET_o: Evapotranspiração de referência em mm dia⁻¹;

K_p: coeficiente do tanque Classe A;

ECA: Evaporação do tanque Classe A em mm dia⁻¹.

A Evapotranspiração da cultura (ET_c) foi determinada pela seguinte expressão:

$ET_c = K_c \times ET_o$, em que:

ET_c: Evapotranspiração da cultura em mm dia⁻¹;

K_c: Coeficiente da cultura;

ET_o: Evapotranspiração de referência em mm dia⁻¹.

No manejo de água foram utilizados quatro coeficientes de cultura (K_c), para as quatro fases de desenvolvimento da planta, conforme proposto no Boletim FAO 56 (ALLEN *et al.*, 1998), específico para a cultura do algodoeiro (Tabela 2).

Tabela 2- Coeficientes de cultura (K_c) utilizados durante as fases de desenvolvimento da cultura do algodoeiro herbáceo em Selvíria - MS, 2017/2018.

Estádio fenológico	Fase	K_c
I	Inicial: 0-25 dias após a emergência (DAE)	0,45
II	Desenvolvimento: 26-70 DAE	0,75
III	Desenvolvimento de capulhos: 71-120 DAE	1,15
IV	Maturidade: 121 DAE – colheita	0,70

Fonte: Boletim FAO 56 (ALLEN *et al.*, 1998)

Até os 30 DAE, não houve necessidade de irrigações, devido a quantidade de precipitações (dezembro/janeiro) apresentado na Figura 1. A partir dos 35 DAE, iniciou-se a separação dos sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), sendo que a água era repostada no sistema irrigado em média a cada 5 dias. A reposição de água era realizada quando a evapotranspiração da cultura (ET_c) acumulada atingia os valores próximos da água disponível do solo (ADS) pré-estabelecidos. As irrigações encerraram-se quando a cultura apresentou 70% dos capulhos abertos, aproximadamente aos 125 DAE.

5.2.8 Controle de plantas daninhas, regulador de crescimento e controle fitossanitário

O controle de plantas daninhas foi realizado através de manejo químico e por capinas manuais. Aos 33 DAE foi realizada aplicação do herbicida pyrrithiobac-sodium, utilizando-se pulverizador acoplado a um trator, em toda área do ensaio, na dose de $0,3 \text{ L ha}^{-1}$ da formulação comercial. As capinas manuais foram realizadas à medida que as mesmas emergiam. O crescimento vegetativo do algodoeiro foi controlado utilizando-se o regulador de crescimento, cujo ingrediente ativo é o de cloreto de mepiquat (250 g L^{-1}). O regulador foi aplicado com pulverizador de barras tratorizado, aos 70 DAE na dose de $0,2 \text{ L ha}^{-1}$. O controle de pragas e doenças foi realizado visando o bom desenvolvimento das plantas de algodoeiro, de modo que não interferissem nos tratamentos em estudo. As principais pragas encontradas e controladas foram: mosca branca (*Bemisia tabaci*) e bicudo (*Anthonomus grandis*).

5.2.9 Colheita

Em maio de 2018, aos 140 DAE, foi realizada a colheita de forma manual, coletando-se de todas as plantas das duas linhas centrais de cada parcela todos os capulhos, para posterior pesagem e cálculo de produtividade. Após a colheita, foi realizada a destruição da soqueira do algodoeiro com auxílio de roçadora acoplada a um trator.

5.3 Variáveis analisadas

5.3.1 Características agronômicas

O algodoeiro alcança uma absorção máxima de N diária na fase de florescimento entre 60 e 90 dias após a emergência (DAE) (ROSOLEM, 2010). Sendo assim, aos 60 DAE, 15 dias após a adubação de cobertura (fontes de N) e em intervalos de 20 dias (80, 100 e 120 DAE), iniciou-se a avaliação das características agronômicas, em cinco plantas que foram escolhidas ao acaso em cada parcela e marcadas, sendo analisadas periodicamente. Foram avaliadas:

- **Altura da planta (cm):** Medição feita do solo ao ápice da planta com o auxílio de uma trena fixa a um suporte de madeira.
- **Diâmetro do caule (mm):** Medido na altura de 2 cm em relação ao solo, realizado com o auxílio de um paquímetro.
- **Número de nós:** Contagem do número total de nós do caule a cada medição da altura do algodoeiro.
- **Número de ramos vegetativos e reprodutivos:** Realizado por contagem, aos 120 DAE.

Aos 125 DAE, de cada parcela experimental, coletaram-se aleatoriamente duas plantas inteiras por parcela, para determinar:

- **Massa fresca da parte aérea:** massa média, em gramas, da parte aérea (caule e folhas).
- **Massa fresca das raízes:** massa média, em gramas, do sistema radicular.
- **Massa seca total (parte aérea e raízes):** Após pesagem da massa fresca, as partes das plantas foram acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa de

circulação de ar forçada a 65°C até a obtenção de peso constante, para a estimativa da massa média da matéria seca.

- **Porcentagem de água:** Realizou-se a pesagem das massas fresca e seca da parte aérea e radicular, e pela diferença entre essas massas foi calculada a porcentagem de água retida nas duas partes das plantas.
- **Área foliar total (cm²):** Medida de todas as folhas por planta, utilizando-se o medidor portátil de área foliar ADC-AM100 (Figura 2).

Figura 2- Medição da área foliar do algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo, através do medidor portátil ADC-AM100.



Fonte: da própria autora.

Ao final do ciclo foram avaliados os componentes para produção:

- **Produtividade de algodão em caroço:** Colheita das linhas centrais de forma manual, pesagem e estimativa para produtividade em kg ha⁻¹.
- **Massa de 20 capulhos (g):** Colhidos aleatoriamente no terço médio das plantas e, posteriormente, pesados com auxílio de balança digital, no momento da colheita.
- **Número de capulhos por planta:** contagem dos capulhos (Figura 3) das mesmas plantas selecionadas para avaliação de altura antes da colheita, no momento da colheita.

Figura 3- Visão parcial do experimento evidenciando os capulhos dez dias antes da colheita. Selvíria-MS, ano agrícola 2017/18.



Fonte: da própria autora.

5.3.2 Teor Nutricional

A análise foliar do algodoeiro foi realizada através de coleta de 20 folhas de cada parcela experimental (limbo da 5ª folha da haste principal, do ápice para a base), aos 80 DAE, de acordo com as recomendações de Silva (1999), no sentido de verificar o efeito dos tratamentos estudados na concentração de nutrientes. Após a coleta, as folhas foram submetidas à secagem em estufa, temperatura de 65°C, com circulação e renovação de ar, moídas, encaminhadas ao laboratório de análise foliar e submetidas à digestão sulfúrica (para determinação de nitrogênio) e nítrico-perclórica para a determinação de fósforo (P) e enxofre (S) por colorimetria, potássio (K) por fotometria de chama, cálcio (Ca) e magnésio (Mg) por Espectrofotometria de absorção atômica, seguindo a metodologia relatada por Bataglia *et al.*, (1983).

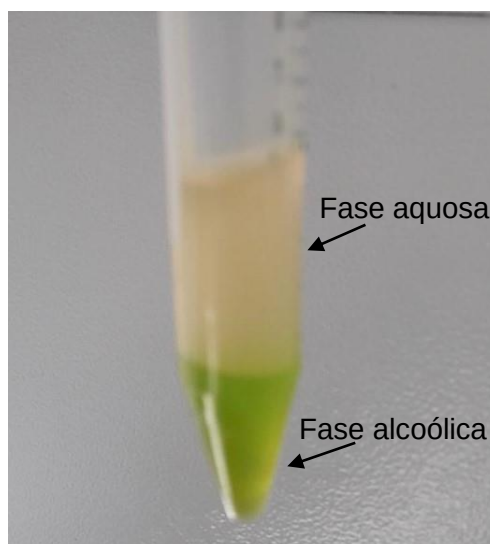
5.4 Análises bioquímicas

Para todas as análises fisiológicas e bioquímicas foram utilizadas somente folhas adultas, completamente expandidas, do ápice da planta (2ª a 4ª folha) sem sinais de senescência, de cinco plantas por parcela, coletadas aos 95 DAE, macerado em N líquido, envolto em folhas de alumínio e armazenados no freezer a -80°C, até serem processadas para a quantificação de compostos nitrogenados, açúcar solúvel, sacarose, aminoácidos, prolina, clorofilas, proteína e enzimas antioxidantes. A descrição das análises bioquímicas será realizada nos tópicos 5.4.1 à 5.4.6.

5.4.1 Extração de compostos nitrogenados e açúcares

Os compostos nitrogenados foram extraídos de acordo com o método descrito por Bielecki e Turner (1966). Para 1 grama de material vegetal congelado acrescentaram-se 10 mL da solução MCW (60% metanol, 25% clorofórmio e 15% de H₂O). Em seguida, deixou-se na geladeira em tubo Falcon 15 mL vedado por 48 horas. Feito isso, retiraram-se 4 mL do sobrenadante, adicionou-se 1 mL de clorofórmio e 1,5 mL de água deionizada. Os tubos voltaram para a geladeira, vedados, por 24h e, assim, deu-se a separação das fases alcóolica e aquosa (Figura 4). Somente a fase hidrossolúvel (aquosa) foi utilizada para a análise dos compostos nitrogenados (nitrato, amônia, aminoácidos, sacarose e açúcares solúveis totais).

Figura 4- Extração de compostos nitrogenados e açúcares evidenciando o processo de separação de fases.



Fonte: Própria autora.

5.4.2 Análise quantitativa de nitrato

Utilizou-se o método de Cataldo *et al.* (1975) para quantificar as variações na concentração de nitrato presente nas folhas do algodoeiro. Do sobrenadante (fase aquosa), retirou-se uma alíquota de 0,1 mL e adicionou-se 0,4 mL de ácido salicílico 5% em H_2SO_4 (p/v). Após 20 minutos em temperatura ambiente, acrescentaram-se 9,5 mL de NaOH 2M, lentamente, e após resfriamento, em temperatura ambiente, foi realizada a leitura em espectrofotômetro a 410 nm. A concentração de nitrato foi avaliada utilizando-se curva padrão de solução de nitrato.

5.4.3 Análise quantitativa de amônia

Foi realizada de acordo com o método proposto por McCullough (1967). Do sobrenadante, retirou-se uma alíquota de 0,1 mL, adicionou-se 0,5 mL de solução fenol (2,5 g fenol + 12,5 mg nitroprusiato de sódio em volume final de 250 mL) + 0,5 mL de solução fosfato (1,25 g NaOH + 13,4 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ + 2,5 mL NaOCl 5% em volume final de 250 mL). O ensaio foi incubado em banho-maria por uma hora a 37°C e, em seguida, foi realizada a leitura em espectrofotômetro a 630 nm. A concentração de amônia foi avaliada utilizando-se curva padrão de solução sulfato de amônia.

5.4.4 Análise quantitativa de aminoácidos

Utilizou-se o método de Yemm e Cocking (1955) para quantificar as variações na concentração de aminoácidos solúveis totais presente nas folhas do algodoeiro. Do sobrenadante (fase aquosa), retirou-se uma alíquota de 0,3 mL e adicionou-se 500 uL de citrato de sódio 0,2 M, 200 uL de solução ninhidrina 5% em éter monometílico de etilenoglicol e 1 mL de solução KCN 0,0002M. O ensaio foi aquecido a 100°C por 20 minutos e após resfriado por 10 minutos em água corrente. Acrescentou-se 1 mL de álcool etílico 60%, seguindo-se a leitura em espectrofotômetro a 570 nm. A concentração de aminoácidos solúveis totais foi avaliada utilizando-se curva padrão de solução metionina.

5.4.5 Análise quantitativa de sacarose

Para quantificar sacarose foi utilizado o método de Van Handel (1968). Utilizaram-se 50 µL de sobrenadante + 500 µL de KOH a 30% e 2 mL de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄). A mistura foi homogeneizada por vórtice e aquecido em banho-maria a 100 °C, por 10 min. Após o resfriamento em temperatura ambiente, as amostras foram lidas em espectrofotômetro a um comprimento de onda de 490 nm. A concentração foi determinada utilizando-se curva padrão de solução sacarose.

5.4.6 Análise quantitativa de açúcares solúveis totais

O método utilizado para a dosagem de açúcares solúveis totais foi conforme Dubois *et al.* (1956), com algumas modificações. O método fenol-sulfúrico baseia-se na determinação de açúcares simples, polissacarídeos e seus derivados após a desidratação dos mesmos pelo ácido sulfúrico e subsequente complexação dos produtos formados com o fenol. Utilizou-se 50 µL de amostra do sobrenadante + 500 µL de fenol 5% em H₂O + 2 mL de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄) colocado diretamente sobre as mesmas, seguido de homogeneização. Como a reação é exotérmica, resfriou em temperatura ambiente por 20 minutos. Em seguida foram realizadas as leituras a um comprimento de onda de 490nm. A concentração dos açúcares foi determinada utilizando-se curva padrão de solução sacarose.

5.5 Extração e determinação da prolina

Utilizou-se o método proposto por Bates, Waldren e Teare (1973), com algumas modificações. Macerou-se 0,5 g do material vegetal congelado em 10 mL de ácido sulfosalicílico a 3%. Em seguida, as amostras foram transferidas para tubos falcon e centrifugadas a 10.000 rpm por 10 minutos. Após a centrifugação, coletou-se 1 mL do sobrenadante que foram inseridos em tubos de ensaio, e adicionou-se 1 mL de ninidrina ácida e 1 mL de ácido acético glacial. Os tubos ficaram por 1 hora em banho-maria a 100°C. Após isso, os tubos foram resfriados em banho de gelo. As amostras foram lidas em espectrofotômetro a um comprimento de onda de 520 nm. As absorbâncias obtidas foram comparadas com a curva padrão de prolina.

5.6 Determinação de pigmentos fotossintéticos e índice SPAD

A extração para a leitura direta dos pigmentos fotossintéticos foi realizada pelo método proposto por Arnon (1949). Utilizaram-se 500 mg do material vegetal macerado congelado com a adição de 5 mL de acetona 80% (v/v), armazenado durante 24h em geladeira. Foi quantificado o teor de clorofila a, clorofila b, clorofila total, carotenoides e feofitinas.

Foram realizadas leituras com medidor portátil modelo SPAD-502, desenvolvido pela Minolta (1989), aos 80 DAE (Figura 5). As medidas foram feitas no período da manhã, somente na 5ª folha do ramo principal do ápice para a base, três vezes por folha, obtendo-se uma média. O SPAD fornece leituras que se correlacionam com o teor de clorofila presente na folha. Os valores são calculados pela leitura diferencial da quantidade de luz transmitida pela folha em duas regiões de comprimento de onda (650 e 940 nm), sendo que a absorção de luz pela clorofila ocorre no primeiro comprimento de onda (SWIADER; MOORE, 2002).

Figura 5- Medição do índice SPAD no algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo. Selvíria-MS, 2017/18.



Fonte: da própria autora.

5.7 Extração de proteínas e enzimas antioxidantes

Do material vegetal congelado retiraram-se 300 mg, o qual foi transferido para tubos falcon de 15 mL, onde foi adicionado 5 mL de tampão fosfato de potássio 100 mM, pH 6,8, contendo 1 mM de ácido etileno diaminotetracético (EDTA), 3 mM de ditioneitol (DTT), e polivinilpolipirrolidona (PVPP) 4% (p/v), utilizando metodologia adaptada de Gomes Junior et al. (2007). O material foi homogeneizado em mixer e em seguida foi centrifugado à 9.000 rpm por 20 minutos à 4°C. O sobrenadante foi transferido para eppendorfs, e posteriormente utilizado nas análises descritas nos itens 5.7.1 à 5.7.4.

5.7.1 Determinação de proteínas

A concentração das proteínas solúveis totais foi determinada segundo o método de Bradford (1976), utilizando-se o BSA ("bovine serum albumin") como padrão. Foram pipetados em tubos de ensaio 500 µL da alíquota e 5 mL do reagente Bradford, que havia sido preparado previamente. A leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 595 nm e os resultados expressos em mg proteína g⁻¹ MF.

5.7.2 Superóxido dismutase (SOD, EC 1.15.1.1)

A atividade da SOD foi determinada de acordo com Giannopolitis e Ries (1977). O sistema de reação foi constituído de 50 uL de extrato enzimático, 2000 uL de solução tampão fosfato de sódio pH 7,8 + 250 uL de NBT (nitroblue tetrazolium) + 200 uL de EDTA + 250 uL de metionina e 250 uL de riboflavina. As amostras foram acondicionadas na caixa, tampada e livre de qualquer luz exterior, e mantidas sob a iluminação da caixa por 20 minutos. Concomitantemente, a mesma solução foi mantida no escuro em tubos de ensaio encapados com papel alumínio, consistindo no branco de cada amostra. Posteriormente, as amostras foram homogeneizadas através de agitação em vortex. A determinação foi realizada em espectrofotômetro a ($\lambda = 560$ nm) e os resultados expressos em U SOD mg proteína⁻¹.

5.7.3 Atividade da enzima Catalase (CAT, EC 1.11.1.6)

A atividade da CAT foi determinada monitorando-se a degradação de H_2O_2 , conforme Kar e Mishra (1976). O sistema de reação foi constituído por 1950 μL de tampão fosfato de potássio [0,1M] pH 7,5 (determinação), 150 μL de tampão de extração fosfato de potássio 100 mM (pH 6,8), 750 μL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2). A reação foi iniciada ao acrescentar 150 μL de extrato enzimático e a atividade determinada seguindo-se decomposição de H_2O_2 por 2 minutos, através das alterações ocorridas na absorbância ($\lambda = 240 \text{ nm}$). Os resultados foram expressos em μmol de H_2O_2 decomposto $\text{min}^{-1} \text{ mg}$ de proteína $^{-1}$.

5.7.4 Atividade da enzima Peroxidase (POD, EC 1.11.1.7)

A atividade da POD foi determinada segundo Lima (1994). Em uma alíquota de 1 mL do extrato proteico, foram adicionados 0,5 mL de tampão fosfato de potássio 0,2 M (pH 6,7), 0,5 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2 a 30%) e 0,5 mL de solução fenol e aminoantipirina (AAP). Os tubos foram levados ao banho-maria a 30°C, durante 5 minutos. Após a incubação, adicionaram-se 2 mL de álcool etílico para cessar a reação, e após resfriamento a temperatura ambiente, as amostras foram agitadas no vórtex e lidas em espectrofotômetro ($\lambda = 505 \text{ nm}$). A atividade total da enzima foi expressa em μmol de H_2O_2 decomposto $\text{min}^{-1} \text{ mg}$ de proteína $^{-1}$.

5.8 Trocas gasosas

As avaliações das trocas gasosas foram realizadas aos 90 DAE. Para tanto utilizou-se um analisador de gás infravermelho IRGA (ADC BioScientific Ltd, modelo LC-Pro), onde foram mensuradas as taxas de fotossíntese líquida ($A - \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração ($E - \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática ($g_s - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 na câmara subestomática ($C_i - \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$).

De posse destes dados foram quantificados a eficiência intrínseca do uso da água ($E_i\text{UA} = A / g_s$), eficiência do uso da água ($E\text{UA} = A/E$), eficiência instantânea de carboxilação ($E_i\text{C} = A/C_i$) e a razão entre concentrações de CO_2 intra e extracelular (C_i/C_a). As condições iniciais impostas para realização das medidas foram de 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), providas por lâmpadas LED; 380 ppm de CO_2 e temperatura da câmara em 28 °C. As medidas de trocas gasosas

foram realizadas no período da manhã compreendido entre as 8:00 e 12:00 h, tomando-se a 2ª ou 3ª folha adulta, completamente expandida, do ápice do ramo.

5.9 Avaliação dos caracteres anatômicos do limbo foliar

Foram tomadas as porções do terço médio do limbo foliar, compreendendo a região internervural, fixando-as em FAA 70 (formaldeído + ácido acético glacial + álcool 70%), durante 48 h, e posteriormente foram conservadas em álcool 70% (JOHANSEN, 1940). As amostras do material foliar foram desidratadas em série etílica ascendente e em seguida incluídas em hidroxietil-metacrilato (Leica Historesin).

Realizaram-se cortes transversais com espessuras de 8 a 10 µm utilizando micrótomo rotatório, sendo os cortes submetidos à coloração com Azul de Toluidina 0,05% em tampão fosfato e ácido cítrico pH entre 4,5-6,0 (SAKAI, 1973) e, em seguida, foram montados em resina sintética "Entellan". As fotomicrografias foram feitas no microscópio trinocular Zeiss Primo Star com câmera acoplada modelo AxioCam ERc5s, com as escalas micrométricas fotografadas e ampliadas nas mesmas condições ópticas a serem utilizadas. As imagens obtidas foram analisadas com o auxílio do Image J, que permite a mensuração da espessura da epiderme nas faces abaxial e adaxial, do parênquima paliçádico e parênquima lacunoso e a espessura total da folha. Também foi utilizada a técnica de impressão de epiderme adaxial e abaxial, para contagem do número de estômatos, que consiste em colocar uma gota de adesivo instantâneo universal (éster de cianoacrilato) sobre uma lâmina de vidro onde o folíolo é pressionado por aproximadamente 10 segundos, tempo suficiente para o adesivo se espalhar e secar, permitindo assim a retirada da folha, que deixa impressa sua epiderme no adesivo seco (SEGATTO *et al.*, 2004). As lâminas foram fotografadas para contagem dos estômatos.

5.10 Análise dos dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância através do teste F e as médias comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando a metodologia descrita por Gomes (2000). Para as doses de N com efeito significativo, foram aplicados os modelos de regressão que melhor se ajustaram aos dados. O software estatístico utilizado foi o SISVAR 5.1 (FERREIRA, 2000).

5.11 Resultados e discussão

5.11.1 Altura de plantas

Verificou-se em todas as datas avaliativas, dias após a emergência (DAE) (Tabela 3), que as plantas irrigadas cresceram mais que as de sequeiro, em média 4,5% mais altas. Essa diferença de altura entre os sistemas de cultivo é decorrente da menor disponibilidade hídrica nas plantas de sequeiro, que provoca redução da turgência celular, reduzindo o crescimento por alongamento (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Quanto às fontes, não houve diferença em nenhum DAE, mas as doses de N influenciaram em todas as avaliações, aumentando linearmente à altura das plantas, sendo que na dose mais concentrada (150 kg ha^{-1}) a altura foi em média 15,3% superior em comparação as plantas testemunhas (Figura 6).

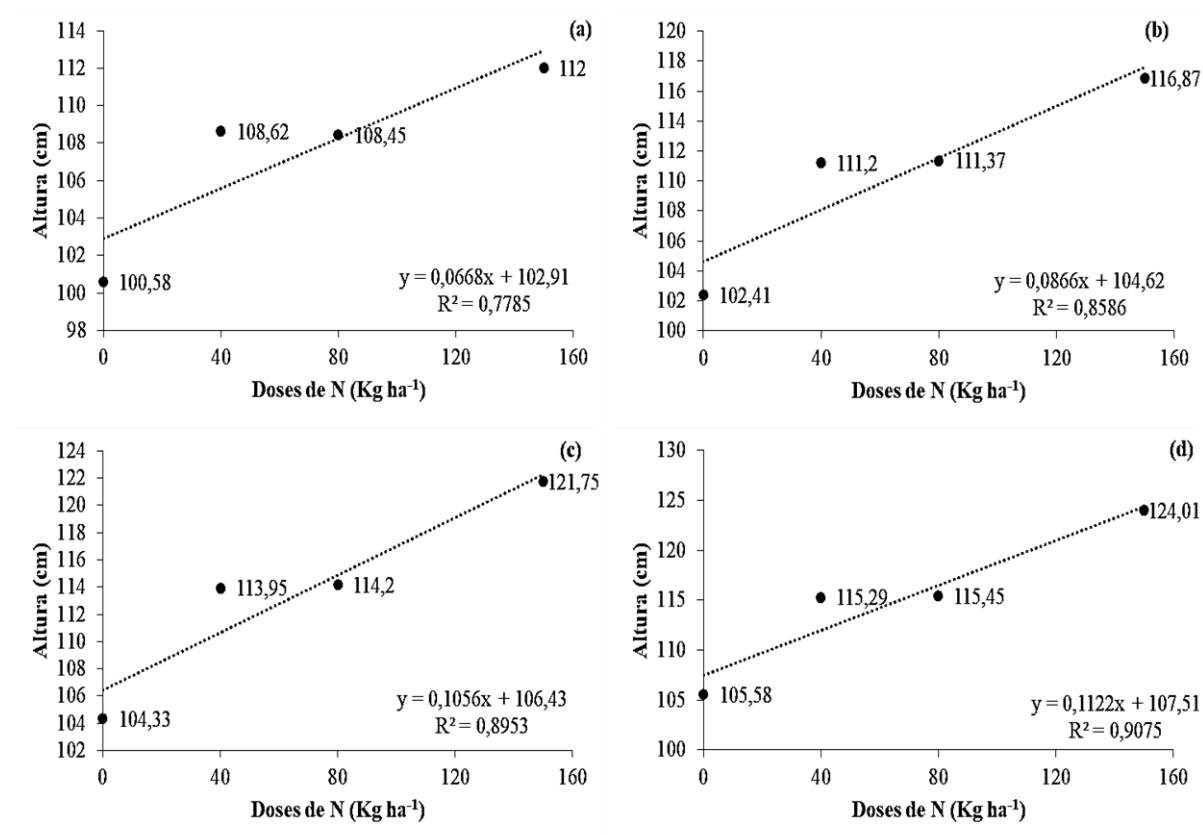
Tabela 3- Altura (cm) de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), dias após a emergência (DAE). Selviria- MS, 2017/18.

Tratamentos	60 DAE	80 DAE	100 DAE	120 DAE
Sistemas de cultivo (S)	0,001**	0,013**	0,028*	0,011**
Fontes de N (F)	0,749 ^{ns}	0,680 ^{ns}	0,931 ^{ns}	0,991 ^{ns}
Doses de N (D)	0,001**	0,001**	0,001**	0,001**
S x F	0,305 ^{ns}	0,727 ^{ns}	0,982 ^{ns}	0,854 ^{ns}
S x D	0,208 ^{ns}	0,286 ^{ns}	0,410 ^{ns}	0,280 ^{ns}
F x D	0,466 ^{ns}	0,767 ^{ns}	0,444 ^{ns}	0,422 ^{ns}
S x F x D	0,830 ^{ns}	0,800 ^{ns}	0,741 ^{ns}	0,651 ^{ns}
C.V (%)	5,42	6,13	5,84	5,76
Média geral	107,41	110,46	113,56	115,09
Sistemas de cultivo				
Sequeiro	104,56 b	107,89 b	111,35 b	112,52 b
Irigado	110,27 a	113,04 a	115,77 a	117,66 a
Fontes de N				
Ureia	107,68	110,87	113,64	115,10
Nitrato de amônio	107,14	110,06	113,47	115,08
Doses de N (Kg ha^{-1})				
0	100,58	102,41	104,33	105,58
40	108,62	111,20	113,95	115,29
80	108,45	111,37	114,20	115,45
150	112,00	116,87	121,75	124,01
p>F (linear)	0,001**	0,001**	0,001**	0,001**
p>F (quadrático)	0,096 ^{ns}	0,206 ^{ns}	0,275 ^{ns}	0,378 ^{ns}
R ² (linear)	77,82%	85,84%	89,51%	90,80%
R ² (quadrático)	89,64%	91,78%	92,47%	92,51%

Nota: Significativo pelo teste F * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, ns = não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

Figura 6- Regressão linear das médias de altura (cm) do algodoeiro herbáceo em função das doses de N aos 60 (a), 80 (b), 100 (c) e 120 (d) DAE. Selviria- MS, 2017/18.



Fonte: Própria autora.

Segundo Raij (2011) e Souza (2006), o N é o elemento mineral que as plantas exigem em maior quantidade. Ele faz parte da composição de todos os aminoácidos e proteínas, estando presente também na molécula de clorofila e em outros pigmentos. O seu fornecimento em quantidades adequadas estimula o crescimento das plantas (CARVALHO *et al.*, 2011).

Rosa *et al.* (2012) ao trabalharem com N na cultura do algodoeiro em LATOSSOLO VERMELHO distrófico, observaram que as maiores alturas ocorreram quando aplicou-se doses de N entre 100 e 300 kg ha⁻¹. Ainda conforme Pettigrew e Zeng (2014), ao avaliarem o comportamento de cultivares de algodoeiro submetido a níveis de irrigação e adubação nitrogenada, constataram respostas significativas para o crescimento das plantas com dependência da disponibilidade de ambos os tratamentos para obtenção dos melhores resultados.

Estes relatos corroboram com os dados do presente estudo (Figura 6), visto que na dose de 150 kg ha⁻¹, a média de altura de todas as plantas aumentaram,

incluindo do sequeiro. Todavia, a irrigação provavelmente contribuiu para aumentar ainda mais a eficiência de assimilação de N, por isso estas cresceram mais.

Vale salientar que com base nos resultados apresentados, todos os tratamentos apresentaram altura ideal para o bom desempenho das colheitadeiras no final do ciclo produtivo, que segundo a Embrapa (2003), deve variar entre 1,0 a 1,30m.

5.11.2 Diâmetro caulinar, número médio de ramos vegetativos e reprodutivos

De acordo com os dados apresentados na Tabela 4, verificou-se que em todos os (DAE) as plantas irrigadas apresentaram o diâmetro do caule mais robusto que as plantas de sequeiro, em média 5,66% mais espesso, indicando que em casos com menor disponibilidade de água, o crescimento secundário do caule diminui, reduzindo o diâmetro. As fontes e as doses de N não influenciaram este parâmetro.

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

Santos *et al.* (2016) ao estudarem a morfofisiologia do algodoeiro irrigado com águas salinas e adubação com N constataram que as doses de N também não influenciaram a espessura do diâmetro caulinar. Também Ferrari (2009) avaliando o diâmetro caulinar no momento da colheita do algodoeiro, não verificou diferença significativa ao utilizar as doses do fertilizante nitrogenado.

Quanto ao número de ramos vegetativos e reprodutivos, o cultivo irrigado proporcionou às plantas aproximadamente 1 ramo vegetativo e 2 ramos reprodutivos a mais. As doses e as fontes de N não influenciaram.

Segundo Rosolem (2001), o algodoeiro possui dois tipos de ramos (vegetativos e reprodutivos). Em cada nó se desenvolve um ramo reprodutivo e não é desejável o desenvolvimento de muitos ramos vegetativos. Os primeiros 4 a 5 nós da haste principal são vegetativos e suas folhas tem duração curta.

Monteiro (2005) relatou que compreender o crescimento e o desenvolvimento do algodoeiro possibilita a implementação de estratégias de manejo para alto rendimento. O crescimento dessa espécie é muito dinâmico, variando em função do ambiente (solo e clima) e do manejo.

Tabela 4- Diâmetro do caule (mm), número de ramos vegetativos e reprodutivos de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), dias após a emergência (DAE). Selviria- MS, 2017/18.

Tratamentos	Diâmetro do caule				Nº de ramos	
	60 DAE	80 DAE	100 DAE	120 DAE	120 DAE Vegetativos	120 DAE Reprodutivos
Sistemas de cultivo (S)	0,041*	0,010**	0,035*	0,023*	0,001**	0,001**
Fontes de N (F)	0,504 ^{ns}	0,435 ^{ns}	0,721 ^{ns}	0,769 ^{ns}	0,866 ^{ns}	0,551 ^{ns}
Doses de N (D)	0,440 ^{ns}	0,317 ^{ns}	0,796 ^{ns}	0,148 ^{ns}	0,233 ^{ns}	0,414 ^{ns}
S x F	0,361 ^{ns}	0,195 ^{ns}	0,112 ^{ns}	0,129 ^{ns}	0,244 ^{ns}	0,184 ^{ns}
S x D	0,324 ^{ns}	0,176 ^{ns}	0,914 ^{ns}	0,720 ^{ns}	0,218 ^{ns}	0,568 ^{ns}
F x D	0,284 ^{ns}	0,353 ^{ns}	0,507 ^{ns}	0,390 ^{ns}	0,846 ^{ns}	0,188 ^{ns}
S x F x D	0,650 ^{ns}	0,570 ^{ns}	0,642 ^{ns}	0,317 ^{ns}	0,242 ^{ns}	0,855 ^{ns}
C.V (%)	9,63	8,79	8,09	7,67	19,86	2,11
Média geral	15,17	16,35	17,42	18,14	2,44	23,70
Sistemas de cultivo						
Sequeiro	14,72 b	15,78 b	16,97 b	17,66 b	1,97 b	22,60 b
Irrigado	15,62 a	16,92 a	17,87 a	18,62 a	2,90 a	24,80 a
Fontes de N						
Ureia	15,31	16,52	17,49	18,20	2,45	23,66
Nitrato de amônio	15,02	16,19	17,35	18,08	2,42	23,74
Doses de N (Kg ha⁻¹)						
0	15,40	16,61	17,74	17,87	2,37	24,41
40	14,69	16,01	17,43	18,73	2,39	25,40
80	14,99	15,92	17,33	18,45	2,30	26,00
150	15,59	16,86	17,18	17,50	2,69	27,82
p>F (linear)	0,532 ^{ns}	0,544 ^{ns}	0,350 ^{ns}	0,299 ^{ns}	0,117 ^{ns}	0,163 ^{ns}
p>F(quadrático)	0,172 ^{ns}	0,079 ^{ns}	0,754 ^{ns}	0,051 ^{ns}	0,230 ^{ns}	0,353 ^{ns}
R ² (linear)	14,41%	10,24%	88,10%	19,43%	57,63%	69,40%
R ² (quadrático)	85,10%	99,98%	97,93%	92,80%	90,91%	99,58%

Nota: Significativo pelo teste F *p≤ 0,05, **p≤ 0,01, ns = não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

5.11.3 Massa de 20 capulhos, capulhos por planta e produtividade

As fontes e doses de N não influenciaram nenhum dos componentes da produtividade do algodoeiro herbáceo, porém o cultivo irrigado proporcionou para as plantas aumento dos valores produtivos, sendo para a massa de 20 capulhos (9,85%), número de capulhos por planta (41,66%) e produtividade do algodão em caroço (41,72%), superior às plantas de sequeiro (Tabela 5).

Este resultado corrobora com os dados apresentados na Tabela 4, onde as plantas irrigadas apresentaram maior número de ramos reprodutivos.

Wen *et al.* (2013) relataram que independente das fontes de N utilizadas o que proporcionou melhor rendimento de produtividade foi o cultivo irrigado. Segundo

Bezerra *et al.* (2010) o estágio mais sensível ao déficit hídrico é o reprodutivo, durante a floração e formação das maçãs, no qual o déficit ou excesso hídrico pode provocar maior queda das estruturas reprodutivas (shedding) e reduzir a produtividade da cultura. A deficiência hídrica pode reduzir o diâmetro do caule, a altura das plantas e, conseqüentemente, a produtividade (CORDÃO SOBRINHO *et al.*, 2007). Quando o nível de água é inferior à necessidade hídrica da planta, há diminuição da produtividade devido ao estresse fisiológico (UNLÜ *et al.*, 2011).

Tabela 5- Massa de 20 capulhos (g), número de capulhos por planta (unidade) e produtividade de algodão em caroço (kg ha⁻¹) de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses, fontes de N e sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado). Selviria- MS, 2017/18.

Tratamentos	Massa de 20 capulhos (g)	Capulhos/planta (n°)	Produtividade (Kg ha ⁻¹)
Sistemas de cultivo (S)	0,001**	0,001**	0,001**
Fontes de N (F)	0,436 ^{ns}	0,081 ^{ns}	0,081 ^{ns}
Doses de N (D)	0,838 ^{ns}	0,999 ^{ns}	0,999 ^{ns}
S x F	0,602 ^{ns}	0,839 ^{ns}	0,839 ^{ns}
S x D	0,393 ^{ns}	0,166 ^{ns}	0,167 ^{ns}
F x D	0,936 ^{ns}	0,294 ^{ns}	0,294 ^{ns}
S x F x D	0,082 ^{ns}	0,100 ^{ns}	0,100 ^{ns}
C.V (%)	8,68	17,43	17,44
Média geral	104,26	10,26	2720
Sistemas de cultivo			
Sequeiro	98,85 b	7,56 b	2.003 b
Irrigado	109,66 a	12,96 a	3.437 a
Fontes de N			
Ureia	103,23	10,73	2.843
Nitrato de amônio	105,29	9,79	2.596
Doses de N (Kg ha⁻¹)			
0	103,04	10,26	2.719
40	105,10	10,27	2.721
80	105,77	10,32	2.737
150	103,13	10,19	2.702
p>F (linear)	0,959 ^{ns}	0,937 ^{ns}	0,937 ^{ns}
p>F (quadrático)	0,366 ^{ns}	0,892 ^{ns}	0,892 ^{ns}
R ² (linear)	0,31%	19,96%	19,94%
R ² (quadrático)	99,95%	80,08%	79,74%

Nota: Significativo pelo teste F *p≤ 0,05, **p≤ 0,01, ns = não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

5.11.4 Área Foliar, massa fresca e seca da parte aérea e sistema radicular

Houve diferença apenas para os sistemas de cultivo, sem influência das doses e fontes (Tabela 6). As doses e as fontes de N não influenciaram.

Tabela 6- Área foliar total (AFT), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa fresca do sistema radicular (MFR) e massa seca do sistema radicular (MSR) em plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), aos 120 DAE. Selviria- MS, 2017/18.

Tratamentos	AFT (mm ²)	MFPA(g).....	MSPA	MFR	MSR
Sistemas de cultivo (S)	0,001**	0,001**	0,014*	0,001**	0,029*
Fontes de N (F)	0,594 ^{ns}	0,587 ^{ns}	0,695 ^{ns}	0,458 ^{ns}	0,078 ^{ns}
Doses de N (D)	0,462 ^{ns}	0,434 ^{ns}	0,461 ^{ns}	0,784 ^{ns}	0,944 ^{ns}
S x F	0,694 ^{ns}	0,736 ^{ns}	0,635 ^{ns}	0,319 ^{ns}	0,788 ^{ns}
S x D	0,480 ^{ns}	0,457 ^{ns}	0,617 ^{ns}	0,883 ^{ns}	0,695 ^{ns}
F x D	0,651 ^{ns}	0,647 ^{ns}	0,311 ^{ns}	0,787 ^{ns}	0,571 ^{ns}
S x F x D	0,790 ^{ns}	0,840 ^{ns}	0,969 ^{ns}	0,932 ^{ns}	0,844 ^{ns}
C.V (%)	6,70	5,84	5,54	4,45	4,40
Média geral	2512,01	239,55	150,65	130,99	57,43
Sistemas de cultivo					
Sequeiro	1779,08 b	217,68 b	147,53 b	115,66 b	58,27 a
Irrigado	3244,94 a	261,42 a	153,77 a	146,31 a	56,60 b
Fontes de N					
Ureia	2525,06	240,66	151,13	130,35	58,10
Nitrato de amônio	2498,96	238,44	150,17	131,62	56,77
Doses de N (kg ha⁻¹)					
0	2512,12	238,85	151,23	129,84	57,73
40	2462,29	235,77	147,93	131,18	57,55
80	2501,28	238,56	150,08	130,67	57,30
150	2572,34	245,03	153,36	132,25	57,15
p>F (linear)	0,258 ^{ns}	0,196 ^{ns}	0,354 ^{ns}	0,363 ^{ns}	0,556 ^{ns}
p>F(quadrático)	0,310 ^{ns}	0,340 ^{ns}	0,256 ^{ns}	0,983 ^{ns}	0,903 ^{ns}
R ² (linear)	50,33%	62,11%	33,54%	79,40%	94,64%
R ² (quadrático)	90,66%	95,51%	84,26%	79,44%	98,69%

Nota: Significativo pelo teste F *p≤ 0,05, **p≤ 0,01, ns = não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

A área foliar total (AFT) e a massa fresca da parte aérea (MFPA) das plantas irrigadas foi maior em 45% e 16,73% que nas plantas de sequeiro, respectivamente.

Tal redução observada na área foliar total (AFT) das plantas de sequeiro do presente experimento corrobora com os relatos de Taiz e Zeiger (2013) que descreveram que a deficiência hídrica gera a desidratação do protoplasto e induz a abscisão foliar, diminuindo a superfície foliar das plantas, reduzindo a área foliar, resultando na diminuição da matéria fresca. Baldo *et al.* (2009), ao estudarem plantas

de algodoeiro em condições de déficit hídrico, observaram que os menores valores de massa fresca da parte aérea ocorreram quando houve restrição hídrica, indicando que quando submetidas à essa condição ocorrem modificações intensas nas plantas que se refletem negativamente no crescimento e no desenvolvimento vegetal.

Quanto a massa seca da parte aérea (MSPA), as plantas irrigadas apresentaram aproximadamente 3,65% maior média de produção de matéria seca que as de sequeiro. Segundo Anjum *et al.* (2011), um efeito comum em plantas cultivadas em estresse hídrico é a diminuição tanto da produção da biomassa fresca quanto da biomassa seca.

Em relação a massa fresca das raízes (MFR), as plantas irrigadas obtiveram a média de 20,94% maior que as de sequeiro. Este resultado pode estar relacionado com a importância da umidade do solo no desenvolvimento radicular. Conforme Lopes *et al.* (2011), o déficit hídrico na zona radicular, mesmo que mínimo, provoca redução no desenvolvimento e consequentemente diminuição do peso da massa fresca desse órgão, evidenciando a importância da eficiência do uso da água para a otimização desse recurso.

Para a massa seca das raízes (MSR) houve diferença percentual no peso, porém as plantas de sequeiro apresentaram 2,86% maior média que as irrigadas. Este resultado corrobora com Ercher *et al.* (2014) que ao estudarem genótipos de algodoeiro em condições de déficit hídrico, observaram maiores massas secas de raízes na condição de restrição hídrica. Plantas com essa habilidade permanecem crescendo por conseguirem manter os tecidos mais hidratados que o meio circundante, seja por ajustamento osmótico ou por manterem os estômatos fechados por mais tempo e transpirarem menos.

Segundo Kramer e Boyer (1995), é relativamente comum que raízes de plantas sob déficit hídrico moderado, cresçam relativamente em maior extensão que as raízes de plantas hidratadas, pois o maior crescimento radicular pode permitir a absorção de água em horizontes mais profundos do solo, enquanto a inibição do crescimento da parte aérea, juntamente com o fechamento estomático, pode restringir a transpiração, podendo dessa forma proteger a planta contra a desidratação excessiva.

5.11.5 Teor de água disponível na parte aérea e radicular

O percentual (%) de água retida na parte aérea (H₂O PA) e nas raízes (H₂O R) foi maior nas plantas irrigadas em 21,70% e 16,52%, respectivamente. Porém a relação entre (MSR/MSPA) foi maior nas plantas de sequeiro (6,56% superior que nas irrigadas). As fontes e as doses de N não influenciaram (Tabela 7).

Tabela 7- Porcentagem (%) de água retida na parte aérea (H₂O PA) e nas raízes (H₂O R), relação massa seca da raiz e massa seca da parte aérea (MSR/MSPA) em plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), aos 120 DAE. Selviria- MS, 2017/18.

Tratamentos	H ₂ O PA (%)	H ₂ O R (%)	MSR/MSPA (g)
Sistemas de cultivo (S)	0,001**	0,001**	0,003**
Fontes de N (F)	0,924 ^{ns}	0,440 ^{ns}	0,471 ^{ns}
Doses de N (D)	0,194 ^{ns}	0,574 ^{ns}	0,543 ^{ns}
S x F	0,419 ^{ns}	0,694 ^{ns}	0,621 ^{ns}
S x D	0,815 ^{ns}	0,577 ^{ns}	0,663 ^{ns}
F x D	0,260 ^{ns}	0,499 ^{ns}	0,554 ^{ns}
S x F x D	0,298 ^{ns}	0,311 ^{ns}	0,948 ^{ns}
C.V (%)	4,52	8,28	7,54
Média geral	36,64	56,17	0,383
Sistemas de cultivo			
Sequeiro	32,18 b	51,11 b	0,396 a
Irrigado	41,10 a	61,23 a	0,370 b
Fontes de N			
Ureia	36,62	55,64	0,386
Nitrato de amônio	36,66	56,69	0,380
Doses de N (kg ha⁻¹)			
0	35,77	54,72	0,382
40	37,18	57,19	0,392
80	36,67	56,83	0,383
150	36,84	55,93	0,375
p>F (linear)	0,204 ^{ns}	0,698 ^{ns}	0,335 ^{ns}
p>F (quadrático)	0,245 ^{ns}	0,222 ^{ns}	0,416 ^{ns}
R ² (linear)	33,71%	7,60%	43,98%
R ² (quadrático)	61,78%	84,88%	75,16%

Nota: Significativo pelo teste F *p≤ 0,05, **p≤ 0,01, ns = não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

A relação entre a (MSR/MSPA) ter sido maior nas plantas de sequeiro pode estar relacionado a um mecanismo de tolerância ao estresse hídrico, pois, ocorre priorização do crescimento das raízes, proporcionando maior capacidade de absorver água e nutrientes (CORREIA; NOGUEIRA, 2004).

Tal resultado do presente experimento corrobora com Rosolem (2001) que relatou essa habilidade do algodoeiro que ao ser submetido à seca, a relação entre a

raiz e a parte aérea aumenta, havendo mais crescimento radicular do que da parte aérea. Segundo Pace *et al.* (1999), geralmente o estresse hídrico causa um aumento na relação raiz/parte aérea, ou seja, o crescimento da parte aérea da planta é mais afetado que o crescimento radicular, como forma de reduzir a superfície transpirante e, conseqüentemente, diminuir as perdas de água.

Vale lembrar que no presente experimento, em relação às características agrônômicas, constatou-se que no cultivo de sequeiro as plantas apresentaram redução da altura (Tabela 3), do diâmetro e do número de ramos reprodutivos (Tabela 4), da área foliar, massa fresca e seca da parte aérea e sistema radicular (Tabela 6) e menor quantidade de água retida na parte aérea e nas raízes (Tabela 7), indicando que no nível fisiológico este sistema de cultivo desencadeou nas plantas um comportamento que condiz quando há déficit hídrico moderado, pois estes mecanismos adotados são um meio de tolerar o estresse hídrico.

5.11.6 Macronutrientes foliar e índice SPAD

Na Tabela 8 estão apresentados os teores médios de macronutrientes e o Índice SPAD obtidos da análise foliar do algodoeiro herbáceo, aos 80 DAE.

Para o teor de N, houve significância entre os sistemas de cultivo x doses de N, e conforme o desdobramento dessa interação (Tabela 9), apenas as plantas testemunhas de sequeiro e irrigado apresentaram diferença entre as médias, com valor superior nas plantas irrigadas.

Analisando as médias isoladas do teor de N, nas plantas de sequeiro houve um ajuste linear, sendo que na dose maior (150 kg ha^{-1}) as plantas obtiveram 22,18% maior incorporação de N em suas folhas que as plantas testemunhas (Figura 7). As médias isoladas das plantas irrigadas não se ajustaram a nenhuma equação, mas é notável que na maior dose houve um aumento considerável de N, de aproximadamente 6,9% em relação as testemunhas.

Tabela 8- Teores de macronutrientes foliar (g kg^{-1}) e índice SPAD de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), aos 80 DAE. Selviria- MS, 2017/18.

Tratamentos	N	SPAD	P	K	Ca	Mg	S
Sistemas de cultivo (S)	0,171 ^{ns}	0,001**	0,593 ^{ns}	0,297 ^{ns}	0,051 ^{ns}	0,036*	0,027*
Fontes de N (F)	0,386 ^{ns}	0,181 ^{ns}	0,128 ^{ns}	0,687 ^{ns}	0,440 ^{ns}	0,687 ^{ns}	0,566 ^{ns}
Doses de N (D)	0,001**	0,006**	0,810 ^{ns}	0,101 ^{ns}	0,004**	0,281 ^{ns}	0,001**
S x F	0,395 ^{ns}	0,773 ^{ns}	0,831 ^{ns}	0,965 ^{ns}	0,051 ^{ns}	0,543 ^{ns}	0,793 ^{ns}
S x D	0,026*	0,588 ^{ns}	0,994 ^{ns}	0,376 ^{ns}	0,651 ^{ns}	0,457 ^{ns}	0,658 ^{ns}
F x D	0,214 ^{ns}	0,847 ^{ns}	0,918 ^{ns}	0,107 ^{ns}	0,657 ^{ns}	0,022*	0,908 ^{ns}
S x F x D	0,542 ^{ns}	0,426 ^{ns}	0,982 ^{ns}	0,433 ^{ns}	0,246 ^{ns}	0,221 ^{ns}	0,456 ^{ns}
C.V (%)	7,15	7,07	19,84	13,21	9,64	12,89	12,66
Média Geral	50,69	54,85	5,41	15,09	15,45	8,02	10,23
Sistemas de cultivo							
Sequeiro	49,46	52,77 b	5,50	14,79	15,89	8,35 b	9,80 b
Irrigado	50,91	56,94 a	5,33	15,40	15,01	7,70 a	10,67 a
Fontes de N							
Ureia	50,64	55,62	5,66	14,97	15,28	8,08	10,34
Nitrato de amônio	49,73	54,09	5,17	15,21	15,62	7,96	10,13
Doses de N							
(kg ha^{-1})							
0	47,12	51,82	5,42	15,56	16,88	7,92	12,08
40	49,32	54,31	5,39	16,05	15,00	8,37	10,42
80	51,08	55,52	5,64	14,58	15,31	8,21	9,89
150	53,22	57,77	5,21	14,17	14,61	7,59	8,55
p>F (linear)	0,001*	0,001**	0,693 ^{ns}	0,035*	0,003**	0,277 ^{ns}	0,001**
p>F (quadrático)	0,540 ^{ns}	0,566 ^{ns}	0,486 ^{ns}	0,790 ^{ns}	0,124 ^{ns}	0,118 ^{ns}	0,241 ^{ns}
R ² (linear)	97,95%	96,99%	16,57%	71,56%	65,94%	30,62%	94,87%
R ² (quadrático)	100,00%	99,29%	68,32%	72,63%	81,45%	95,41%	98,01%

Nota: Significativo pelo teste F * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, ns = não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

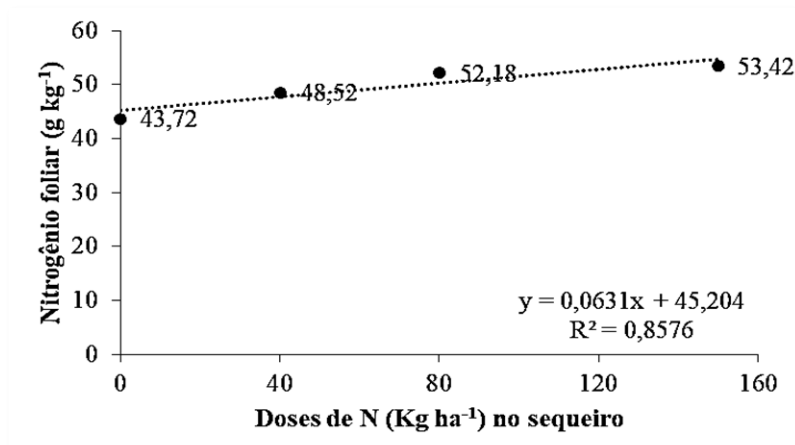
Tabela 9- Desdobramento da interação sistemas de cultivo x doses de N referentes ao teor de N foliar do algodoeiro herbáceo, aos 80 DAE. Selvíria-MS, 2017/2018.

Doses de N (Kg ha^{-1})	Sistemas de cultivo	
	Sequeiro	Irrigado
0	43,72 b	50,51 a
40	48,52	50,13
80	52,18	49,98
150	53,42	54,03
p>F (linear)	0,001**	0,202 ^{ns}
p>F (quadrático)	0,063 ^{ns}	0,299 ^{ns}
r ² (linear)	85,75%	59,43%
r ² (quadrático)	99,86%	98,38%

Nota: Médias seguidas por letras distintas, minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Significativo pelo teste F * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, ns = não significativo.

Fonte: Própria autora.

Figura 7- Regressão linear do teor de N foliar do algodoeiro herbáceo em função das doses de N no cultivo de sequeiro, aos 80 DAE. Selviria- MS, 2017/18.



Fonte: Própria autora.

Segundo Foloni *et al.* (2006), dentre os elementos essenciais, o N é o que a planta do algodoeiro mais absorve durante o seu ciclo. Porém, o simples fato de aplicar N ao solo não significa que o mesmo estará disponível para ser absorvido pela planta, promovendo boas produtividades. A dinâmica do N no solo é bastante complexa o que o torna, quando mal manejado, um dos fatores mais limitantes para a cultura. A aplicação na forma de ureia na superfície do solo, sem incorporação, pode provocar perdas significativas do N por volatilização (DUARTE *et al.*, 2007).

Quanto ao índice SPAD, os sistemas de cultivo e as doses de N diferiram significativamente, sendo que as plantas irrigadas apresentaram maior valor e as doses de N tenderam a aumentar as médias em ambos sistemas de cultivo (Figura 8).

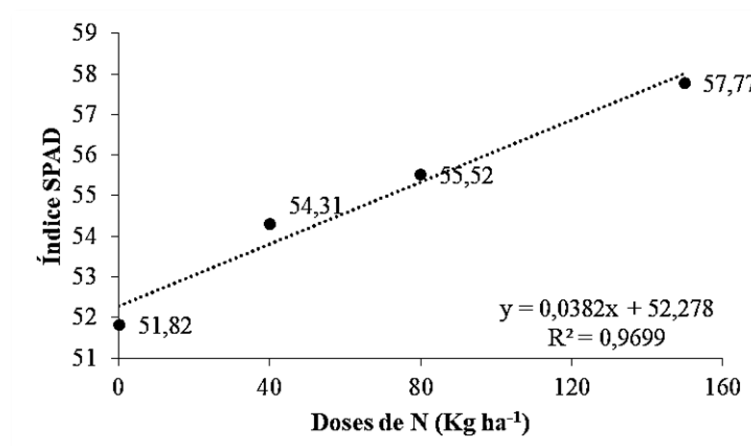
Segundo Barbosa Filho *et al.* (2009) e Godoy *et al.* (2007), o índice SPAD mede a intensidade da cor verde da folha permitindo estimar a quantidade de clorofila.

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

Vale salientar que o teor de N foliar também aumentou em função das doses de N, e as plantas irrigadas apresentaram numericamente maior teor desse macronutriente (Tabela 8). Tal resultado corrobora com Neves *et al.* (2005) que

constatou que o medidor portátil SPAD-502 tem sido utilizado com sucesso para diagnosticar o estado de N em algodão.

Figura 8- Regressão linear do índice SPAD do algodoeiro herbáceo em função das doses de N no cultivo de sequeiro, aos 80 DAE. Selviria- MS, 2017/18.



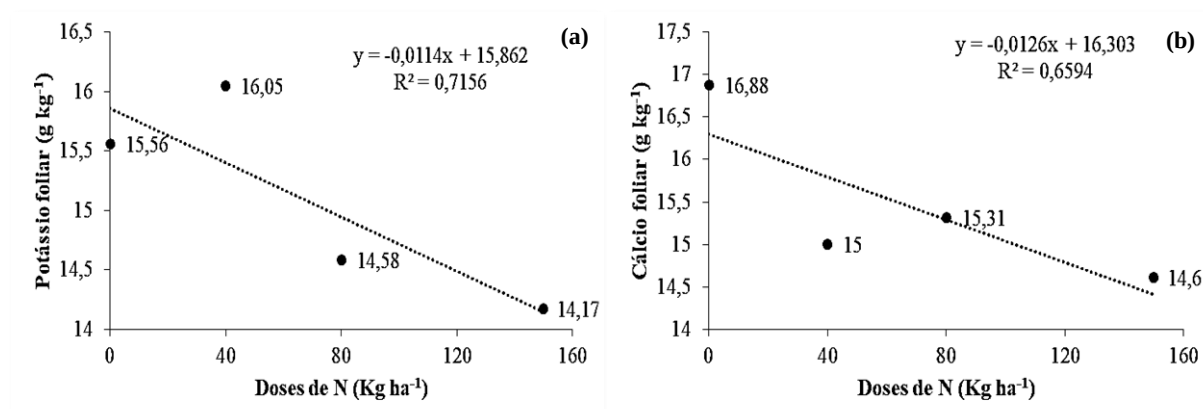
Fonte: Própria autora.

Os teores de fósforo (P) e potássio (K) não foram influenciados pelos tratamentos, porém as doses de N tiveram um ajuste linear significativo para o potássio (K) diminuindo o teor em função das doses crescentes (Figura 9 a). Para o cálcio foliar (Ca) somente as doses influenciaram, tendo tido um ajuste linear das médias, com maior valor nas plantas testemunhas decrescendo com o aumento das doses de N, tendo tido maior redução na dose mais concentrada de (150 kg ha⁻¹) de 13,44% em relação às testemunhas (Figura 9 b).

Tal fato pode ser explicado pois com o acréscimo das doses de N aplicado na superfície do solo, ocorrem perdas do nitrato para as camadas mais profundas por lixiviação, sendo o Ca requerido também nesse processo (HELYAR, 1991).

Ou seja, os resultados do presente experimento sugerem que pode ter havido perda de nitrato para as camadas mais profundas do solo, o que pode ter ocasionado a diminuição da concentração de Ca na camada mais superficial e consequente diminuição da quantidade absorvida pela planta.

Figura 9- Regressão linear do teor foliar de potássio (K) e Cálcio (Ca) do algodoeiro herbáceo em função das doses de N, aos 80 DAE. Selvíria- MS, 2017/18.



Fonte: Própria autora.

O teor de magnésio (Mg) foi menor nas plantas irrigadas em 7,78%. Também houve interação significativa para o Mg entre as fontes x doses de N, e conforme o desdobramento dessa interação (Tabela 10), obteve-se diferença das médias na dose de 80 kg ha⁻¹ de ureia e na dose 150 kg ha⁻¹ do nitrato de amônio, com aumento do teor de Mg nas folhas em 14,25% e 17,66%. Para as médias isoladas da ureia houve um ajuste quadrático das médias obtidas e, de acordo com o desdobramento da equação, na dose calculada de (59,15 kg ha⁻¹) obteve-se o ponto de máximo de absorção (8,82 kg ha⁻¹) de Mg, 10,25% maior teor que as plantas testemunhas (Figura 10). Quanto ao nitrato de amônio, as médias isoladas não tiveram ajuste significativo.

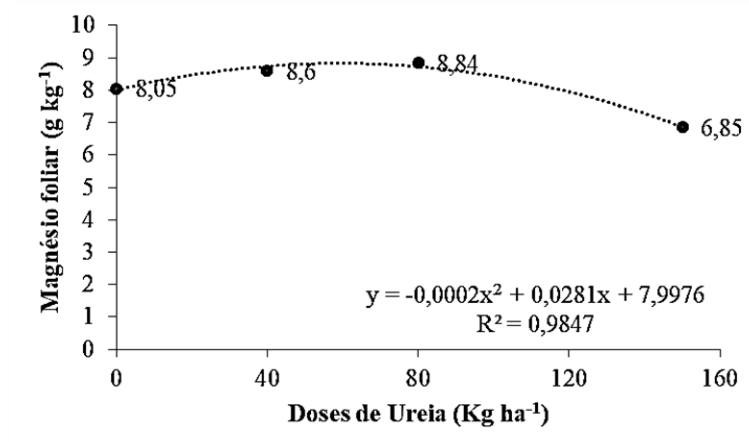
Tabela 10- Desdobramento da interação fontes x doses de N referentes ao teor de magnésio (Mg) do algodoeiro, aos 80 DAE. Selvíria-MS, 2017/2018.

Doses de N (Kg ha ⁻¹)	Fontes de N	
	Ureia	Nitrato de amônio
0	8,05	7,80
40	8,60	8,15
80	8,84 a	7,58 b
150	6,85 b	8,32 a
p>F (linear)	0,034**	0,513
p>F (quadrático)	0,008**	0,582
r ² (linear)	37,59%	23,44%
r ² (quadrático)	98,45%	40,04%

Nota: Médias seguidas por letras distintas, minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Significativo pelo teste F *p≤ 0,05, **p≤ 0,01, ns = não significativo.

Fonte: Própria autora.

Figura 10- Regressão quadrático do teor de magnésio (Mg) foliar do algodoeiro herbáceo em função das doses de ureia, aos 80 DAE. Selviria- MS, 2017/18.

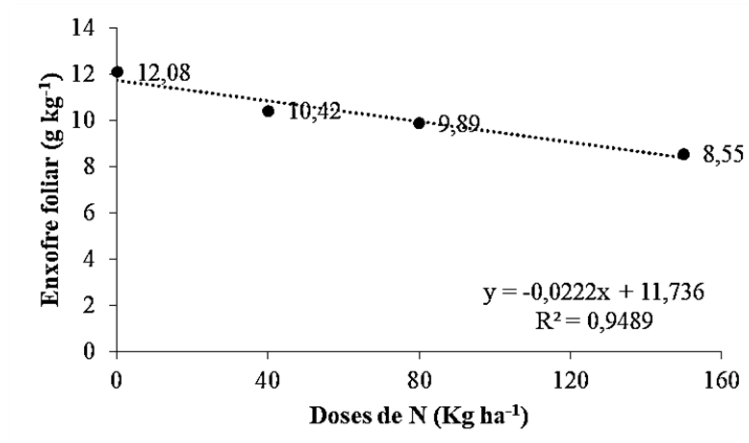


Fonte: Própria autora.

Para os teores de enxofre foliar (S) foi possível constatar que as plantas irrigadas apresentaram maior teor que as de sequeiro, de 8,15% (Tabela 8). Provavelmente o S foi translocado para a parte aérea, devido a esse nutriente ter alta mobilidade na planta (MARSCHNER, 1986). Não houve diferença entre as fontes de N utilizadas, porém as doses crescentes influenciaram, reduzindo os teores, sendo que na dose mais concentrada (150 kg ha⁻¹) as plantas apresentaram 29,22% menor teor quando comparadas às plantas testemunhas (Figura 11).

O S é essencial para uma eficiente utilização de N pelas plantas por ser constituinte de aminoácidos e essencial para a síntese de gorduras e, na sua ausência, as raízes se tornam mais fibrosas, compridas, mas com poucas radículas (CARNEIRO, 1995).

Figura 11- Regressão linear do teor de enxofre (S) foliar do algodoeiro herbáceo em função das doses de ureia, aos 80 DAE. Selviria- MS, 2017/18.



Fonte: Própria autora.

5.11.7 Pigmentos fotossintéticos

Os teores de clorofila (a, b, total) e carotenóides diferiram apenas entre os sistemas de cultivo (Tabela 11), onde as plantas irrigadas apresentaram aumento desses pigmentos incorporados em suas folhas. A concentração de feofitinas não foi influenciada por nenhum dos tratamentos.

Tabela 11- Teores de pigmentos fotossintéticos: clorofila a (Cl a), clorofila b (Cl b), clorofila total (Cl T), carotenóides (Carot) e feofitinas (Feo) extraídos da massa fresca foliar ($\mu\text{g mL}^{-1}$ de solução) de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), aos 95 DAE. Selviria- MS, 2017/18.

Tratamentos	Cl a	Cl b	Cl T	Carot	Feo
Sistemas de cultivo (S)	0,0173*	0,001**	0,004*	0,031*	0,067 ^{ns}
Fontes de N (F)	0,903 ^{ns}	0,916 ^{ns}	0,895 ^{ns}	0,963 ^{ns}	0,439 ^{ns}
Doses de N (D)	0,326 ^{ns}	0,455 ^{ns}	0,315 ^{ns}	0,246 ^{ns}	0,138 ^{ns}
S x F	0,773 ^{ns}	0,425 ^{ns}	0,910 ^{ns}	0,421 ^{ns}	0,756 ^{ns}
S x D	0,732 ^{ns}	0,830 ^{ns}	0,892 ^{ns}	0,651 ^{ns}	0,655 ^{ns}
F x D	0,732 ^{ns}	0,999 ^{ns}	0,914 ^{ns}	0,879 ^{ns}	0,363 ^{ns}
S x F x D	0,648 ^{ns}	0,628 ^{ns}	0,605 ^{ns}	0,510 ^{ns}	0,487 ^{ns}
C.V (%)	24,47	23,63	24,77	24,00	24,55
Média geral	5,13	2,58	7,71	5,22	14,42
Sistemas de cultivo					
Sequeiro	4,03 b	1,72 b	5,75 b	4,25 b	12,24
Irigado	6,23 a	3,73 a	9,66 a	6,19 a	16,61
Fontes de N					
Ureia	5,07	2,55	7,62	4,25	15,32
Nitrato de amônio	5,18	2,60	7,79	6,19	13,52
Doses de N (Kg ha^{-1})					
0	3,73	1,92	5,65	3,73	10,30
40	5,35	2,65	8,01	5,28	15,71
80	5,87	2,84	8,71	5,87	17,90
150	5,56	2,90	8,44	5,99	13,76
p>F (linear)	0,180 ^{ns}	0,181 ^{ns}	0,155 ^{ns}	0,084 ^{ns}	0,371 ^{ns}
p>F (quadrático)	0,205 ^{ns}	0,393 ^{ns}	0,228 ^{ns}	0,295 ^{ns}	0,051 ^{ns}
R ² (linear)	52,36%	69,73%	57,60%	73,24%	13,90%
R ² (quadrático)	99,00%	97,69%	98,60%	99,18%	99,99%

Nota: Significativo pelo teste F * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, ns = não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

Os pigmentos da fotossíntese são importantes, pois estão envolvidos na absorção de energia luminosa para posterior conversão dessa energia em ATP. A clorofila a é a principal responsável pela coloração verde das plantas e pela realização da fotossíntese. Dessa forma, o aumento do teor da clorofila a possibilita o aumento da taxa fotossintética (MEYER, 1974).

Segundo Raven (1983), a clorofila *b* é um pigmento que ajuda a ampliar a faixa de absorção de luz que pode ser usada na fotossíntese. Essa clorofila é auxiliar da clorofila *a*, transferindo a energia captada para as moléculas que realizarão a fotossíntese. A clorofila total é a soma do teor da clorofila *a* e da clorofila *b*. Quando a planta apresenta alto teor de clorofila é capaz de atingir taxas fotossintéticas mais altas, pelo seu valor potencial de captação de “quanta” na unidade de tempo (CHAPPELLE; KIM, 1992).

Assim como ocorre para clorofila *a*, a degradação da clorofila *b* é uma das consequências da deficiência hídrica, que pode levar à foto-inibição e diminuição da eficiência fotossintética, além de afetar outros processos celulares como a divisão e expansão celular (LONG *et al.*, 1994). Portanto, é esperado que cultivares que mantenham maiores teores desses pigmentos sob deficiência hídrica, têm melhor capacidade de tolerar essa condição, devido à estreita relação entre clorofilas, potencial fotossintético e produtividade (O’NEILL *et al.*, 2006).

Ou seja, os resultados apresentados na Tabela 11 para os teores de pigmentos fotossintéticos estão alinhados com os dados de produtividade (Tabela 5) visto que as plantas irrigadas apresentaram maior produtividade de algodão em caroço (kg ha⁻¹), e as fontes e as doses de N também não tiveram influência nessa característica.

Conforme Taiz e Zeiger (2013), os carotenóides absorvem radiação visível na faixa de (400 – 700 nm) agindo como um filtro à radiação ultravioleta (200 - 400 nm), reduzindo os eventuais danos celulares decorrentes da incidência de luz em demasia, bem como exercendo função fotoprotetora por meio da rápida extinção dos estados excitados da clorofila, protegendo, assim, as células da fotooxidação. Segundo Fiaz *et al.* (2014), a deficiência hídrica inibe a conversão dos respectivos precursores em pigmentos fotossintéticos (clorofilas e carotenóides). Hinckley *et al.* (1981) relataram que o estresse hídrico aumenta o conteúdo de feofitinas nas folhas, nos casos em que se verifica a degradação de clorofila. Pelo fato dos teores de clorofilas e carotenóides terem diminuído nas plantas de sequeiro confirma de fato que esse sistema de cultivo comprometeu a biossíntese desses pigmentos. Porém, como a concentração de feofitinas não diferiu entre os sistemas de cultivo, indica que o ambiente de sequeiro apesar de estar em déficit hídrico comprovado (Tabela 6), evidenciou que o estresse foi moderado nas plantas, evidenciando que apesar da menor disponibilidade hídrica, não ocorreu a degradação das moléculas de clorofila, visto que nestas plantas não houve acúmulo no teor das feofitinas.

5.11.8 Trocas gasosas

Em relação aos dados apresentados na Tabela 12, aos 90 DAE constatou-se que as plantas irrigadas apresentaram a taxa de fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), transpiração (E) e concentração interna de CO₂ (Ci) superior as plantas de sequeiro. As fontes não influenciaram nenhum dos parâmetros, e as doses de N só foram significativas para a fotossíntese (A), aumentando linearmente (Figura 12).

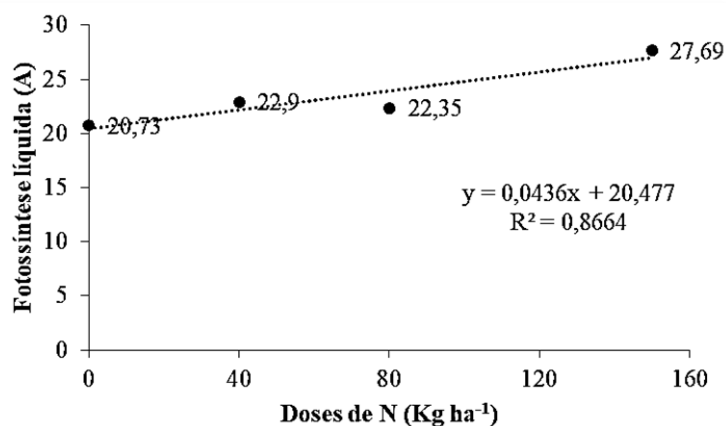
Tabela 12- Taxa de fotossíntese líquida (A- $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (gs- $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E- $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a concentração interna de CO₂ (Ci- $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), aos 90 DAE. Selviria-MS, 2017/18.

Tratamentos	A	Gs	E	Ci
Sistemas de cultivo (S)	0,001**	0,001**	0,001**	0,001**
Fontes de N (F)	0,308 ^{ns}	0,609 ^{ns}	0,185 ^{ns}	0,244 ^{ns}
Doses de N (D)	0,046*	0,312 ^{ns}	0,818 ^{ns}	0,622 ^{ns}
S x F	0,773 ^{ns}	0,907 ^{ns}	0,965 ^{ns}	0,476 ^{ns}
S x D	0,461 ^{ns}	0,123 ^{ns}	0,581 ^{ns}	0,852 ^{ns}
F x D	0,860 ^{ns}	0,747 ^{ns}	0,895 ^{ns}	0,480 ^{ns}
S x F x D	0,359 ^{ns}	0,531 ^{ns}	0,300 ^{ns}	0,937 ^{ns}
C.V (%)	25,62	12,96	14,82	14,47
Média geral	23,41	0,66	2,93	388,83
Sistemas de cultivo				
Sequeiro	16,76 b	0,36 b	2,39 b	272,75 b
Irigado	30,07 a	0,96 a	3,47 a	404,91 a
Fontes de N				
Ureia	24,31	0,67	3,02	330,43
Nitrato de Amônio	22,52	0,66	2,85	347,22
Doses de N (Kg ha⁻¹)				
0	20,73	0,65	2,94	352,25
40	22,90	0,65	2,92	343,20
80	22,35	0,65	2,85	329,37
150	27,69	0,71	3,02	330,50
p>F (linear)	0,009**	0,132 ^{ns}	0,659 ^{ns}	0,252 ^{ns}
p>F(quadrático)	0,496 ^{ns}	0,295 ^{ns}	0,442 ^{ns}	0,567 ^{ns}
R ² (linear)	86,64%	69,59%	21,43%	76,34%
R ² (quadrático)	91,95%	95,12%	86,88%	95,04%

Nota: Significativo pelo teste F *p≤ 0,05, **p≤ 0,01, ns = não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

Figura 12- Regressão linear da fotossíntese líquida (a) do algodoeiro herbáceo em função das doses de N, aos 90 DAE. Selviria- MS, 2017/18.



Fonte: Própria autora.

Segundo Galmés *et al.* (2013), a enzima RuBisCO, responsável pela fixação do CO₂ em plantas, tem sua atividade carboxilase afetada em condições de estresse, devido o aumento da concentração de inibidores, redução da regeneração de Ribulose 1,5 bisfosfato (RuBP), alteração do pH do estroma, entre outros fatores, afetando as reações do ciclo de Calvin e diminuindo a assimilação líquida de CO₂ nas plantas.

Ou seja, com base nos resultados apresentados referentes a fotossíntese (A) do presente experimento, estima-se que as plantas de sequeiro estavam em uma condição estressante, uma vez que reduziram a assimilação de CO₂, possivelmente tiveram a atividade da enzima Rubisco afetada negativamente.

O fato das doses de N terem aumentado a fotossíntese nas plantas condiz com os dados dos teores foliares de N e do índice SPAD (Tabela 8), onde as plantas irrigadas apresentaram maior teor deste macronutriente em suas folhas e aumentou o índice de clorofila, em função das doses.

Este resultado corrobora com Evans (1989), que constatou que quase sempre existe uma forte associação entre a taxa fotossintética e a concentração de N foliar, independentemente se a relação for expressa com base na área ou na matéria seca. O aumento na disponibilidade de N normalmente traz como consequência efeitos positivos sobre a taxa de assimilação de carbono, já que esse nutriente faz parte dos principais componentes do sistema fotossintético, tais como clorofilas, carboxilase/oxigenase da ribulose 1,5 bisfosfato (RubisCO) e carboxilase do fosfoenolpiruvato (PEPcase) (CORREIA *et al.*, 2005).

Vale lembrar que as plantas irrigadas também apresentaram aumento dos teores dos pigmentos fotossintéticos (Tabela 11), o que já apontava que a fotossíntese seria maior nessas plantas, e de fato se confirmou. A área foliar também ter sido maior nas plantas irrigadas (Tabela 6) pode ter contribuído para que as trocas gasosas fossem mais eficientes nesse sistema de cultivo, pois muitas pesquisas levantam a importância com que a área foliar controla as respostas das plantas as concentrações de CO_2 (TISSUE *et al.*, 1997; CURTIS *et al.*, 2000), onde a maioria dos dados apresenta um aumento da área foliar decorrente do enriquecimento de plantas com CO_2 (AINSWORTH *et al.*, 2002; JIFON; WOLFE, 2002).

Na Tabela 13 encontram-se os dados referentes à eficiência intrínseca do uso da água (EiUA), eficiência do uso da água (EUA), eficiência instantânea de carboxilação (EICi) e a razão entre concentrações de CO_2 intra/extracelular (Ci/Ca).

Para a eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) só houve significância entre os sistemas de cultivo, sendo que a eficiência foi superior nas plantas de sequeiro, aproximadamente 65,87% maior que as plantas irrigadas.

Estes resultados corroboram com Álvarez *et al.* (2011) que demonstraram que a relação (A/gs) aumenta progressivamente em plantas estressadas, indicando o predomínio do controle estomático sobre a fotossíntese. Ressalta-se que quanto menor a disponibilidade de água, menor também será o grau de abertura estomática para reduzir a perda de H_2O e, conseqüentemente, a EiUA é maior mantendo o mínimo de equilíbrio hídrico (KERBAUY, 2008).

Quanto a eficiência do uso da água (EUA), os tratamentos não influenciaram indicando que as plantas de sequeiro se equivaleram às plantas irrigadas nesses parâmetros. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de ter havido redução proporcional da fotossíntese (A), condutância estomática (gs) e transpiração (E) nas plantas de sequeiro (Tabela 12), fazendo com que estas utilizassem a água disponível no ambiente da melhor forma possível. Notou-se um ajuste linear das médias da EUA, que aumentou linearmente em função das doses de N (Figura 13).

Segundo Larcher (2000), a razão entre a taxa fotossintética e a taxa de transpiração resulta na eficiência do uso da água (EUA), que é mais um parâmetro fisiológico que expressa quantitativamente o comportamento momentâneo das trocas gasosas na folha e que varia entre e dentro das espécies vegetais.

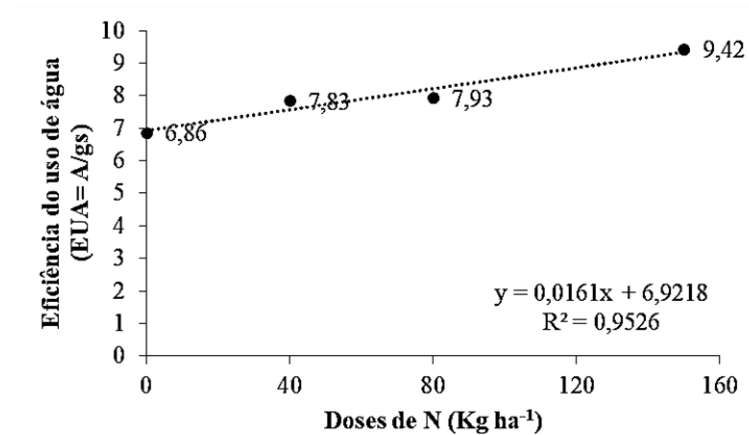
Tabela 13- Eficiência intrínseca do uso da água, (EiUA= A / gs), eficiência do uso da água (EUA= A/E), eficiência instantânea de carboxilação (EICi= A/Ci) e a razão entre as concentrações de CO₂ intra/extracelular (Ci/Ca) em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), aos 90 DAE. Selviria-MS, 2017/18.

Tratamentos	EiUA	EUA	EiCi	Ci/Ca
Sistemas de cultivo (S)	0,001**	0,093 ^{ns}	0,064 ^{ns}	0,001**
Fontes de N (F)	0,796 ^{ns}	0,638 ^{ns}	0,135 ^{ns}	0,235 ^{ns}
Doses de N (D)	0,602 ^{ns}	0,134 ^{ns}	0,042*	0,628 ^{ns}
S x F	0,673 ^{ns}	0,601 ^{ns}	0,899 ^{ns}	0,479 ^{ns}
S x D	0,353 ^{ns}	0,786 ^{ns}	0,637 ^{ns}	0,840 ^{ns}
F x D	0,328 ^{ns}	0,873 ^{ns}	0,579 ^{ns}	0,496 ^{ns}
S x F x D	0,177 ^{ns}	0,184 ^{ns}	0,392 ^{ns}	0,939 ^{ns}
C.V (%)	17,44	32,21	32,23	14,47
Média geral	40,91	8,01	0,070	0,890
Sistemas de cultivo				
Sequeiro	50,73 a	7,36	0,063	0,71 b
Irrigado	31,09 b	8,65	0,076	1,06 a
Fontes de N				
Ureia	40,30	8,19	0,075	0,86
Nitrato de Amônio	41,53	7,83	0,065	0,91
Doses de N (Kg ha⁻¹)				
0	36,64	6,86	0,057	0,925
40	45,79	7,83	0,066	0,902
80	41,07	7,93	0,070	0,865
150	40,17	9,42	0,085	0,968
p>F (linear)	0,858 ^{ns}	0,023*	0,005**	0,254 ^{ns}
p>F(quadrático)	0,352 ^{ns}	0,906 ^{ns}	0,978 ^{ns}	0,583 ^{ns}
R ² (linear)	1,73%	95,26%	98,80%	76,98%
R ² (quadrático)	49,08%	95,49%	98,81%	94,54%

Nota: Significativo pelo teste F *p≤ 0,05, **p≤ 0,01, ns = não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

Figura 13- Regressão linear da eficiência do uso de água (EUA) do algodoeiro herbáceo em função das doses de N, aos 90 DAE. Selviria- MS, 2017/18.

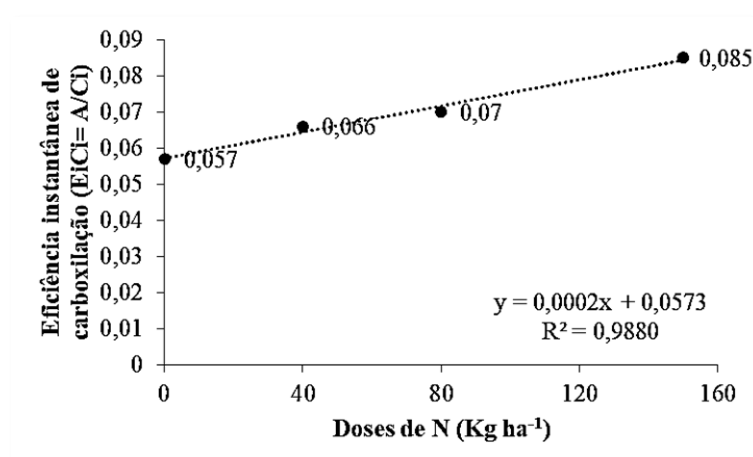


Fonte: Própria autora.

Em relação a eficiência instantânea de carboxilação (EiCi), apenas as doses de N influenciaram, aumentando linearmente os valores (Figura 14).

Segundo Machado *et al.* (2005), a EiCi possui estreita relação com a concentração interna de CO₂ (Ci) e com a taxa de assimilação de CO₂ (A). Sendo assim, pelo fato das doses de N terem aumentado a fotossíntese nas plantas (Tabela 12) refletiu aumentando também a EiCi. A EiCi relaciona-se a fatores não-estomáticos que estão interferindo na taxa fotossintética (KONRAD *et al.*, 2005).

Figura 14- Regressão linear da eficiência instantânea de carboxilação (EiCi= A/Ci) do algodoeiro herbáceo em função das doses de N, aos 90 DAE. Selviria- MS, 2017/18.



Fonte: Própria autora.

A razão (Ci/Ca) expressa a relação entre a concentração de CO₂ interno e externo (atmosférica), e no presente experimento apresentou resultados semelhantes ao CO₂ intercelular (Ci), sendo menor nas plantas de sequeiro (Tabela 18).

De acordo com Faver *et al.* (1996), a redução na atividade fotossintética pela menor assimilação do CO₂ é um dos indicadores do efeito do déficit hídrico sobre uma cultura. Possivelmente a redução da taxa de assimilação de CO₂, durante o déficit hídrico, deve-se à menor disponibilidade de CO₂ no interior da folha, causada pelo fechamento dos estômatos em resposta ao decréscimo na disponibilidade de água no solo. Outras mudanças podem ocorrer juntamente com o fechamento dos estômatos, como a alteração na síntese de clorofila, alterações funcionais e estruturais em cloroplastos e distúrbios nos processos de acumulação, transporte e distribuição de assimilados (ANJUN *et al.*, 2011).

Rosolem e Bogiani (2014) relataram que os nutrientes são transportados do solo para a planta por mecanismos tais como interceptação radicular, difusão e fluxo de

massa. Neste último, o N é transportado juntamente com a água, movimentando-se em direção às raízes em função da transpiração da planta. Desse modo, se a planta não estiver transpirando, ou houver pouca água no solo, a absorção de N será prejudicada.

Um dos principais fatores que reduzem o crescimento das plantas é a diminuição da taxa fotossintética líquida (A), como descrito por Guha *et al.* (2010), e como observado no presente experimento, as plantas de sequeiro tenderam a fechar seus estômatos (gs), conseqüentemente reduzindo a taxa de fotossíntese líquida (A) e a transpiração (E) (Tabela 12), sendo assim cresceram menos em altura (Tabela 3), sendo que a menor quantidade de água disponível nesse sistema de cultivo influenciou diretamente nos aspectos fisiológicos das plantas.

Segundo Kerbauy (2008), a água e o CO₂ são alguns dos fatores limitantes da fotossíntese ressaltando-se que a maior resistência difusiva dos estômatos reduz a fotossíntese, principalmente pela restrição da condução gasosa da folha. Sendo assim, de acordo com Bosco *et al.* (2009), o fechamento estomático e a conseqüente redução do fluxo normal de CO₂ em direção ao sítio de carboxilação constituem um dos principais responsáveis pela redução da fotossíntese sendo a água um dos fatores fundamentais responsáveis pelo processo que regula a abertura ou fechamento dos estômatos.

Jadoski *et al.* (2005) descreveram que a concentração interna de CO₂ (Ci) no mesófilo foliar é reduzida pelo fechamento estomático, com conseqüente diminuição na taxa de assimilação CO₂. Desta forma, a limitação estomática seria o fator principal da diminuição do desempenho fotossintético uma vez que, quanto maior a abertura estomática maior a difusão de CO₂ para a câmara subestomática.

Vale salientar que o comportamento estomático também determina a demanda transpirativa a que as folhas estão potencialmente sujeitas, controlando sua perda de H₂O para o ambiente, na forma de vapor de água (LIMA, 2010).

Sendo assim, tais fatos explicam os resultados apresentados no presente experimento (Tabela 12), onde nas plantas irrigadas a disponibilidade hídrica proporcionou maior abertura dos estômatos (gs) dando condições para as plantas realizarem seus processos fisiológicos sem que houvesse influência negativa, não interferindo nos demais parâmetros fotossintéticos (A, E e Ci).

5.11.9 Quantificação de compostos nitrogenados e açúcares

a) Nitrato e Amônia

Na Tabela 14, estão descritos os valores dos teores de nitrato e amônia em tecidos foliares do algodoeiro herbáceo.

Em relação ao nitrato, os teores aumentaram linearmente em função das doses de N (Figura 15 a), mas as fontes não diferiram. As plantas irrigadas apresentaram maior teor desse componente incorporado em suas folhas.

Quanto aos teores de amônia, apenas os sistemas de cultivo diferiram entre si, sendo que as plantas de sequeiro acumularam mais este composto em suas folhas que as plantas irrigadas. Embora as doses de N não tenham apresentado significância, as médias tiveram um ajuste linear considerável, diminuindo os teores (Figura 15 b).

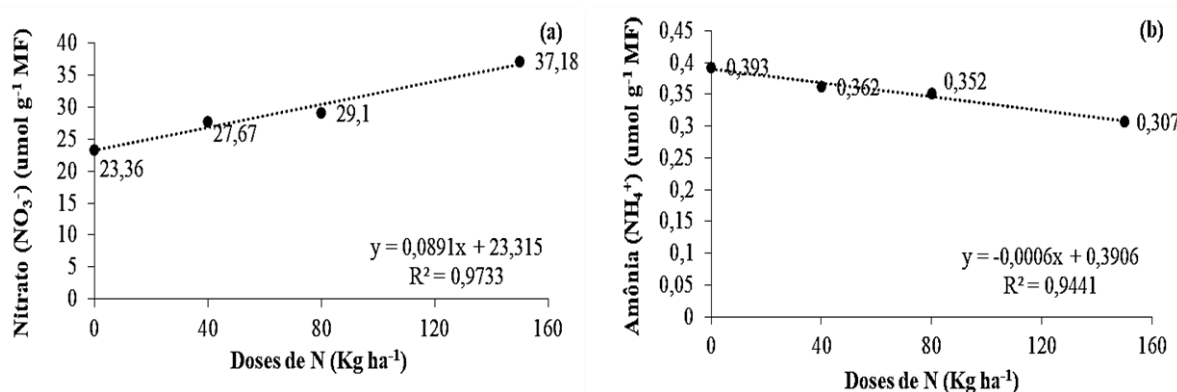
Tabela 14- Teores de nitrato (NO_3^-) ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) e amônia (NH_4^+) ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), aos 90 DAE. Selviria-MS, 2017/18.

Tratamentos	Nitrato	Amônia
Sistemas de cultivo (S)	0,001**	0,007**
Fontes de N (F)	0,400 ^{ns}	0,281 ^{ns}
Doses de N (D)	0,012**	0,178 ^{ns}
S x F	0,784 ^{ns}	0,980 ^{ns}
S x D	0,165 ^{ns}	0,617 ^{ns}
F x D	0,878 ^{ns}	0,860 ^{ns}
S x F x D	0,849 ^{ns}	0,709 ^{ns}
C.V (%)	32,98	26,48
Média geral	29,33	0,354
Sistemas de cultivo		
Sequeiro	18,42 b	0,392 a
Irrigado	40,24 a	0,315 b
Fontes de N		
Ureia	28,14	0,339
Nitrato de amônio	30,52	0,368
Doses de N (Kg ha^{-1})		
0	23,36	0,393
40	27,67	0,362
80	29,10	0,352
150	37,18	0,307
p>F (linear)	0,001**	0,034*
p>F (quadrático)	0,778 ^{ns}	0,798 ^{ns}
R ² (linear)	97,33%	94,41%
R ² (quadrático)	97,96%	95,69%

Nota: Significativo pelo teste F * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, ns = não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

Figura 15- Regressão linear dos teores de nitrato (a) (NO_3^-) ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) e amônia (b) (NH_4^+) ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) em função das doses de N. Selvíria-MS, 2017/2018.



Fonte: Própria autora.

O N é o nutriente mineral essencial mais limitante para o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo que podem adquirir N do solo na forma de nitrato (NO_3^-), amônia (NH_4^+), uréia e aminoácidos, prevalecendo o nitrato em grande parte dos solos por ser o produto final da utilização microbiológica do N amoniacal (WILLIAMS; MILLER, 2001).

De acordo com Taiz e Zeiger (2013), o nitrato é absorvido pelas raízes e pode então ser reduzido ou armazenado nos vacúolos, ou translocado para a parte aérea, onde será reduzido ou armazenado nos vacúolos foliares.

Juntamente com a intensidade luminosa, a disponibilidade de N é o fator que mais exerce influência no acúmulo de nitrato pelas plantas. Assim, níveis excessivos de N através da utilização de fertilizantes minerais, orgânicos ou na composição de soluções nutritivas, irão ocasionar acúmulo de nitrato nas plantas (PÔRTO, 2012).

Conforme Marschner (1995), o acúmulo de nitrato pelas plantas ocorre quando há excesso de absorção de N em relação à capacidade de assimilação deste nutriente, uma vez que havendo N disponível no ambiente para absorção, a planta tende a absorvê-lo além de sua demanda e estocá-lo nos vacúolos na forma de nitrato.

Ou seja, com base nos resultados do presente experimento, ficou evidente que as plantas de algodoeiro herbáceo conseguiram absorver mais as doses de N do que assimilar propriamente, ocasionando o acúmulo do nitrato em função das doses crescentes, e a irrigação facilitou o transporte, por isso se concentrou mais neste sistema de cultivo.

Segundo Smith e Cothren (1999), em plantas de algodoeiro com potenciais hídricos inferiores a -1,5 MPa, afetam negativamente a assimilação de CO₂, transporte de seiva inorgânica no xilema, fluxo de seiva orgânica no floema e respiração, enquanto aumenta a atividade de enzimas hidrolíticas.

Sendo assim, pelo fato de no presente experimento as plantas de sequeiro terem apresentado menor teor de água em suas raízes e parte aérea (Tabela 7), e também por ter havido redução na taxa de fotossíntese líquida (A) e condutância estomática (gs) (Tabela 12), de fato contribuiu para a menor distribuição do nitrato pelo xilema até as folhas dessas plantas.

O metabolismo do N é influenciado por inúmeros processos, a amônia em especial pode ser afetada de forma negativa pela falta de água e acúmulo de ácidos do solo, se acumulando nas células e podendo causar toxidez (SHARMA; DUBEY, 2005). O estresse hídrico afeta intensamente o metabolismo do N nas plantas, o que acarreta diminuição na síntese de proteínas e acumulação de aminoácidos e amônia (RABE, 1993).

b) Aminoácidos livres totais, proteínas e prolina

De acordo com os dados apresentados na Tabela 15, apenas as doses de N influenciaram os teores de aminoácidos livres totais (ALT) e da prolina (PROL) nas folhas do algodoeiro herbáceo, aumentando linearmente os teores dos ALT (Figura 16 a) e tendo um ajuste quadrático para PROL aumentando os teores, e conforme a equação obtida, na dose calculada de 59,83 Kg ha⁻¹ obteve-se o ponto intermediário de 0,125 mg g⁻¹ tecido fresco (Figura 16 b). As proteínas solúveis totais (PST) não foram influenciadas por nenhum dos tratamentos.

Este resultado para os teores de ALT corrobora com Mattson (1980) que constatou que a adubação nitrogenada altera a quantidade e qualidade do N presente na planta, aumentando os níveis de N solúvel, particularmente aminoácidos livres. Vale lembrar que as doses de N também aumentaram os teores de N foliar (Tabela 9) e nitrato (Tabela 14).

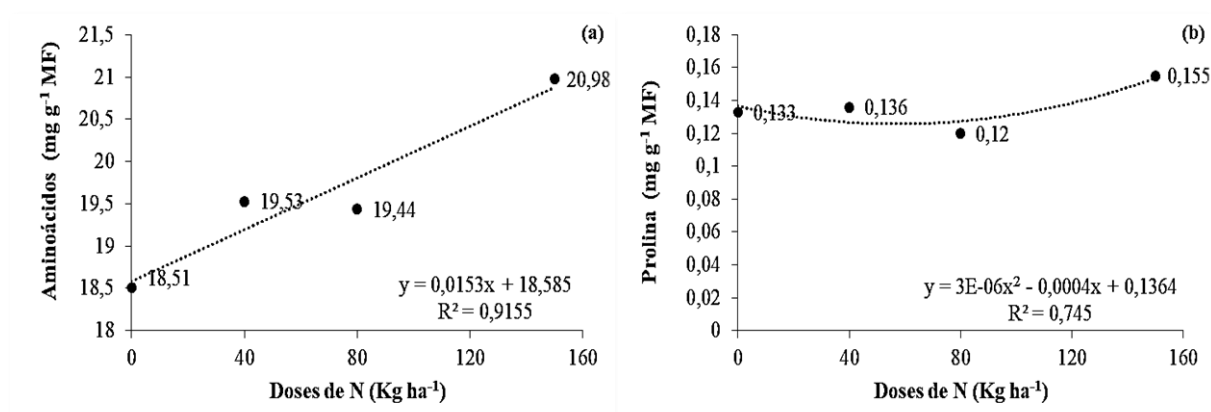
Tabela 15- Teores de aminoácidos livres totais: ALT (mg g⁻¹ MF), proteínas solúveis totais: PST (mg g⁻¹ MF) e do aminoácido prolina: PROL (mg g⁻¹ MF) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo em função de fontes, doses de N e sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), aos 90 DAE. Selvíria-MS, 2017/18.

Tratamentos	ALT	PST	PROL
Sistemas de cultivo (S)	0,052 ^{ns}	0,058 ^{ns}	0,229 ^{ns}
Fontes de N (F)	0,986 ^{ns}	0,347 ^{ns}	0,328 ^{ns}
Doses de N (D)	0,019**	0,751 ^{ns}	0,018**
S x F	0,615 ^{ns}	0,531 ^{ns}	0,953 ^{ns}
S x D	0,067 ^{ns}	0,427 ^{ns}	0,400 ^{ns}
F x D	0,307 ^{ns}	0,936 ^{ns}	0,952 ^{ns}
S x F x D	0,239 ^{ns}	0,940 ^{ns}	0,541 ^{ns}
C.V (%)	9,29	17,93	18,11
Média geral	19,61	5,35	0,136
Sistemas de cultivo			
Sequeiro	19,09	4,63	0,140
Irrigado	20,14	6,07	0,132
Fontes de N			
Ureia	19,62	5,70	0,133
Nitrato de amônio	19,61	5,00	0,141
Doses de N (Kg ha⁻¹)			
0	18,51	5,99	0,133
40	19,53	4,95	0,136
80	19,44	5,08	0,120
150	20,98	5,37	0,155
p>F (linear)	0,003*	0,682 ^{ns}	0,062 ^{ns}
p>F (quadrático)	0,822 ^{ns}	0,364 ^{ns}	0,033**
R ² (linear)	91,55%	14,16%	32,08%
R ² (quadrático)	92,00%	84,43%	74,50%

Nota: Significativo pelo teste F *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, ns = não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

Figura 16- Regressão linear dos teores de Aminoácidos livres totais (ALT: mg g⁻¹ MF) (a) e regressão quadrático dos teores de Prolina (PROL: mg g⁻¹ MF) (b) em função das doses de N em algodoeiro herbáceo. Selvíria-MS, 2017/2018.



Fonte: Própria autora.

O fato dos teores da PROL terem aumentado em função das doses de N pode indicar uma suposta sensibilidade das plantas, talvez uma resposta adaptativa a esse tratamento.

Segundo Berteli *et al.*, (1995) o acúmulo de prolina é rápido e parece ser uma adaptação ao estresse salino; defendendo os tecidos vegetais contra estresse osmótico e/ou atuando como protetor enzimático (LIU; ZHU, 1997).

Machado (2004) relatou que sob déficit hídrico a prolina se acumula no vacúolo celular, promovendo uma regulação osmótica, o que aumenta a capacidade da planta de extrair água do solo e de proteger a integridade celular.

Vale salientar que as doses de N também influenciaram a fotossíntese líquida (A) aumentando a absorção de CO₂ (Tabela 12), e a eficiência do uso da água (EUA) foi igual entre as plantas de sequeiro e as irrigadas (Tabela 13), e as doses de N aumentaram essa eficiência nas plantas. Ou seja, esse aumento dos teores da PROL em função das doses de N pode estar relacionado ao fato das doses terem influenciado na fotossíntese dessas plantas, e o acúmulo da PROL agiria no sentido auxiliar na regulação e evitar o estresse osmótico, fato que pode ter refletido na EUA.

Segundo Kerbaui (2004), quando ocorre um aumento do tempo de estresse hídrico, ocorre o aumento da atividade da enzima proteases, que quebram as proteínas de reservas, aumentando o teor de aminoácidos solúveis totais das mesmas, no intuito de se ajustar osmoticamente ao meio estressante.

Sendo assim, os resultados do presente experimento sugerem que embora tenha havido acúmulo de amônia (Tabela 14) e redução da fotossíntese, condutância estomática, transpiração e carbono interno (Tabela 12) nas plantas de sequeiro, o estresse hídrico não foi tão intenso, e as doses e fontes de N também não ocasionaram estresse, pelo fato dos teores dos ALT, PST e do aminoácido PROL terem tido o mesmo comportamento bioquímico em ambos sistemas de cultivo, e nos demais tratamentos.

c) Sacarose e Açúcares solúveis totais

Na Tabela 16 estão descritas as médias dos teores de açúcares solúveis totais (AST) e sacarose (SAC) em tecidos foliares do algodoeiro herbáceo.

Em relação a SAC, as plantas irrigadas apresentaram maior acúmulo deste soluto em suas folhas, e as doses de N aumentaram linearmente o teor deste soluto nas plantas (Figura 17). Quanto aos AST, nenhum dos tratamentos influenciaram os teores deste soluto nas folhas.

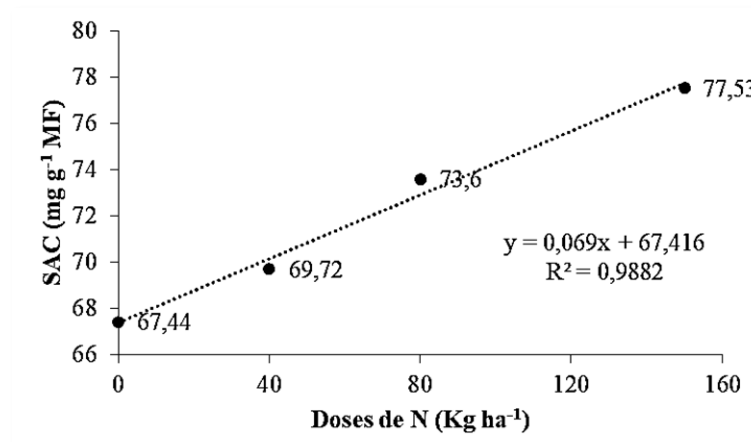
Tabela 16 - Teores de sacarose: SAC (mg g⁻¹ MF) e açúcares solúveis totais: AST (mg g⁻¹ MF) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo em função de fontes, doses de N e sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), aos 90 DAE. Selviria-MS, 2017/18.

Tratamentos	SAC	AST
Sistemas de cultivo (S)	0,001**	0,340 ^{ns}
Fontes de N (F)	0,863 ^{ns}	0,584 ^{ns}
Doses de N (D)	0,027**	0,367 ^{ns}
S x F	0,390 ^{ns}	0,512 ^{ns}
S x D	0,468 ^{ns}	0,442 ^{ns}
F x D	0,530 ^{ns}	0,898 ^{ns}
S x F x D	0,347 ^{ns}	0,668 ^{ns}
C.V (%)	11,39	23,89
Média geral	72,07	103,70
Sistemas de cultivo		
Sequeiro	64,51 b	100,24
Irrigado	79,73 a	107,17
Fontes de N		
Ureia	72,28	105,68
Nitrato de amônio	71,87	101,73
Doses de N (Kg ha⁻¹)		
0	67,44	114,90
40	69,72	100,66
80	73,60	99,77
150	77,53	99,48
p>F (linear)	0,003**	0,187 ^{ns}
p>F (quadrático)	0,750 ^{ns}	0,279 ^{ns}
R ² (linear)	98,82%	55,51%
R ² (quadrático)	99,02%	92,58%

Nota: Significativo pelo teste F *p≤ 0,05, **p≤ 0,01, ns = não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

Figura 17- Regressão linear dos teores de SAC (mg g^{-1} MF) em função das doses de N em algodoeiro herbáceo. Selvíria-MS, 2017/2018.



Fonte: Própria autora.

Conforme Salerno e Curatti (2003), a SAC é o principal produto da fotossíntese e é amplamente envolvida no crescimento, desenvolvimento, armazenamento e sinalização de estresse nas plantas.

O local de síntese da SAC são as folhas que é exportada para as regiões de consumo (caule, gemas vegetativas, raízes e órgãos reprodutivos), onde será utilizado para o crescimento e desenvolvimento (KINGSTON-SMITH *et al.*, 1999). A SAC sintetizada no citosol pode ser translocada da folha ou temporariamente armazenada dentro da folha (SINGH; MALHOTRA, 2000).

Vale salientar que no presente experimento, as plantas irrigadas apresentaram maior taxa fotossintética que as plantas de sequeiro (Tabela 12), tal resultado explica o aumento da SAC nessas plantas.

Lembrando que as doses de N além de influenciarem os teores de SAC do presente experimento, também aumentaram a altura (Tabela 3), o teor de N foliar e índice Spad (Tabela 8), e a fotossíntese (Tabela 12) das plantas. Desta forma, indica-se que as doses de N agiram diretamente no teor de SAC que posteriormente foi distribuída para as partes das plantas, contribuindo para o desenvolvimento desses parâmetros.

Sob condições de estresse hídrico, a limitação fotossintética é associada a uma redução da concentração de CO_2 . Com diminuição da fotossíntese, há a redução da quantidade de assimilados disponíveis para exportação como trioses fosfato do cloroplasto para o citosol e, conseqüentemente, a síntese de SAC também pode ser diminuída (LAWLOR; CORNIC, 2002).

Segundo Zhu *et al.* (1997), o teor de SAC pode variar em função da idade da planta e do ambiente em que está crescendo. Qualquer efeito da seca sobre estes processos pode modificar negativamente o teor deste soluto nas folhas.

Halford *et al.* (1999) relataram que o aumento do conteúdo de SAC tem sido observado em plantas sob estresse hídrico, o que representa uma estratégia de ajuste osmótico em vista de manter a sobrevivência da planta.

Marur (1999) verificou que em algumas variedades de plantas de algodoeiro submetidas ao estresse hídrico ocorreu um ajustamento osmótico como consequência do acúmulo de solutos no simplasto, apresentando um aumento no teor de carboidratos redutores, que se mostrou associado à diminuição do potencial hídrico;

De fato, o ajustamento osmótico tem sido considerado uma adaptação ao déficit hídrico por meio do qual o aumento líquido da concentração de solutos no interior das células pode auxiliar na manutenção da turgência, permitindo às plantas manterem suas atividades metabólicas, crescimento e produtividade (TURNER, 1997).

No presente experimento, o fato das plantas de sequeiro não terem acumulado a SAC em seus tecidos foliares, indica que o déficit hídrico nesse sistema de cultivo não teve grande intensidade a ponto das plantas necessitarem adotar este mecanismo de defesa para sobrevivência.

Os carboidratos desempenham várias funções no processo de déficit hídrico, dentre os quais podem se destacar os AST, que tem sido relatados como agentes protetores durante o processo de desidratação celular (BOYER, 1996).

Quando as plantas passam por períodos de seca, o amido de reserva é degradado (KRAMER, 1995), e essa redução é uma consequência da atividade da amilase, podendo levar a um aumento na quantidade de AST e redutores na planta (CHAVES-FILHO; STACCIARINI-SERAPHIN, 2001).

Ou seja, como os teores dos AST não se diferenciaram entre os tratamentos, sugere que embora as plantas de sequeiro tenham reduzido a fotossíntese (Tabela 12) e o teor de SAC em suas folhas (Tabela 16), o déficit hídrico neste sistema de cultivo não desencadeou o estresse hídrico severo nas plantas, a ponto de ocorrer a degradação do amido de reserva e o aumento dos AST.

5.11.10 Avaliação dos caracteres anatômicos do limbo foliar

Em relação às espessuras da região mediana do limbo foliar do algodoeiro herbáceo (Tabela 17) e (Figuras 19, 20, 21 e 22) constatou-se que as plantas irrigadas apresentaram maior espessura do parênquima paliçádico, parênquima lacunoso e espessura total que as plantas de sequeiro. Apenas a epiderme da superfície abaxial mostrou-se mais espessa nas plantas de sequeiro que nas irrigadas. As fontes de N também promoveram alteração no parênquima paliçádico, sendo mais espessas com nitrato de amônio. A epiderme da superfície adaxial teve um comportamento diferenciado, onde os sistemas de cultivo não diferiram entre si, mas as fontes foram significativas tendo média superior com a ureia. As doses também influenciaram e houve interação entre os sistemas de cultivo x fontes (Tabela 18) e fontes x doses de N (Tabela 19), respectivamente.

Tabela 17- Caracteres anatômicos da região mediana do limbo foliar (μm) de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado). Selviria- MS, 2017/18.

Tratamentos	Epiderme Adaxial	Parênquima Paliçádico	Parênquima Lacunoso	Epiderme Abaxial	Espessura Total
Sistemas de cultivo (S)	0,631 ^{ns}	0,006**	0,012**	0,019**	0,019**
Fontes de N (F)	0,001**	0,011**	0,172 ^{ns}	0,508 ^{ns}	0,098 ^{ns}
Doses de N (D)	0,001**	0,114 ^{ns}	0,196 ^{ns}	0,937 ^{ns}	0,262 ^{ns}
S x F	0,014*	0,599 ^{ns}	0,106 ^{ns}	0,756 ^{ns}	0,773 ^{ns}
S x D	0,070 ^{ns}	0,769 ^{ns}	0,327 ^{ns}	0,077 ^{ns}	0,775 ^{ns}
F x D	0,001**	0,080 ^{ns}	0,675 ^{ns}	0,173 ^{ns}	0,202 ^{ns}
S x F x D	0,123 ^{ns}	0,942 ^{ns}	0,816 ^{ns}	0,594 ^{ns}	0,867 ^{ns}
C.V (%)	4,79	12,40	10,04	6,17	10,24
Média geral	11,81	70,16	62,18	9,33	155,10
Sistemas de cultivo					
Sequeiro	11,85	66,47 b	59,78 b	9,53 a	149,44 b
Irigado	11,77	73,85 a	64,57 a	9,12 b	160,76 a
Fontes de N					
Ureia	12,69 a	66,79 b	60,92	9,27	151,20
Nitrato de amônio	10,93 b	73,53 a	63,44	9,38	159,01
Doses de N (Kg ha⁻¹)					
0	11,25	70,31	59,58	9,37	152,08
40	11,64	67,41	62,11	9,35	151,70
80	12,29	75,32	65,23	9,34	163,16
150	12,07	67,61	61,80	9,24	153,48
p>F (linear)	0,001**	0,774 ^{ns}	0,364 ^{ns}	0,556 ^{ns}	0,606 ^{ns}
p>F (quadrático)	0,012**	0,204 ^{ns}	0,064 ^{ns}	0,828 ^{ns}	0,188 ^{ns}
R ² (linear)	61,62%	1,30%	17,02%	86,99%	6,47%
R ² (quadrático)	91,76%	27,36%	91,38%	98,75%	49,78%

Nota: Significativo pelo teste F *p $\leq$ 0,05, **p $\leq$ 0,01, ns = não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

Conforme Castro *et al.* (2009), alterações anatômicas decorrentes da baixa disponibilidade de água estão envolvidas na proteção das plantas para evitar a perda de água excessiva por transpiração.

Vale salientar também que a maior espessura do parênquima paliçádico e do parênquima lacunoso no presente experimento, justificam o aumento na fotossíntese líquida nas plantas irrigadas (Tabela 12).

O parênquima paliçádico (pp) está voltado para a parte adaxial da folha (Figuras 19, 20, 21 e 22), e está intimamente relacionado à fotossíntese, e um maior desenvolvimento desse tecido pode permitir maior fixação de CO₂, com abertura dos estômatos em curto espaço de tempo (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009), tendo assim, maiores condições de sobreviver quando em um ambiente com menor disponibilidade hídrica.

A grande maioria dos cloroplastos é encontrada nas células do parênquima paliçádico devido à forma alongada e a o arranjo das células, possibilitando a máxima captação de luz (APPEZZATTO-DA-GLÓRIA; CARMELLO GUERREIRO, 2006). E o parênquima lacunoso (pl) é um tecido voltado para a parte abaxial da folha (Figuras 19, 20, 21 e 22), que possui um sistema amplo de espaços intercelulares, e neles se mantém vapor de água e dióxido de carbono. Sendo assim, esta estruturação permite que uma grande superfície de células entre em contato com o ar existente no interior da folha, possibilitando a utilização do gás carbônico no processo fotossintético (DAMIÃO FILHO, 1993).

Em alguns estudos com a mesma espécie de algodoeiro, Paixão *et al.* (2017), utilizando o hormônio Cloreto de Mepiquat, mostraram que a anatomia da folha é variável e responde de maneiras distintas a diversos fatores.

Silva (2019) ao estudar o mesmo genótipo de algodoeiro do presente experimento, o TMG 81 WS, também relatou que as condições hídricas alteraram a anatomia das folhas.

Sridhar *et al.* (2017), ao trabalharem com acúmulo de zinco e cádmio em plantas de cevada (*Hordeum vulgare*), observaram que as mesmas apresentaram modificações em seu tecido foliar, confirmando assim que os nutrientes minerais podem alterar componentes anatômicos dos tecidos.

A folha do algodoeiro não apresenta bainha; é longamente peciolada e na base do pecíolo aparecem duas estipulas, geralmente caducas. Apresenta grande limbo, que é a parte essencial da folha, pois constitui o seu sistema assimilador e cuja

organização serve para melhor aproveitamento dos raios solares, do CO₂ do ar e da água, necessários ao processo de fotossíntese. O limbo possui simetria bilateral e forma as duas faces: a superior e a inferior, as quais são revestidas por uma epiderme. A epiderme superior é cutinizada na parede externa; na face inferior aparecem estômatos, em maior número que na face superior. Ambas apresentam tricomas glandulares, aparecendo mais frequentemente na inferior (FROTA, 1994).

De acordo com o desdobramento da interação sistemas de cultivo x fontes (Tabela 18), tanto as plantas de sequeiro quanto as irrigadas apresentaram maior espessura da epiderme adaxial (ed) quando tratadas com ureia. A ureia também propiciou maior espessura dessa epiderme nas plantas de sequeiro (Figura 19 e Figura 20). No nitrato de amônio, a espessura não foi significativa entre os sistemas (Figura 21 e Figura 22).

Tabela 18- Desdobramento da interação sistemas de cultivo x fontes de N referentes à espessura foliar da epiderme adaxial de algodoeiro herbáceo. Selviria-MS, 2017/18.

Sistemas de cultivo	Fontes de N	
	Ureia	Nitrato de amônio
Sequeiro	12,94 aA	10,76 b
Irrigado	12,44 aB	11,10 b

Nota: Médias seguidas de letras distintas, minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

Conforme o desdobramento da interação fontes x doses de N (Tabela 19), referente a espessura da epiderme adaxial, verificou-se diferença estatística nas doses de 40, 80 e 150 kg ha⁻¹, sendo que as plantas tratadas com ureia mostraram-se mais espessas em comparação ao nitrato de amônio, com medida máxima na dose de 80 kg ha⁻¹ (Figuras 20 e 21). As médias isoladas da ureia tiveram um ajuste quadrático, e conforme a equação obtida, na dose calculada de 86,5 kg ha⁻¹, obteve-se o ponto médio intermediário de 13,00 µm (Figura 18). Para o nitrato de amônio, não observou-se ajuste estatístico das médias em função das doses em ambos sistemas de cultivo (Figura 21 e 22).

Conforme Rodrigues *et al.* (2015), a espessura total é influenciada principalmente pelos parênquimas paliçádico e lacunoso, que constituem o mesófilo foliar e quando fornecido em quantidades adequadas, o N proporciona uma tendência da espessura da folha a ser maior. As alterações morfofisiológicas e bioquímicas podem provocar a plasticidade das plantas, modificando as características

estruturais, bem como os tecidos de plantas (especialmente nas folhas), como o mesófilo, espessuras da parede celular, distância entre feixes vasculares, espessura da superfície da epiderme abaxial e adaxial, número de feixes vasculares e densidade estomática (SANTOS *et al.*, 2013).

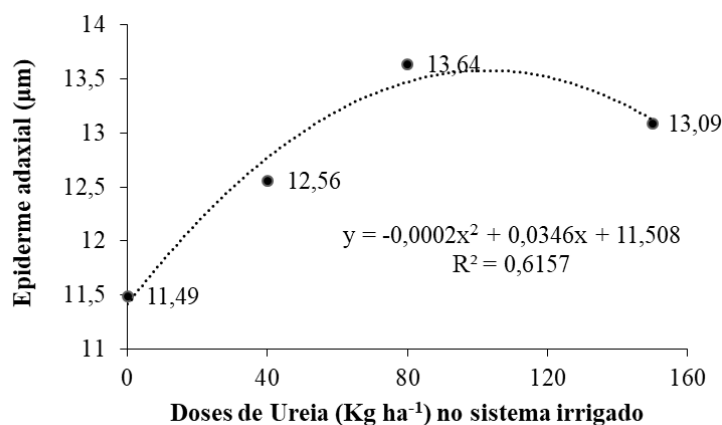
Tabela 19- Desdobramento da interação fontes x doses de N referentes à espessura foliar da epiderme adaxial (μm) de algodoeiro herbáceo. Selviria-MS, 2017/18.

Doses de N (kg ha^{-1})	Fontes de N	
	Ureia	Nitrato de amônio
0	11,49	11,01
40	12,56 a	10,72 b
80	13,64 a	10,95 b
150	13,09 a	11,05 b
p>F (linear)	0,001**	0,699 ^{ns}
p>F (quadrático)	0,001**	0,498 ^{ns}
r ² (linear)	54,06%	12,55%
r ² (quadrático)	96,85%	51,22%

Nota: Médias seguidas por letras distintas, minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Significativo pelo teste F * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, ns = não significativo.

Fonte: Própria autora.

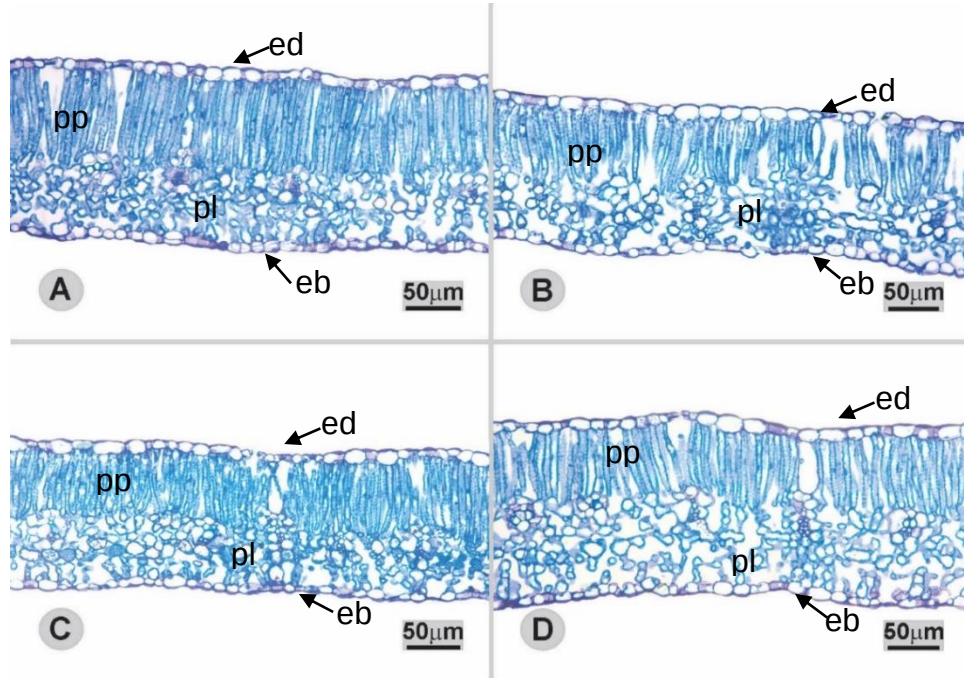
Figura 18- Regressão quadrático da espessura da epiderme adaxial do algodoeiro herbáceo em função da interação entre fontes x doses de N. Selviria- MS, 2017/18.



Fonte: Própria autora.

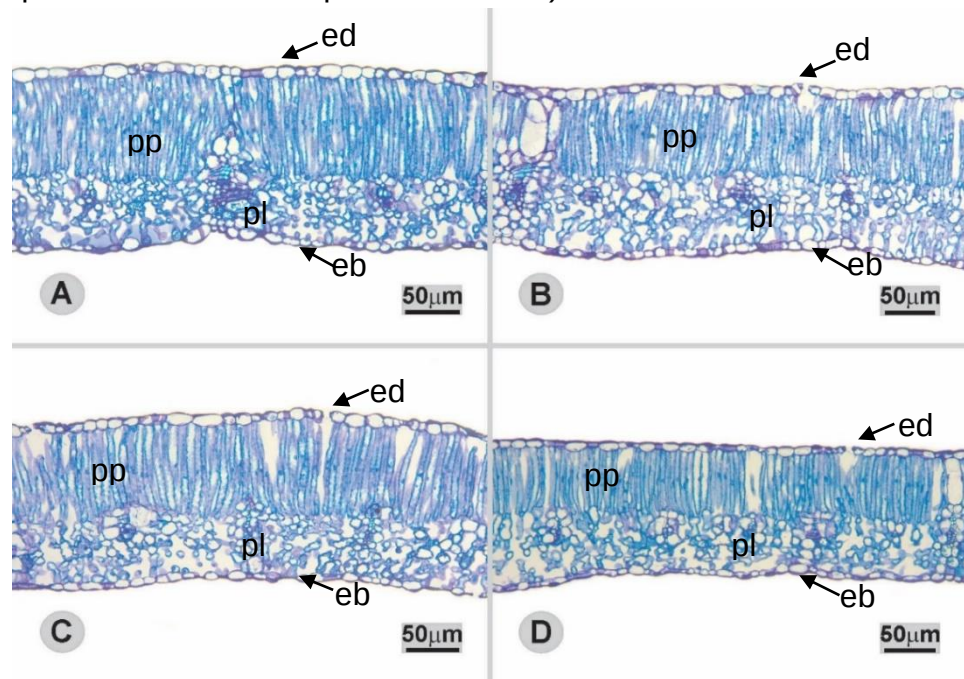
As Figuras 19 e 20, mostram as secções transversais da região mediana do limbo foliar de algodoeiro herbáceo em sistemas de cultivo de sequeiro e irrigado em função das doses de ureia, e as Figuras 21 e 22 são as secções transversais em sistemas de cultivo de sequeiro e irrigado em função das doses de nitrato de amônio. Tais imagens evidenciaram todos resultados estatísticos obtidos na Tabela 17.

Figura 19- Secções transversais da região mediana do limbo foliar de algodoeiro herbáceo em sistema de cultivo de sequeiro, com doses de ureia. (A) Controle; (B) 40 kg ha⁻¹; (C) 80 kg ha⁻¹; (D) 150 kg ha⁻¹. (ed: epiderme adaxial, pp: parênquima paliçádico, pl: parênquima lacunoso, eb: epiderme abaxial).



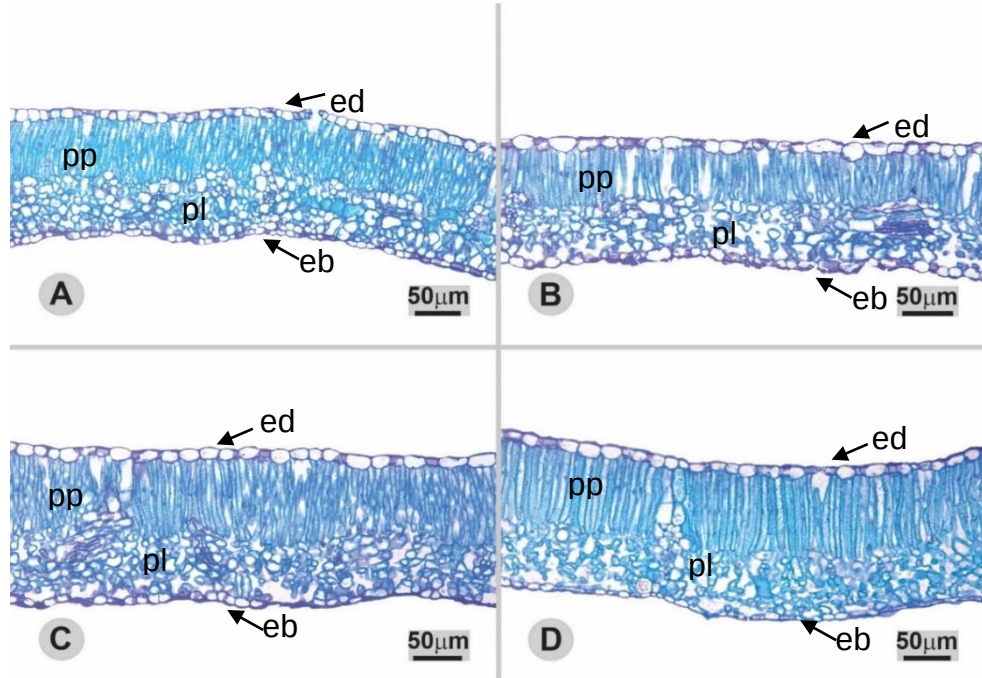
Fonte: Própria autora.

Figura 20- Secções transversais da região mediana do limbo foliar de algodoeiro herbáceo em sistema de cultivo irrigado, com doses de ureia. (A) Controle; (B) 40 kg ha⁻¹; (C) 80 kg ha⁻¹; (D) 150 kg ha⁻¹. (ed: epiderme adaxial, pp: parênquima paliçádico, pl: parênquima lacunoso, eb: epiderme abaxial).



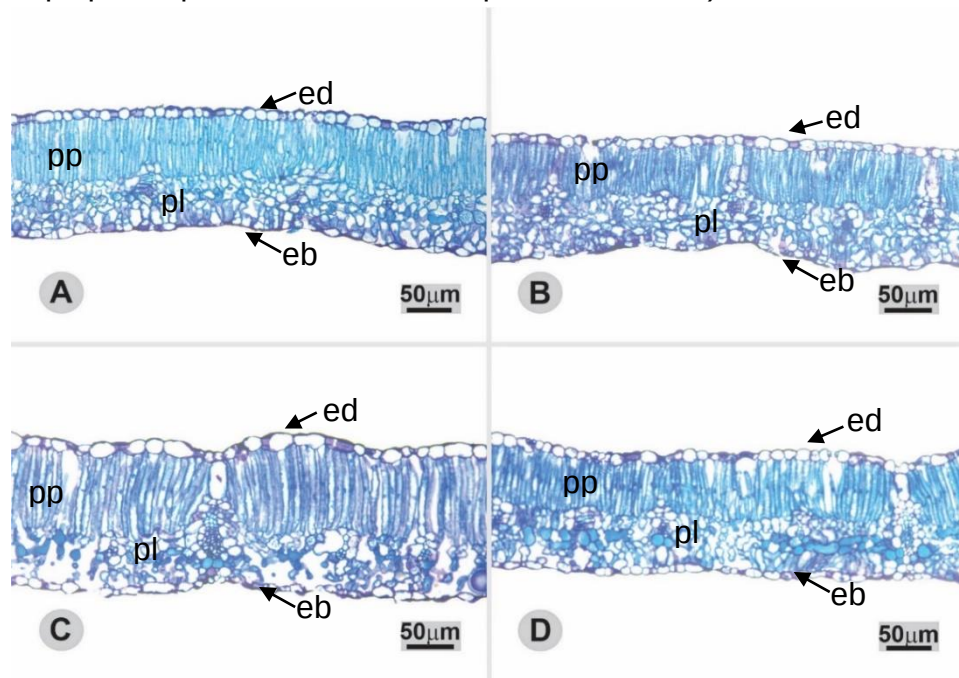
Fonte: Própria autora.

Figura 21- Secções transversais da região mediana do limbo foliar de algodoeiro herbáceo em sistema de cultivo de sequeiro, com doses de nitrato de amônia. (A) Controle; (B) 40 kg ha⁻¹; (C) 80 kg ha⁻¹; (D) 150 kg ha⁻¹. (ed: epiderme adaxial, pp: parênquima paliçádico, pl: parênquima lacunoso, eb: epiderme abaxial).



Fonte: Própria autora.

Figura 22- Secções transversais da região mediana do limbo foliar de algodoeiro herbáceo em sistema de cultivo irrigado, com doses de nitrato de amônia. (A) Controle; (B) 40 kg ha⁻¹; (C) 80 kg ha⁻¹; (D) 150 kg ha⁻¹. (ed: epiderme adaxial, pp: parênquima paliçádico, pl: parênquima lacunoso, eb: epiderme abaxial).



Fonte: Própria autora.

Na Tabela 20 estão os dados referentes a densidade de estômatos contidos nas folhas do algodoeiro herbáceo, em número de estômatos por milímetro quadrado, na superfície adaxial e abaxial.

Tabela 20- Densidade de estômatos (n°/mm^2) da parte adaxial e abaxial de folhas de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo. Selviria- MS, ano agrícola 2017/18.

Tratamentos	Estômatos Adaxiais	Estômatos Abaxiais
Sistemas de cultivo (S)	0,588 ^{ns}	0,040*
Fontes de N (F)	0,342 ^{ns}	0,001**
Doses de N (D)	0,105 ^{ns}	0,038*
S x F	0,851 ^{ns}	0,681 ^{ns}
S x D	0,935 ^{ns}	0,311 ^{ns}
F x D	0,112 ^{ns}	0,473 ^{ns}
S x F x D	0,074 ^{ns}	0,189 ^{ns}
C.V(%)	12,92	17,76
Média geral	556,69	797,99
Sistemas de cultivo		
Sequeiro	562,37	755,41 b
Irrigado	551,00	840,56 a
Fontes de N		
Ureia	546,66	708,70 b
Nitrato de amônio	566,71	887,27 a
Doses de N (Kg ha⁻¹)		
0	584,07	880,45
40	549,76	744,87
80	515,87	729,16
150	577,05	837,46
p>F (linear)	0,833 ^{ns}	0,709 ^{ns}
p>F (quadrático)	0,019*	0,005**
R ² (linear)	0,68%	1,50%
R ² (quadrático)	93,51%	98,08%

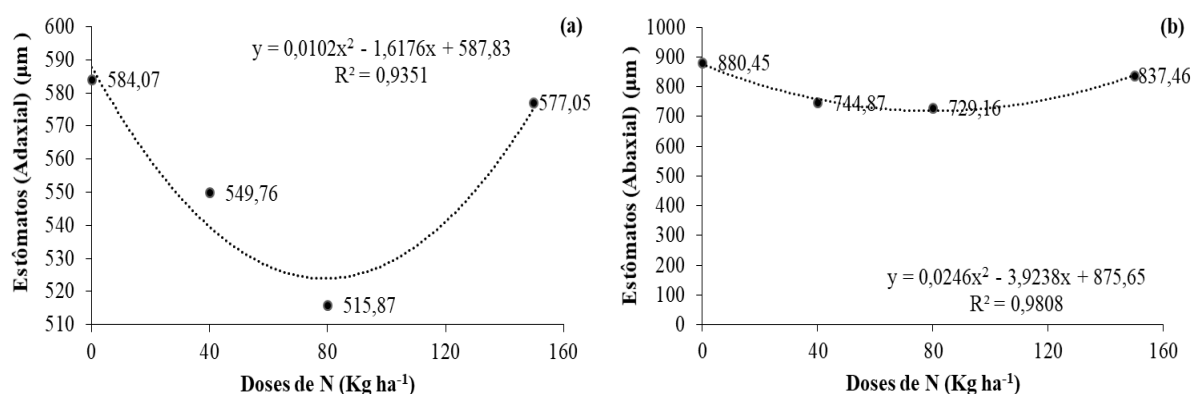
Nota: Significativo pelo teste F * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, ns = não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

Não se verificou diferença na densidade de estômatos na superfície adaxial em nenhum dos tratamentos, mas as doses de N tiveram um ajuste quadrático e conforme a equação obtida, na dose calculada de 79,29 kg ha⁻¹ obteve-se o ponto de mínimo intermediário de 523,69 mm² (Figura 23 a). Quanto aos estômatos da superfície abaxial, as plantas irrigadas apresentaram maior densidade, de aproximadamente 10,13% superior em relação às de sequeiro. As fontes diferiram no n° de estômatos abaxiais, e as plantas tratadas com o nitrato de amônio apresentaram 20,12% mais estômatos. Mesmo tendo esse comportamento, vale salientar que as fontes não

interferiram na fotossíntese líquida (Tabela 12). As doses de N também influenciaram, tendendo a reduzir o n° destes estômatos, havendo um ajuste quadrático das médias obtidas, e conforme a equação, na dose calculada de 79,75 kg ha⁻¹ obteve-se o ponto mínimo de 719,18 mm² (Figura 23 b).

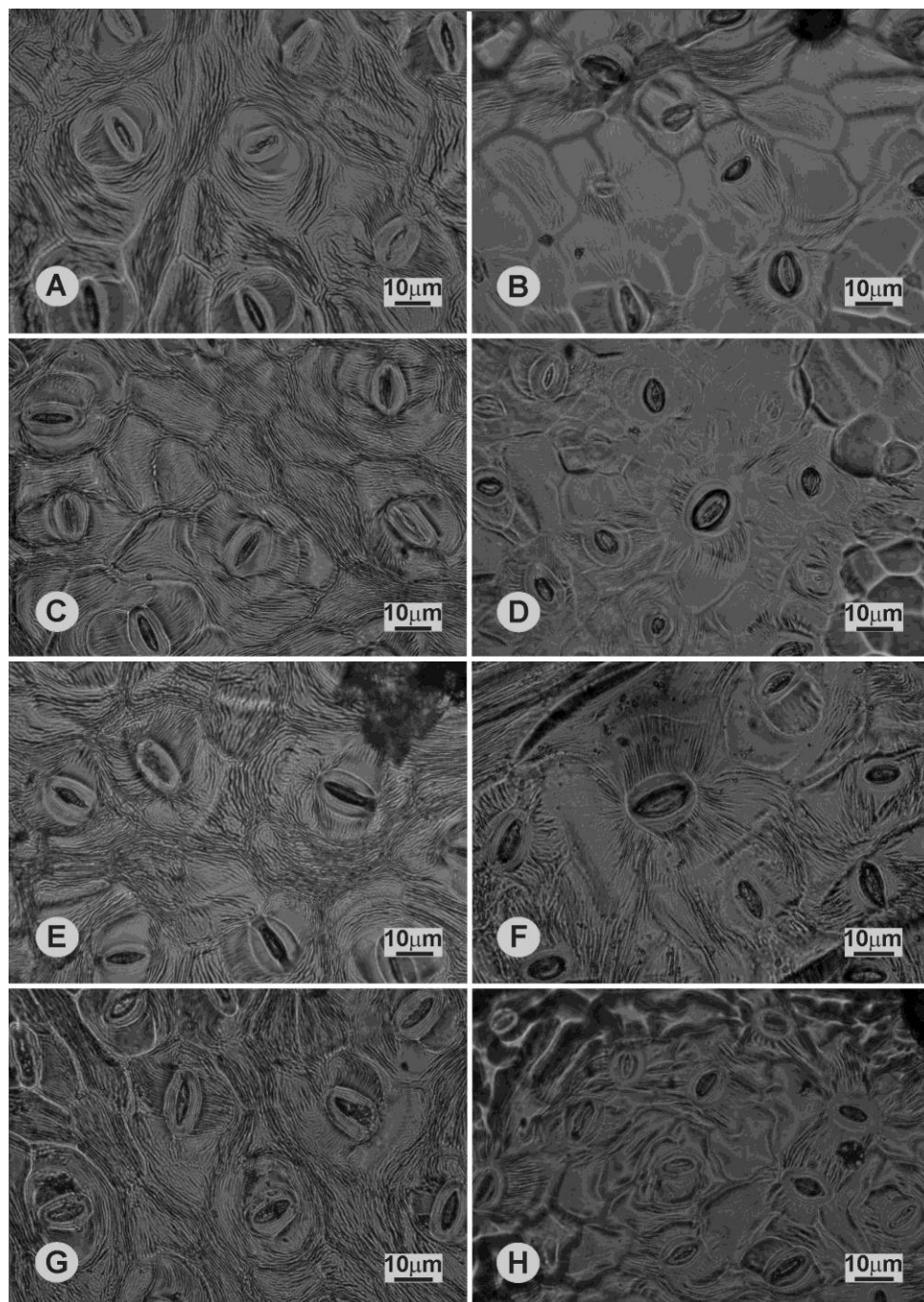
Figura 23- Regressão linear do número de estômatos da superfície adaxial (a) e abaxial (b) de folhas de algodoeiro herbáceo em função das doses de N. Selviria- MS, 2017/18.



Fonte: Própria autora.

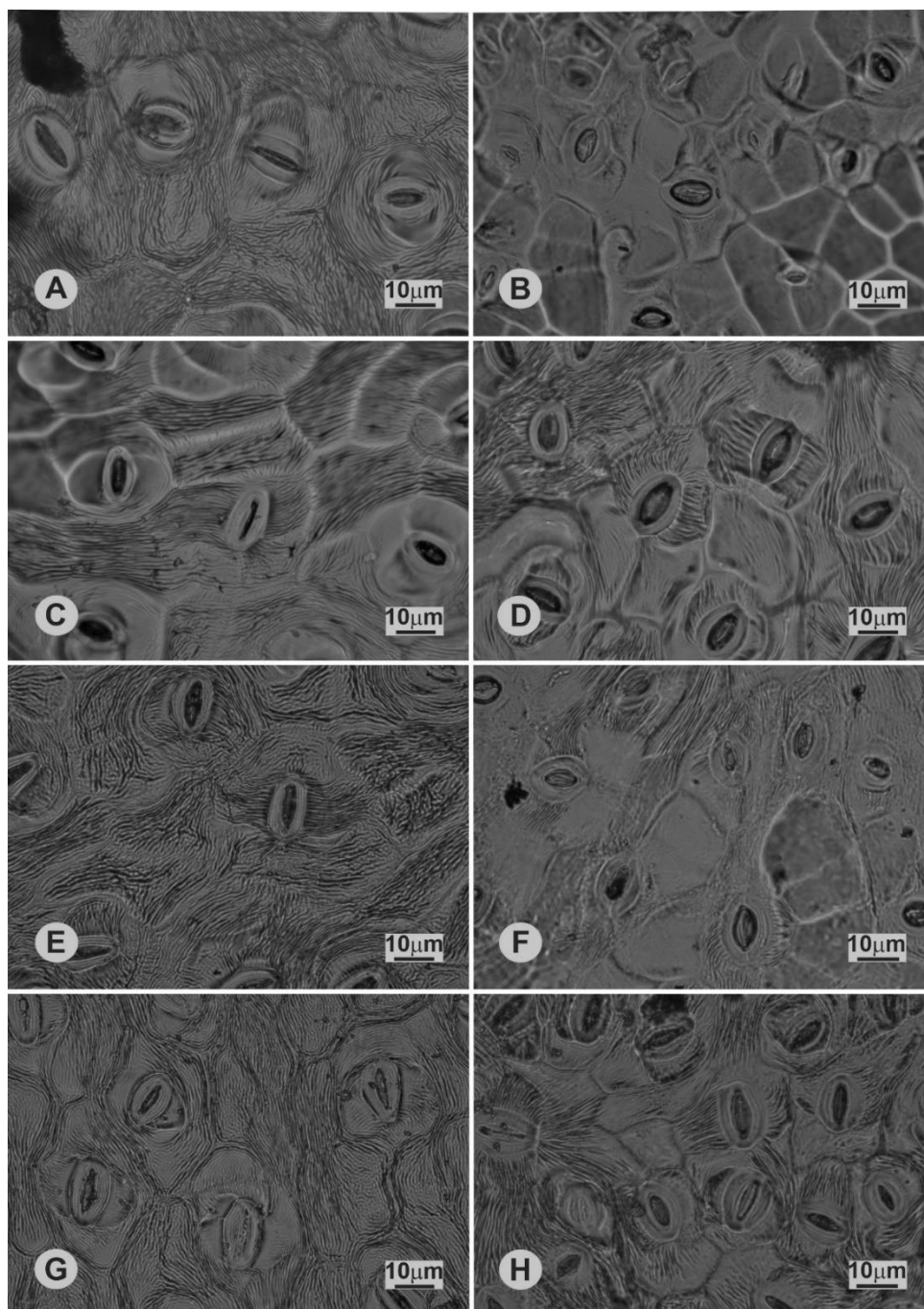
Conforme Abrans *et al.* (1992) e Evans (1999), os estômatos estão associados diretamente com a capacidade fotossintética, e, uma alteração na sua quantidade afeta diretamente a condutância estomática, ou seja, quanto maior a densidade estomática, maior a absorção de CO₂. Sendo assim, o fato das plantas irrigadas terem apresentado maior n° de estômatos abaxiais, justifica o aumento na fotossíntese líquida dessas plantas (Tabela 12), que refletiu no aumento do teor de sacarose (Tabela 16), que é o principal produto da fotossíntese (SALERNO; CURATTI, 2003). Porém, o fato das doses de N terem reduzido o n° de estômatos adaxiais e abaxiais não refletiu diretamente reduzindo as trocas gasosas (Tabela 12), pois a fotossíntese aumentou em função das doses, indicando que embora as doses tenham diminuído a densidade destes estômatos, não ocorreu diminuição na eficiência de assimilação de CO₂. As Figuras (24, 25, 26 e 27) mostram os resultados estatísticos obtidos do número de estômatos (Tabela 20), onde é possível notar o comportamento destas estruturas em função das doses de N, na superfície adaxial e abaxial, nos sistemas de cultivo de sequeiro e irrigado com ureia (Figura 24 e 25), e sequeiro e irrigado com nitrato de amônio (Figura 26 e 27), respectivamente.

Figura 24- Estômatos em secção paradérmica em folhas de algodoeiro cultivado em condição de sequeiro em doses de ureia. **(A-B)** Controle; **(C-D)** 40 kg ha⁻¹; **(E-F)** 80 kg ha⁻¹; **(G-H)** 150 kg ha⁻¹. **(A, C, E, G)** Epiderme na face Adaxial; **(B, D, F, H)** Epiderme na face Abaxial.



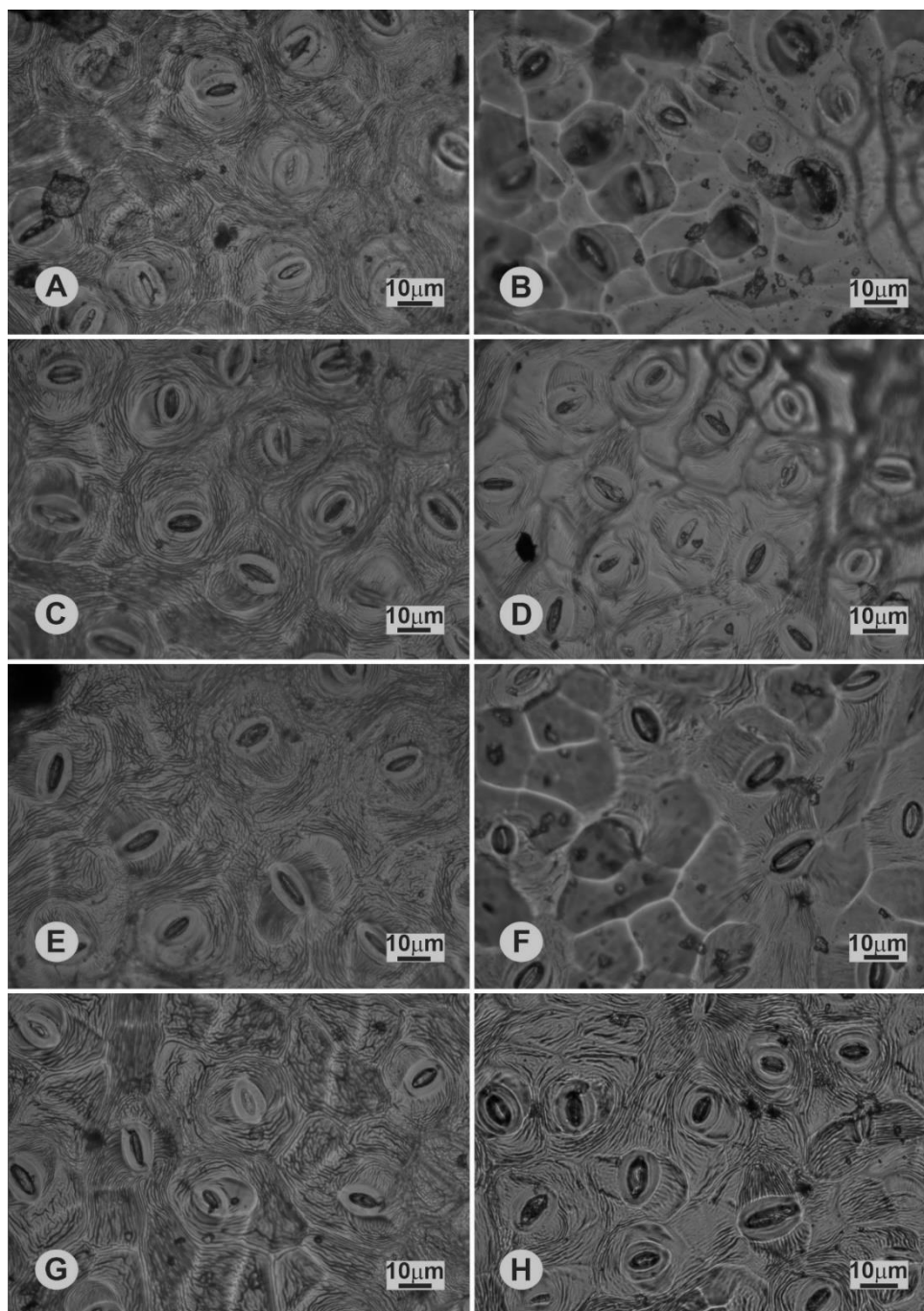
Fonte: Própria autora.

Figura 25- Estômatos em secção paradérmica em folhas de algodoeiro cultivado em condição irrigada em doses de ureia. **(A-B)** Controle; **(C-D)** 40 kg ha⁻¹; **(E-F)** 80 kg ha⁻¹; **(G-H)** 150 kg ha⁻¹. **(A, C, E, G)** Epiderme na face Adaxial; **(B, D, F, H)** Epiderme na face Abaxial.



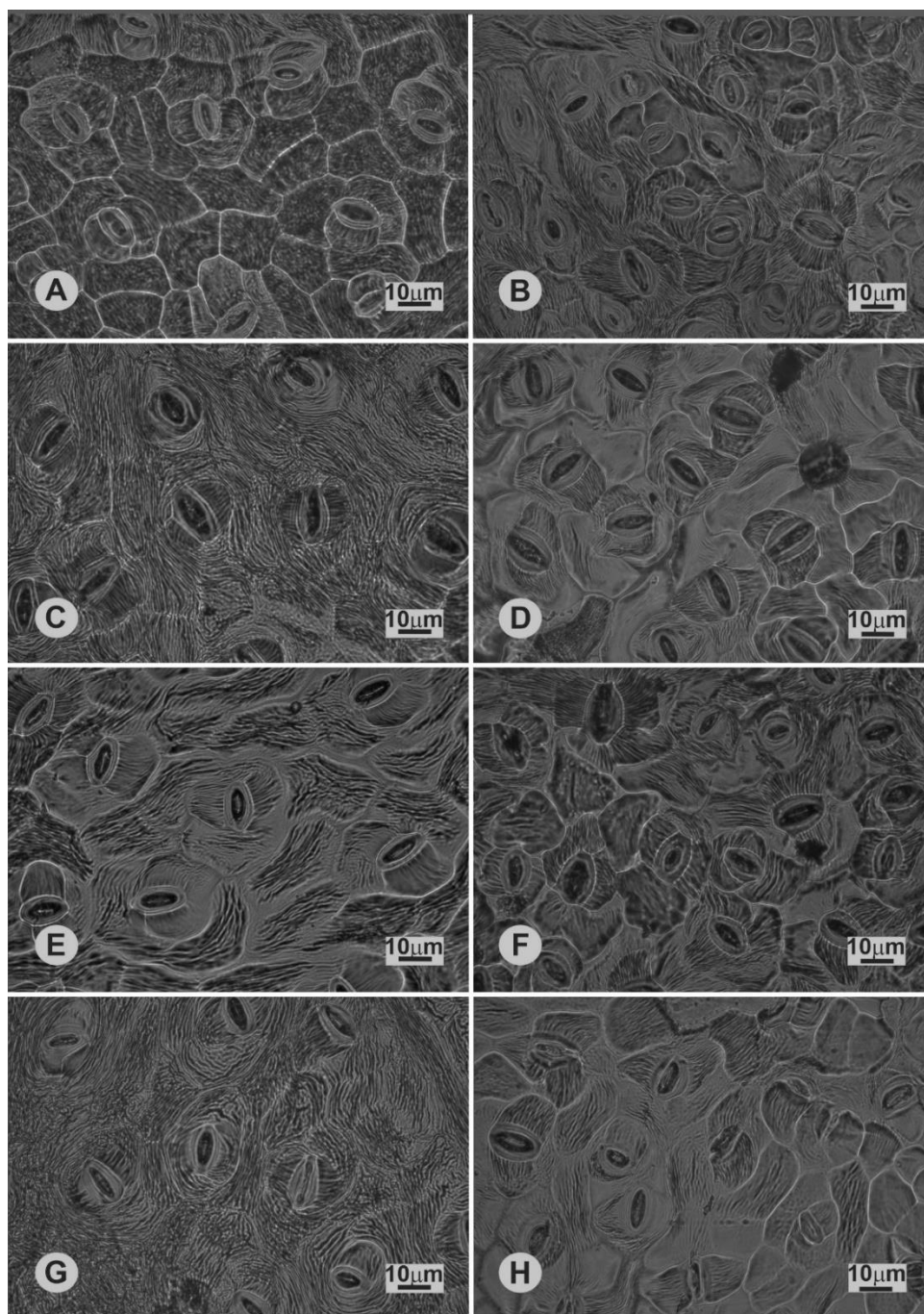
Fonte: Própria autora.

Figura 26- Estômatos em secção paradérmica em folhas de algodoeiro cultivado em condição de sequeiro em doses de nitrato de amônio. **(A-B)** Controle; **(C-D)** 40 kg ha⁻¹; **(E-F)** 80 kg ha⁻¹; **(G-H)** 150 kg ha⁻¹. **(A, C, E, G)**. Epiderme na face Adaxial. **(B, D, F, H)** Epiderme na face Abaxial.



Fonte: Própria autora.

Figura 27- Estômatos em secção paradérmica em folhas de algodoeiro cultivado em condição irrigada em doses de nitrato de amônio. **(A-B)** Controle; **(C-D)** 40 kg ha⁻¹; **(E-F)** 80 kg ha⁻¹; **(G-H)** 150 kg ha⁻¹. **(A, C, E, G)** Epiderme na face Adaxial; **(B, D, F, H)** Epiderme na face Abaxial.



Fonte: Própria autora.

Os estômatos têm um papel de grande importância na absorção de CO₂ da atmosfera e na transpiração da água das folhas para a atmosfera. A maior parte do CO₂ fixado pelas folhas penetra através dos estômatos (BROWN; ROSENBERG, 1970). Os estômatos são estruturas que permitem a comunicação entre a parte interna da planta e a atmosfera (EL-SHARKAWY *et al.*, 1985).

Segundo Angelocci (2002), o controle da entrada e da saída de CO₂ e da água na folha ocorre por meio da alteração na abertura estomática, pela transpiração, gerando um resfriamento foliar. Sendo assim, quanto maior a transpiração, maior será a refrigeração da folha. Complementarmente existe uma grande variação no número de estômatos por área entre as espécies, o que influencia na regulação das trocas gasosas.

Como pode ser observado nas (Figuras 24, 25, 26 e 27), o tipo de estômato do algodoeiro herbáceo é anomocítico, ou seja, o estômato é envolvido por um número variável de células que não diferem em formato e tamanho das demais células epidérmicas. A folha é considerada anfiestomática por possuir estômatos nas duas faces, e esta pode ainda ser classificada em relação à quantidade, sendo a encontrada no algodão anfi-hipoestomáticas, por possuir maior número de estômatos na face abaxial (APPEZATO-DA-GLORIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2006).

Dessa forma, o fato da epiderme abaxial ter sido mais espessa nas plantas de sequeiro (Tabela 17), sugere uma estratégia do algodoeiro de aumentar a resistência contra a perda de água, justamente por conter maior número de estômatos na superfície abaxial.

5.11.11 Enzimas do metabolismo antioxidante

Na Tabela 21 estão os dados referentes à atividade das enzimas do aparato antioxidante: superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e a peroxidase (POD).

Tabela 21- Atividade das enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD: Unidade mg de proteína⁻¹), catalase (CAT: umol H₂O₂ decomposto min⁻¹ mg de proteína⁻¹) e peroxidase (POD: umol de H₂O₂ decomposto min⁻¹ mg de proteína⁻¹), em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), aos 90 DAE. Selviria-MS, ano agrícola 2017/2018.

Tratamentos	SOD (EC 1.15.1.1)	CAT (EC 1.11.1.6)	POD (EC 1.11.1.7)
Sistemas de cultivo (S)	0,012**	0,002**	0,139 ^{ns}
Fontes de N (F)	0,066 ^{ns}	0,988 ^{ns}	0,954 ^{ns}
Doses de N (D)	0,985 ^{ns}	0,060 ^{ns}	0,272 ^{ns}
S x F	0,170 ^{ns}	0,330 ^{ns}	0,810 ^{ns}
S x D	0,746 ^{ns}	0,009**	0,341 ^{ns}
F x D	0,720 ^{ns}	0,204 ^{ns}	0,852 ^{ns}
S x F x D	0,604 ^{ns}	0,460 ^{ns}	0,731 ^{ns}
C.V (%)	30,32	29,19	34,64
Média geral	15,40	0,080	0,274
Sistemas de cultivo			
Sequeiro	17,19 b	0,098 b	0,313
Irrigado	13,61 a	0,061 a	0,234
Fontes de N			
Ureia	14,11	0,080	0,272
Nitrato de amônio	16,68	0,081	0,275
Doses de N (Kg ha⁻¹)			
0	15,48	0,093	0,242
40	15,46	0,071	0,350
80	15,68	0,057	0,214
150	14,98	0,097	0,288
p>F (linear)	0,801 ^{ns}	0,706 ^{ns}	0,953 ^{ns}
p>F (quadrático)	0,806 ^{ns}	0,009**	0,989 ^{ns}
R ² (linear)	44,37%	1,77%	0,09%
R ² (quadrático)	86,64%	97,30%	0,09%

Nota: Significativo pelo teste F *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, ns = não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

Houve diferença entre os sistemas de cultivo apenas para a SOD e a CAT, com maior atividade enzimática nas plantas de sequeiro.

O fato da atividade da POD não ter sido influenciada por nenhum dos tratamentos indica que a formação e acúmulo das espécies reativas de oxigênio (EROs), em especial o H₂O₂ nas células das plantas não foi tão intenso a ponto de ativar esta enzima.

Houve interação significativa para a atividade da CAT entre os sistemas de cultivo x doses de N, e conforme o desdobramento (Tabela 22), as médias diferiram apenas entre as plantas testemunhas, com maior atividade enzimática nas plantas de sequeiro. Analisando as médias isoladas, nas plantas de sequeiro houve um ajuste quadrático, e conforme o desdobramento da equação na dose calculada de 84,70 kg ha⁻¹ obteve-se o ponto com menor atividade da CAT, com média de 0,060 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg de proteína}^{-1}$ (Figura 28 a). Nas plantas irrigadas as médias se ajustaram linearmente aumentando a atividade da CAT em função das doses de N (Figura 28 b).

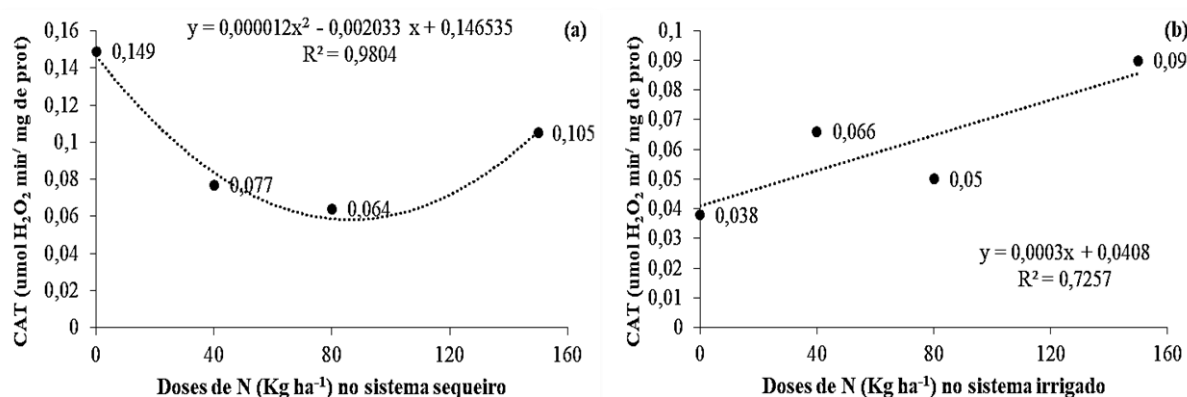
Tabela 22- Desdobramento da interação sistemas de cultivo x doses de N referentes à atividade da enzima catalase (CAT) do algodoeiro herbáceo, aos 90 DAE. Selvíria-MS, ano agrícola 2017/2018.

Doses de N (Kg ha ⁻¹)	Sistemas de cultivo	
	Sequeiro	Irrigado
0	0,149 a	0,038 b
40	0,077	0,066
80	0,064	0,050
150	0,105	0,090
p>F (linear)	0,140 ^{ns}	0,049*
p>F (quadrático)	0,001*	0,776 ^{ns}
r ² (linear)	14,20%	72,57%
r ² (quadrático)	98,04%	73,99%

Nota: Médias seguidas por letras distintas, minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Significativo pelo teste F *p≤ 0,05, **p≤ 0,01, ns = não significativo.

Fonte: Própria autora.

Figura 28- Regressão quadrático (a) e regressão linear (b) da atividade da enzima catalase (CAT) do algodoeiro herbáceo em função das doses de N, no cultivo de sequeiro e irrigado, respectivamente. Selvíria- MS, ano agrícola 2017/18.



Fonte: Própria autora.

Conforme Eyidogan e Oz (2007), a diminuição na atividade da CAT promove acúmulo de H_2O_2 , aumentando a peroxidação de lipídios e danos às membranas de plantas sob estresse. Desta forma, o aumento na atividade da CAT é importante para eliminar o acúmulo de H_2O_2 e assim reduzir a peroxidação de lipídios.

Ou seja, nas plantas de sequeiro as doses de N afetaram negativamente a atividade da CAT, uma vez que diminuiu (Tabela 22). Porém o fato da atividade da SOD e da POD não terem sido influenciadas pelas doses de N, evidencia que as doses não foram tão prejudiciais a fim de comprometer todo o aparato antioxidativo. Neste sentido, talvez as plantas de sequeiro estariam se adaptando as doses aplicadas, por isso houve essa redução da atividade da CAT.

Conforme Alscher, Donahue e Cramer (1997), em diferentes condições de estresse os vegetais sofrem alterações em seu metabolismo, ocorrendo à formação de (EROs). Estas formas reativas de oxigênio como peróxido de hidrogênio (H_2O_2), radical superóxido (O_2^-) e o radical hidroxila (OH^-) são conhecidos por oxidar importantes constituintes celulares, tais como ácidos nucléicos, lipídeos de membrana e proteínas, podendo levar as células a morte. Porém as plantas tem um sistema antioxidante bem desenvolvido contra as EROs, tanto limitando sua formação quanto instituindo sua remoção (ALSCHER; ERTURK; HEALTH, 2002), e este sistema constitui uma complexa gama de antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos que regulam as EROs, protegendo as células aos danos oxidativos (VRANOVÁ *et al.*, 2002).

Entre os antioxidantes enzimáticos destacam-se algumas enzimas, como por exemplo a SOD, a CAT e a POD (MITTLER, 2002).

Segundo Konieczny *et al.* (2008), a SOD normalmente atua na primeira linha de defesa contra as EROs, dismutando o superóxido (O_2^-) a peróxido de hidrogênio (H_2O_2), e a CAT assim como a POD também remove o H_2O_2 das células.

O grau de estresse oxidativo em uma célula pode ser determinado pelas quantidades de radicais superóxido, hidroxila e peróxido de hidrogênio (APEL; HIRT, 2004), de modo que a atividade das enzimas antioxidantes é essencial para suprimir quantidades tóxicas de EROs nas células.

O déficit hídrico é um dos principais fatores adversos que limitam o crescimento vegetal e a produtividade da planta devido, principalmente, à redução do potencial hídrico foliar, ao fechamento estomático que provoca o declínio da condutância estomática reduzindo a concentração interna de CO_2 e, conseqüentemente,

diminuindo a taxa fotossintética, promovendo um aumento na formação EROs e estresse oxidativo, dentre outras alterações bioquímicas e moleculares (HONG-BO, 2008). O decréscimo na atividade de enzimas antioxidantes promove acúmulo de H_2O_2 , aumentando a peroxidação de lipídios e danos às membranas de plantas sob estresse (CARNEIRO *et al.*, 2011).

Segundo Gratão *et al.* (2005) o déficit hídrico provoca uma série de alterações bioquímicas, especialmente no sistema de defesa antioxidante. Porém, é importante destacar que as alterações observadas, assim como a adaptação das plantas às condições adversas, estão fortemente associadas à duração e intensidade do estresse (BEHERA; CHOUDHURY, 2003), a espécie (GHANNOUM, 2009) e genótipo analisado (ABRAHAM *et al.*, 2004).

Conforme Giannakoula *et al.* (2010) juntamente com outros mecanismos fisiológicos, a eficiência do sistema antioxidante aumenta a tolerância de plantas às condições de estresse, devido à diminuição de efeitos nocivos causados pelas EROs.

Vale lembrar que no presente experimento as plantas de sequeiro apresentaram diminuição da altura (Tabela 3), diâmetro (Tabela 4), menor produtividade (Tabela 5), área foliar, massa seca da raiz (Tabela 6), redução das clorofilas (Tabela 11) e trocas gasosas (Tabela 12), modificações nos caracteres anatômicos do limbo foliar para evitar a perda de água (Tabela 17), menor número de estômatos adaxiais (Tabela 20), acúmulo de amônia (Tabela 14) e redução no teor de SAC (Tabela 16) que apontaram que houve estresse ocasionado pelo déficit hídrico, ou seja, o desencadeamento das EROs, que poderia culminar em danos oxidativos.

Sendo assim, ficou evidente que nas plantas de sequeiro ocorreu mesmo a formação das EROs, uma vez que ocorreu a ativação do aparato antioxidante pelo aumento da atividade da SOD e da CAT (Tabela 21), sendo que estas enzimas agiram desintoxicando as células dessas plantas contra esses radicais livres a fim de evitarem danos oxidativos pelo déficit hídrico.

5.12 Conclusões

O cultivo irrigado e as doses de N proporcionaram as plantas maior crescimento em altura, aumento do índice SPAD, da taxa fotossintética e dos teores de N, nitrato e sacarose nas folhas.

A produtividade do algodão em caroço (kg ha^{-1}) aumentou com a irrigação.

O diâmetro caulinar, número de ramos e área foliar total foram menores nas plantas de sequeiro, porém desenvolveram mais o crescimento das raízes, e houve um predomínio do controle estomático sobre a fotossíntese, aumentando a eficiência intrínseca do uso de água, além de não terem acumulado feofitinas e o aminoácido prolina nas folhas, indicando que não ocorreu a degradação das moléculas de clorofilas e danos no ajuste osmótico, e o estresse hídrico foi moderado.

Considerando a anatomia foliar, foram observadas modificações no tecido epidérmico, que contribuíram para evitar a perda de água nas plantas de sequeiro. A densidade dos estômatos na face adaxial e abaxial diminuiu com as doses de N. Contudo, as plantas dos tratamentos de irrigação e nitrato de amônio apresentaram aumento na densidade dos estômatos da face abaxial da epiderme.

A atividade das enzimas antioxidantes diferiram, sendo que a peroxidase (POD) não foi influenciada pelos tratamentos, mas a superóxido dismutase (SOD) e a catalase (CAT) aumentaram suas atividades nas plantas de sequeiro, evidenciando que ocorreu a formação das espécies reativas de oxigênio (EROs), porém essas enzimas foram ativadas, indicando redução nos níveis de EROs e ausência de danos oxidativos pelo déficit hídrico.

REFERÊNCIAS

- ABRAHAM, E.M.; HUANG, B.; BONOS, S.A.; MEYER, W.A. Evaluation of drought resistance for Texas Bluegrass, Kentucky Bluegrass, and their hybrids. **Crop Science**, Madison, v. 44, n. 5, p. 1746-1753, 2004.
- ABRANS, M.C.; KLOEPPEL, B.D.; KUBISKE, M.E. Ecophysiological and morphological responses to shade and drought in two contrasting ecotypes of *Prunus serotina*. **Tree physiology**, Oxford, v. 10, p. 343-355, 1992.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMUTH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998, 301 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALSCHER, R. G.; DONAHUE, J. L.; CRAMER, C. L. Reactive oxygen species and antioxidants: Relationships in green cells. **Physiology Plantarum**, Copenhagen, v. 100, n. 2, p. 224-233, 1997.
- ALSCHER, R. G.; ERTURK, N.; HEALTH, L. S. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. **Journal of experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 372, p. 1331-1341, 2002.
- ÁLVAREZ, S., NAVARRO, ALEJANDRA; NICOLÁS, E., SÁNCHEZ-BLANCO, M. J. Transpiration, photosynthetic responses, tissue water relations and dry mass partitioning in *Callistemon* plants during drought conditions. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 129, p. 306 – 312, 2011.
- APPEZZATTO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia vegetal**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006. 438 p.
- ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera**. Introdução ao tratamento biofísico. Piracicaba: Editado pelo autor, 2002.
- ANJUM, S.A.; XIE, X.; WANG, L.; SALEEM, F.; MAN, C.; LEIL, W.; Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, [s. l.], v. 6, p. 2026-2032, 2011.
- 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.

ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 24, p.1-15, 1949.

BALDO, R. et al. Comportamento do algodoeiro cultivar delta opal sob estresse hídrico com e sem aplicação de bioestimulante. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, p. 1804- 1812, 2009. Número especial.

BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. Época de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado monitorada com auxílio de sensor portátil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 3, n. 2, p. 425- 431, 2009.

BATAGLIA, O.C., FURLANI, A.M.C., TEIXEIRA, J.P.F., FURLANI, P.R., GALLO, J.P. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 48 p. (Boletim Técnico, 78).

BATES, L.S.; WALDREN, R.P.; TEARE, I.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, The Hague, v. 39, p. 205-207, 1973.

BELTRÃO, N. E. de M. **Algodão brasileiro em relação ao mundo: Situação e perspectivas**. In: Beltrão, N. E. de M. (ed) O agronegócio do algodão no Brasil. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999, v.1, p.15-27.

BERTELI, F.; CORRALES, E.; GUERRERO, C.; ARIZA, M.J.; PILEGO, F.; VALPUESTA, V. Salt stress increases ferredoxin-dependent glutamate synthase activity and protein level in the leaves of tomato. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 93, n. 2, p. 259-264, 1995.

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

BEHERA, R.K.; CHOUDHURY, N.K. High irradiance-induced changes in carotenoid composition and increase in non-photochemical quenching of Chl a fluorescence in primary wheat leaves. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 160, n.10, p. 1141-1146, 2003.

BIELESKI, R.L.; TURNER, N.A. Separation and estimation of amino acids in crude plant extracts by thin-layer electrophoresis and chromatography. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 17, p. 278-293, 1966.

BOSCO, M. R. O.; OLIVEIRA, A. B.; HERNANDEZ, F. F. F.; LACERDA, C. F. Efeito do NaCl sobre o crescimento, fotossíntese e relações hídricas de plantas de berinjela. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 56, p. 296-302, 2009.

BOYER, J.S. Advances in drought tolerance in plants. **Advances in Agronomy**, New York, v. 56, p. 187-218, 1996.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, Athens, v. 72, n. 1, p. 2, 1976.

BROWN, K. W.; ROSENBERG, N. J. Effect of windbreaks and soil water potential on stomatal diffusion resistance and photosynthetic rate of sugar beets (*Beta vulgaris*). **Agronomy Journal**, Madison, v. 62, p. 4-8, 1970.

CARNEIRO, J.G.A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: FUPEF, 1995. 451 p.

CARNEIRO, M. M. L. C.; DEUNER, S.; OLIVEIRA, P. V.; TEIXEIRA, S. B.; CAMILA PINHO SOUSA, C. P.; BACARIN, M. A.; MORAES, D. M. Atividade antioxidante e viabilidade de sementes de girassol após estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 33, n. 4, p. 752-761, 2011.

CARVALHO, M. da C. S.; FERREIRA, G. B.; STAUT, L. A. **Nutrição, calagem e adubação do algodoeiro**. In: FREIRE, E. C. (ed.). Algodão no Cerrado do Brasil. 2. ed. rev. ampl. Aparecida de Goiânia: Mundial Gráfica, 2011. p. 677-752.

CASTRO, E.M.; PEREIRA, F.J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal: estrutura e função dos órgãos vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.

CATALDO, D.A.; HAROON, M.; SCHRADER, L. E.; YOUNGS, V.L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 6, p. 71-80, 1975.

CHAPPELLE, E. W.; KIM, M. S. Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): an algorithm for a remote estimation of the concentrations of chlorophyll A, chlorophyll B, and carotenoids in soybean leaves. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 39, p. 239-247, 1992.

CHAVES-FILHO, J.T.; STACCIARINI-SERAPHIN, E. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycopersicum* St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 199-204, 2001.

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

CORREIA, K. G.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação do crescimento de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetido ao déficit hídrico. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 1-7, 2004.

DAMIÃO FILHO, C. F. **Morfologia vegetal**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 1993. 243 p. v. 2000.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma: FAO,. 1976, 194 p. (Estudos FAO : Riego e Drenaje, 24).

DUARTE, C. C. **Detecção óptica da eficiência quântica da fotossíntese**. 2003. 109 p. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Pernambuco, 2003.

DUARTE, F.M.; POCOJESKI, E.; SILVA, L.S.; GRAUPE, F.A. & BRITZKE, D. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia com aplicação de ureia em solo de várzea com diferentes níveis de umidade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, p. 705-711, 2007.

DUBOIS, M.; GILLER, K.A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. Colorimetric method for determinations of sugars and related substance. **Analytic Chemistry**, [s. l.], v. 28, p. 350-356, 1956.

ECHER, F. R. **O algodoeiro e os estresses abióticos**: temperatura, luz, água e nutrientes. Cuiabá: Instituto Mato-Grossense do Algodão – IMAmt, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Brasília, DF, 2006b. 306 p.

EL-SHARKAWY, M.A., COCK, M.J.H., HERNANDEZ, A.D.P. Stomatal response to air humidity and its relation to stomatal density in a wide range of warm climate species. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v. 7, p. 137-149, 1985.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018. 356 p.

EVANS, J.R. Leaf anatomy enables more equal access to light and CO₂ between chloroplasts. **New Phytologist**, Cambridge, v. 143, p. 93-104, 1999.

EYIDOĞAN, F.; OZ, M.T. Effect of salinity on antioxidant responses of chickpea seedlings. **Acta Physiology Plant**, [s. l.], v. 29, p. 48-493, 2007.

FARNDEN, K. J. S.; ROBERTSON, J. G. Methods for studying enzyme involved in metabolism related to nitrogen. *In*: BERGSEN, F. J. (ed.) **Methods for Evaluating Biological Nitrogen Fixation**. [S. l.], 1980.

FAVER, K. L.; GERIK, T. J.; THAXTON, P.M. et al. Late season water stress in cotton: Leaf gas exchange and assimilation capacity. **Crop Science**, Madison, v. 36, p. 922-928, 1996.

FERRARI, S. **Plantas de cobertura e doses de nitrogênio em pré-semeadura em algodoeiro**. 2009. 101 f. Tese (Doutorado em Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

FOLONI, J. S. S. et al. Efeito da calagem e sulfato de amônio no algodão. II – Concentração de cátions e ânions na solução do solo e absorção de nutrientes pelas plantas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 433-442, 2006.

FROTA, R. N. B. **Comportamento fisiológico e morfológico da cultura do algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* r. *latifolium*) irrigada nas condições semi-áridas do nordeste brasileiro**. 1994. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Meteorologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1994.

GALMÉS, J.; ARANJUELO, I.; MEDRANO, H.; FLEXAS, J. Variation in Rubisco content and activity under variable climatic factors. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v. 117, p. 73-90, 2013.

GHANNOUM, O. C4 photosynthesis and water stress. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, n. 4, p. 635-644, 2009.

GRATÃO, P.L.; POLLE, A.; LEA, P.J.; AZEVEDO, R.A. Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 32, p. 481-494, 2005.

GIANNAKOULA, A.; MOUSTAKAS, M.; SYRUS, T.; YUPSANIS, T. Aluminum stress induces up-regulation of an efficient antioxidant system in the Al-tolerant maize line but not in the Al-sensitive line. **Environ Exp Bot**, [s. l.], v. 67, p. 487-494, 2010.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, New York, v. 59, n. 2, p. 309-314, 1977.

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

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

GOMES-JUNIOR, R. A.; GRATÃO, P. L.; GAZIOLA, S. A.; MAZZAFERA, P.; LEA, P. J.; AZEVEDO, R. A. Selenium-induced oxidative stress in coffee cell suspension cultures. **Functional Plant Biology**, Clayton, v. 34, n. 5, p. 449-456, 2007.

GUHA, A.; RASINENI, G. K.; REDDY, A. R. Drought tolerance in mulberry (*Morus* spp.): a physiological approach with insights into growth dynamics and leaf yield production. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 46, p. 471-488, 2010.

HALFORD, N.G.; P.C. PURCELL.; D.G.HARDIE. Is hexokinase really a sugar sensor in plants? **Trends in Plant Science**, [s. l.], v. 4, p. 117-120, 1999.

HELYAR, K.R. **The management of acid soils**. In: WRIGHT, R.J.; BALIGAR, V.C.; MURRAN, R.P., eds. Plant-soil interactions at low pH. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991. p. 365-382.

HERNANDEZ, F. B. T.; LEMOS FILHO, M. A. F.; BUZETTI, S. **Software HIDRISA e o balanço hídrico de Ilha Solteira**. Ilha Solteira: FEIS/UNESP, 1995. 45 p. (Série Irrigação, 1).

HINCKLEY, T. M, R, O.; TEYREI. F. DUHME.; M. RICHTER. Temperate Hardwood forests. **Water Deficits and Plant Growth**, [s. l.], v. 6, p. 153-208, 1981.

HIREL, B. WEATHERLEY, C.; CRETIN, C.; BERGOUNIOUX, c.; GADAL, P. Multiple subunit composition of chloroplastic glutamine synthetase of *Nicotiana tabacum* L. **Plant physiology**, Washington, v. 74, p. 4448-450, 1984.

HONG-BO; S.; CHU, L.Y.; JALEEL, C. A.; ZHAO, C.X. Water-deficit stressinduced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, Paris, v. 331, p 215–225, 2008.

HUSSEIN, F.; JANAT, M.; YAKOUB, A. Assessment of yield and water use efficiency of drip-irrigated cotton (*Gossypium hirsutum* L.) as affected by deficit irrigation. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Ankara, v. 35, p. 611-621, 2011.

JADOSKI, S. O.; KLAR, A. E.; SALVADOR, E. D. Relações hídricas e fisiológicas em plantas de pimentão ao longo de um dia. **Ambiência**, Guarapuava, v. 1, n. 1, p. 11-19, 2005

JOHANSEN, D.A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw-Hill, 1940

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, New York, v. 57, n. 2, p. 315- 319, 1976.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 431 p.

KINGSTON-SMITH, A.H.; WALKER, R.P.; POLLOCK, C.J. Invertase in leaves: conundrum or control point? **Journal of Experimental Botany**, v. 50, p. 735-743, 1999.

KONIECZNY, R. et al. Oxidative events during in vitro regeneration of sunflower. **Acta Physiologiae Plantarum**, Kraków, v. 30, n. 1, p. 71-79, 2008.

KONRAD, M. L. F.; SILVA, J. A. B.; FURLANI, P. R.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Revista Bragantia**, v. 64, n. 3, p. 339-347, 2005.

KRAMER, P. J. **Water deficits and plant growth**. In: KRAMER, P. J. Water relations of plants. New York: Academic, 1983. p. 342-389.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. Academic Press, New York: 1995. 495 p.

LAMAS, F. M.; STAUT, L. A. Dosagens de nitrogênio e de cloreto de mepiquat no algodoeiro em sistema plantio direto. In: Congresso Brasileiro de Algodão, 2, 1999, Ribeirão Preto. **Anais** [...] Campina Grande: Embrapa - CNPA, 1999. 716 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RiMa Editora, 2000.

LAWLOR, D. W., CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell and Environment**, [s. l.], v. 25, p. 275–294, 2002.

LIMA, G. P. P. **Efeito do cálcio sobre o teor de poliaminas e atividade da peroxidase e redutase de nitrato em calos de arroz (*Oryza sativa* L. cv. IAC 4440)**. 1994. 84 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas)- Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Botucatu, 1994.

LIMA, M. A.; BEZERRA, M. A.; GOMES FILHO, E.; PINTO, C. M.; ENÉAS FILHO, J. Trocas gasosas em folhas de sol e sombreadas de cajueiro anão em diferentes regimes hídricos. **Revista Ciência Agronômica**, Jaboticabal, v. 41, p. 654-663, 2010.

LIU, J.; ZHU, J.K. Proline accumulation and salt-stress-induced gene expression in a salt hypersensitive mutant of arabidopsis. **Plant Physiology**, Rockeville, v.114, n.2, p.591-596, 1997

LOPES, M. S.; ARAUS, J. L.; VAN HEERDEN, P. D.; FOYER, C. H. Enhancing drought tolerance in C4 crops. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 9, p. 3135-3153, 2011.

LUO, H.; ZHANG, H.; HAN, H.; HU, Y.; ZHANG, Y.; ZHANG, W. Effects on water storage in deeper soil layers on growth yield, and water productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in arid areas of northwestern china. **Irrigation and Drainage**, Oxford, v. 63, n. 1, p. 59-70, 2014.

MACHADO, A. V. **Efeitos do estresse hídrico em plantas jovens de *Hedyosmum brasiliense* Mart. (Chloranthaceae)**. 2004. 65 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MACHADO, E. C. et al. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 12, p. 1161- 1170, 2005.

MARUR, C.J. Curvas pressão-volume e expansão foliar em cultivares de algodoeiro submetidos a déficit hídrico. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, p. 563-569, 1999.

MARSCHNER H. **Mineral nutrition of higher plant**. New York: Academic Press. 1995. 889 p.,

MATTSON, W. J. Herbivory in relation to plant nitrogen content. **Annual Review of Ecology and systematics**, Palo Alto, v. 11, p. 119-161, 1980.

MCCULLOUGH, H. The determination of ammonium in whole blood by a direct colorimetric method. **Clin. Chim. Acta**, [s. l.], v. 17, p. 297-304, 1967.

MEDEIROS, J. C.; FREIRE, E. C.; CUNHA, H. F.; QUEIROZ, J. C.; DEL' AQUA.; J. M.; PEDROZA, M. B.; ASSUNÇÃO, J. H. **Safrá 1999/2000**. Principais ações de pesquisa e transferência de tecnologia para o algodoeiro no Estado de Goiás, Campina Grande: Editora: Embrapa-CNPA, 2001 37p.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Bern, Intern. Potash Institute, 1987. 687p.

MEYER, S. E. Rosa L. *In*: MEYER, S. E. **Woody plant seed manual**. Washington: USDA Forest Service, 1974. Disponível em: <http://www.wpsm.net/Rosa.pdf>. Acesso em: 19 out. 2018.

MINOLTA. **Manual for chlorophyll meter SPAD-502**. Osaka: Minolta Radiometric Instruments Division, 1989. 22 p.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 7, n. 9, p. 405-410, Sept. 2002.

MONTEIRO, J. E. B. A. et al. Estimação da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, 2005.

O'NEILL, PATRICK M.; SHANAHAN, JOHN F.; SCHEPERS, JAMES S. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. **Crop Science**, Madison, v. 46, n. 2, p. 681-687, 2006.

PACE, P.F.; CRALLE, H.T.; EL-HALAWANY, S.H.M.; COTHREN, J.T. & SENSEMAN, S.A. Droughtinduced Changes in Shoot and Root Growth of Young Cotton Plants. **J. Cotton Sci.**, [s. l.], v. 3, p. 183- 187, 1999.

PAIXÃO, A. P.; MARTINS, A. R.; HIRAKI, S. S.; DE CAMARGOS, L. S.; MACHADO, L.H.M.D.; YAMADA, M.; FURLANI JR., E. Anatomic Characterization and photosynthetic Rate in Cotton Genotypes due the Mepiquat Chloride. **Journal of Agricultural Science**, [s. l.], v. 9, n. 12, 2017.

PETTIGREW, W. T.; ZENG, L. Interactions among irrigation and nitrogen fertility regimes on mid-south cotton production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 106, p. 1614-1622, 2014.

PÔRTO, M, L, A; ALVES, J, C; SOUZA, A, P; ARAÚJO, R, C; ARRUDA, J, A; TOMPSON JÚNIOR, U, A. Doses de nitrogênio no acúmulo de nitrato na produção da alface em hidroponia. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, p. 539-543, 2012.

RABE, E. Altered nitrogen metabolism under environmental stress conditions. *In*: PESSARAKLI, M. (ed.). **Handbook of plant and crop stress**. New York: CRC, 1993. p. 349-364.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

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

RAVEN, J.A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, Cambridge, v. 58, n. 1, p. 179-207, 1983.

RODRIGUES, C. L.; BESSA, L. A.; RODRIGUES, A. A.; RODRIGUES, D. A.; FILHO, S. C. V.; RAMPAZZO, D. F. Anatomia de mudas de *Anacardium othonianum* Rizz. com diferentes doses de nitrogênio em solução nutritiva. *In*. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., Natal. **Anais [...]** Natal: [s. n.], 2015.

ROSA, H. A.; SANTOS, R. F.; VIEIRA, M. D.; WERNER, O. V; DELAI, J. M. OLIVEIRA, M. R. Nitrogênio na cultura do Algodão. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 1, n. 1, p. 64-68, 2012.

ROSOLEM, C. A. **Ecofisiologia e manejo da cultura do algodoeiro**. Piracicaba: POTAFOS, 2001. 9 p. (Informações agronômicas, 95).

ROSOLEM, C. A. Fatores fisiológicos que afetam a produtividade do algodoeiro. *In*: FARIAS, F. J. C.; RODRIGUES, S. M. M.; LAMAS, F. M. (ed.). **Tecnologia para o algodoeiro no Cerrado do Mato Grosso. Campina Grande: Embrapa Algodão**, [S. l.: s. n.], 2007. p. 13-23.

ROSOLEM, C. A.; BOGIANI, J. C. Nutrição e estresses nutricionais em algodoeiro. *In*: ROSOLEM, C. A.; KAWAKAMI, E. M.; CHIAVEGATO, E. J.; ECHER, R. F.; BRITO, G. G.; CARVALHO, H. DA R.; SNIDER, J. L.; BOGIANI, J. C.; BERNARDES, M. S.; YEATES, S. **O algodoeiro e os estresses abióticos**: temperatura, luz, água e nutrientes. Embrapa Agropecuária Oeste. Cuiabá: [s. n.], 2014. p. 103-121.

ROSOLÉM, C. A.; MELLIS, V. V. Monitoring nitrogen nutrition in cotton. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 5, p. 1601-1607, 2010.

SAINI, H. S.; WESTGATE, M. E. Reproductive development in grain crops during drought. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 68, p. 59-96, 1999.

SAKAI, W.S. Simple Method for differential staining of paraffin embedded plant material using toluidine blue. **Stain Technology**, Baltimore, v. 48, p. 247-248, 1973.

SANTOS, J. B. et al. Morfofisiologia e produção do algodoeiro herbáceo irrigado com águas salinas e adubado com nitrogênio. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 7, n. 1, p. 86-96, 2016.

SANTOS, F.C; TECHIO, V.H; FREITAS, A.S; CASTRO, E.M; DAVIDE, L.V; SOUZA SOBRINHO, F. Adaptive leaf anatomical characteristics of *Brachiaria ruziziensis* (Poaceae) genotypes in different environments. **Acta Scientiarum**. Biological Sciences, v. 35, n. 4, p. 579-58, 2013.

SCHWARTZ, S.J.; LORENZO, T.V. Chlorophyll in foods. **Crit. Rev. Food Sci. Nutr.**, Fort Lauderdale, v.29, p.1-17, 1990.

SEGATTO, F. B. *et al.* Técnica para o estudo de anatomia da epiderme foliar de batata. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1597-1601, 2004.

SHARMA, P.; DUBEY, R. S. Modulation of nitrate reductase activity in Rice seedlings under aluminium toxicity and water stress: role of osmolytes as enzyme protectant. **J. Plant Physiol**, [s. l.], v. 162, p. 854-864, 2005.

SILVA, N. M. Nutrição mineral e adubação do algodoeiro no Brasil. *In*: CIA, E.; FREIRE, E.C.; SANTOS, W.J. **Cultura do Algodoeiro**. Piracicaba: POTAFÓS, 1999. p. 57-92

SILVA, N.M.; RAIJ, B. Van. Fibras. *In*: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. cap.16, p.107-111. (Boletim Técnico, 100).

SINGH, R.; MALHOTRA, S.P. Carbon fixation, sucrose synthesis and its transport to storage tissues. *In*: GUPTA, A. K.; KAUR, N. **Carbohydrate Reserves in Plants: Synthesis and Regulation**. [S. l.: s. n.], 2000. Cap 1, p. 1-34.

SMITH, C. W.; COTHREN, J. T. **Cotton**: origin, history and production. New York: John Wiley & Sons, 1999. 350 p.

SNOWDEN, M. C.; RITCHIE, G. L.; SIMAO, F. R.; BORDOVSKY, J. P. Timing of Episodic Drought Can Be Critical in Cotton. **Agronomy Journal**, Madison, v. 106, p. 452-458, 2014.

SOUZA, J. G.; BELTRÃO, N. E. de M. Fisiologia. *In*: BELTRÃO, N. E. de M. (org). **O Agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília, DF: EMBRAPA, Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. v. 1, Cap. 4, p. 87-116.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. *In*: FERNANDES, M. S. (ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 215-254.

SRIDHAR, B. M.; HAN, F. X.; DIEHL, S. V.; MONTS, D. L.; SU, Y. Effects of Zn and Cd accumulation on structural and physiological characteristics of barley plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v. 19, p. 15-22, 2007.

TMG: TROPICAL MELHORAMENTO E GENÉTICA. Cultivares: TMG 81 WS [S. l.], 2017. Disponível em: <http://www.tmg.agr.br/cultivar/tmg-81-ws>. Acesso em: 05 nov. 2017

TURNER, N.C. Further progress in crop water relations. *In*: SPARKS, D.L. (ed.). **Advances in agronomy**. New York: Academic, 1997. p. 293-337.

ÜNLÜ, M.; KANBER, R.; KOC, D. L.; TEKIN, S.; KAPUR, B.; Effects of deficit irrigation on the yield and yield components of drip irrigated cotton in a mediterranean environment. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, n. 4, p. 597-605, 2011.

VAN HANDEL, E. Direct microdetermination of sucrose. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 22, n. 02, p. 280-283, 1968.

VRANOVÁ, E.; INZE, D.; VAN BREUSEGEM, F. Signal transduction during oxidative stress. **Journal Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 372, p. 1227-1236, 2002.

ZHU, Y.J. *et al.* Sucrose accumulation in the sugarcane stem is regulated by the difference between the activities of soluble acid invertase and sucrose phosphate synthase. **Plant Physiol**, [s. l.], v. 115, p. 609-616, 1997.

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

WILLIAMS, L.E.; MILLER, A.J. Transporters responsible for the uptake and partitioning of nitrogenous solutes. Annu. **Rev. Plant Physiol. Mol. Biol.**, [s. l.], v. 52, p. 659-688, 2001.

YEMM, E.M.; COCKING, E.C. Estimation of amino acids by ninhydrin. **The Analyst**, London, v. 80, p. 209-213, 1955.

6 **CAPÍTULO 2: RESPOSTA DO ALGODOEIRO HERBÁCEO À APLICAÇÃO DE DOSES E FONTES DE N SOB CONDIÇÕES HÍDRICAS EM AMBIENTE CONTROLADO**

Resumo: O algodoeiro herbáceo necessita para seu desenvolvimento de uma quantidade de água adequada, definida de acordo com o solo e clima. A escassez hídrica em períodos críticos do ciclo da cultura pode comprometer seu desempenho fisiológico. A capacidade de campo (CC) indica a quantidade máxima de água que pode ser retida no solo. O nitrogênio (N) é o nutriente mais importante e o mais extraído pelo algodão. Objetivou-se estudar a resposta do algodoeiro à aplicação de doses e fontes de N sob diferentes condições hídricas em ambiente controlado. O experimento foi realizado em casa de vegetação (CV), localizada no campus II da Unesp, em Ilha Solteira-SP, com temperatura máxima de 30°C e umidade controlada, em 2018/19 (Novembro-Março). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x2x2, sendo os fatores, 3 doses de N: 40; 80 e 150 kg ha⁻¹ e as testemunhas (0 N); 2 fontes de N (ureia e nitrato de amônio) e 2 condições hídricas (capacidade de campo: CC e 1/3 da CC), totalizando 16 tratamentos com 3 repetições, totalizando 48 vasos. O experimento foi conduzido até os 95 DAE. Concluiu-se que a condição hídrica capacidade de campo (CC) e doses de N, estimularam o crescimento em altura das plantas. O diâmetro caulinar, número de estruturas reprodutivas, o aparato fotossintético, os teores de aminoácidos livres totais e prolina, bem como a atividade das enzimas antioxidantes não foram influenciados pelas condições hídricas, sugerindo que o déficit hídrico (1/3 da CC) não desencadeou o estresse nas plantas. As doses de N aumentaram o número de estruturas reprodutivas e o teor de N nas folhas, com maior incorporação do N foliar pelo nitrato de amônio. Os demais macronutrientes foliares, bem como os teores de nitrato e amônia, interagiram de forma distinta aos tratamentos. A atividade da enzima catalase (CAT) não foi influenciada pelos tratamentos, mas as enzimas superóxido dismutase (SOD) e peroxidase (POD) aumentaram suas atividades em função das doses de N, indicando que as doses propiciaram a formação das espécies reativas de oxigênio (EROs), porém estas enzimas foram ativadas para desintoxicar as células do algodoeiro contra esses radicais livres, impedindo danos oxidativos.

Palavras-chaves: Macronutriente. Fisiologia vegetal. Metabolismo antioxidante.

RESPONSE OF HERBACEOUS COTTON TO THE APPLICATION OF RATES AND SOURCES OF N UNDER DIFFERENT WATER CONDITIONS IN A CONTROLLED ENVIRONMENT

Abstract: The herbaceous cotton needs for its development an adequate amount of water, defined according to the soil and climate. Water scarcity in critical periods of the crop cycle can compromise its physiological performance. Field capacity (FC) indicates the maximum amount of water that can be retained in the soil. Nitrogen (N) is the most important nutrient and the most extracted by cotton. The objective was to study the response of cotton to the application of rates and sources of N under different water conditions in a controlled environment. The experiment was carried out in a greenhouse (GH), located on Unesp campus II, in Ilha Solteira-SP, with a maximum temperature of 30°C and controlled humidity, in 2018/19 (November-March). The experimental design used was completely randomized, in a 4x2x2 factorial scheme, with the factors being 3 rates of N: 40; 80 and 150 kg ha⁻¹ and the controls (0 N); 2 sources of N (urea and ammonium nitrate) and 2 water conditions (field capacity: FC and 1/3 of FC), totaling 16 treatments with 3 repetitions, totaling 48 vessels. The experiment was carried out until 95 DAE. It was concluded that the water condition, field capacity (CC) and N doses, stimulated plant height growth. The stem diameter, number of reproductive structures, the photosynthetic apparatus, the levels of total free amino acids and proline, as well as the activity of antioxidant enzymes were not influenced by water conditions, suggesting that the water deficit (1/3 of WC) did not trigger plant stress. The doses of N increased the number of reproductive structures and the content of N in the leaves, with greater incorporation of leaf N by ammonium nitrate. The other leaf macronutrients, as well as the levels of nitrate and ammonia, interacted differently to the treatments. The activity of the catalase enzyme (CAT) was not influenced by the treatments, but the superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) enzymes increased their activities as a function of N doses, indicating that the doses provided the formation of reactive oxygen species (ROS), however these enzymes were activated to detoxify cotton cells against these free radicals, preventing oxidative damage.

Keywords: Macronutrient. Plant physiology. Antioxidant metabolism.

6.1 Introdução

A capacidade de campo (CC) representa o conteúdo de água retida no solo após o excesso de água ter sido drenado e o movimento da água tornar-se desprezível (MEYER; GEE, 1999). O termo foi criado inicialmente por Veihmeyer e Hendricson (1931), numa tentativa de oferecer maior aplicabilidade ao conceito “equivalente de umidade”. Segundo Meyer e Gree (1999) a CC é um estado hídrico específico para cada tipo de solo e observado durante o processo de redistribuição da água. Para a escala do perfil de solo explorado pelas culturas agrícolas, existe uma dependência muito forte entre as características físicas, físico-hídricas e químicas, ligadas principalmente às distribuições de tamanho de partículas e de poros e à quantidade de matéria orgânica dos horizontes pedológicos. Numa escala mais ampla, as profundidades do solo e do lençol freático são fatores influentes na determinação da capacidade de campo.

Diante das exigências de nutrientes pelas culturas, o N é o mais extraído pelo algodoeiro e tem papel fundamental para o crescimento e desenvolvimento da planta. Conforme Souza *et al.* (1999), os componentes de crescimento e desenvolvimento do algodoeiro herbáceo estão correlacionados às condições de água disponível no solo e com o tipo do solo. Os processos de desenvolvimento da planta, a fisiologia, a bioquímica e a morfologia são afetados pela falta de água (DAIE, 1986).

Para o correto planejamento, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação é indispensável determinar a quantidade de água fundamental para as culturas (MENDONÇA *et al.*, 2003). Conforme Azevedo *et al.* (1993) o aproveitamento hídrico das culturas é um parâmetro de essencial importância, responsável pelo condicionamento das atividades metabólicas e fisiológicas das plantas. A capacidade de absorção de nutrientes pelas raízes e a maior eficiência fotossintética das folhas será maior quanto mais disponível a água estiver no solo. Sendo assim, a irrigação revela-se importante para o bom desenvolvimento da cultura, em regiões com déficits hídricos.

Portanto, visando a importância do N na cultura do algodoeiro, e que a condição hídrica é de extrema importância, entender os mecanismos de resposta dessas plantas na CC e com menor disponibilidade hídrica (1/3 da CC) é importante para compreensão do metabolismo dessa espécie herbácea.

6.2 Material e métodos

6.2.1 Localização do experimento

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação tipo Pad & Fan, com temperatura máxima de 30°C e umidade controlada, na UNESP de Ilha Solteira - SP, no Campus II, localizada a 20°43'09" de latitude sul e 51°33'79" de longitude oeste, com altitude em torno de 335 metros, no período de novembro de 2018 a março de 2019.

6.2.2 Caracterização do solo

Foi utilizado um LATOSSOLO VERMELHO distrófico de textura franco argilo arenosa (EMBRAPA, 2018), proveniente da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP (FEPE), localizada na área de produção animal (Fazenda Bovino), no município de Selvíria -MS. A análise química do solo se encontra na Tabela 23. Esse solo coletado foi seco ao ar e peneirado em malha de 4 mm. Depois de homogeneizado, foi realizada a amostragem do mesmo para análises químicas a fim de se determinar a necessidade de correção da acidez através da calagem.

Tabela 23- Características químicas iniciais do solo utilizado no experimento com algodoeiro herbáceo, na profundidade de 0,0-0,20 m, proveniente da Fazenda Bovino da UNESP, localizada no município de Selvíria - MS, 2018.

P _{resina}	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V
mg/dm ³		(CaCl ₂)	mmol _c /dm ³						(%)
2	10	5	0,9	4	4	12	1	20,9	43

SB	S-SO ₄	Ca/CTC	Mg/CTC	M	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mmol _c /dm ³		(%)	(%)	(%)	mg/dm ³				
8,9	6	19	19	10	0,06	0,9	21	8,9	0,1

Fonte: Própria autora.

6.2.3 Determinação da capacidade de campo (CC) nos vasos

A (CC) foi determinada através do método gravimétrico direto de Souza *et al.* (2000), com algumas modificações. Foram utilizados dois vasos teste, iguais aos utilizados para o plantio do algodoeiro do presente experimento, com 1kg de pedra brita depositadas no fundo do vaso e 14 kg do solo proveniente da fazenda (Tabela 23), devidamente pesados. Em seguida, foram sobrepostos na mesma bancada que foi conduzido o experimento, e saturados com a mesma quantidade em litros de água.

Logo depois, os vasos foram cobertos por saco plástico a fim de evitar a evaporação. Bandejas de plástico foram amarradas embaixo da bancada, onde os vasos ficaram em cima, para que ocorresse a drenagem da água através de furos no fundo dos mesmos, por um período não inferior a 20 h, até a estabilização da drenagem livre, oportunidade em que se determinou o conteúdo de água retido nos vasos, indicando a (CC) do solo em litros de água por vaso.

6.2.4 Preparo do solo e adubação

Após o estabelecimento da CC, em novembro de 2018, todos os vasos utilizados no experimento foram devidamente preparados e levados para a casa de vegetação, onde foram sobrepostos em bancada, para que fosse realizado a calagem do solo, com o intuito de se elevar o pH e melhorar a disponibilidade dos nutrientes, assim como as propriedades físicas do solo, conforme análise da (Tabela 23).

Aplicou-se 5 g de calcário em cada vaso, este foi incorporado ao solo. O período de incubação do calcário no solo foi de aproximadamente 30 dias. Nesse período, os vasos foram irrigados manualmente com água, mantendo-os na CC, para que o calcário reagisse ao solo. Após o período de incubação do calcário, procedeu-se a adubação de semeadura, na semana do plantio. Utilizou-se a fórmula 08-28-16, na quantidade de 430 kg ha⁻¹, equivalentes ao estudo em vasos. Para a calagem e a adubação de semeadura, utilizaram-se recomendações técnicas para a cultura do algodoeiro, segundo Raij *et al.* (1997).

6.2.5 Instalação do experimento

A semeadura do algodoeiro herbáceo foi realizada no dia 7 de dezembro de 2018, a uma profundidade de 2 cm utilizando-se 4 sementes por vaso, que emergiram após 5 dias (Figura 29).

O genótipo utilizado foi o TMG 81 WS que possui ciclo tardio, porte alto, com a tecnologia WideStrike®, que confere proteção das plantas contra pragas do gênero lepidópteros (pragas-alvo) que atacam o algodoeiro no Brasil, e tecnologia TN que apresenta tolerância aos nematoides (TMG CULTIVARES, 2019).

Figura 29- Plântulas do algodoeiro herbáceo emergidas, em casa de vegetação. Ilha Solteira- SP, 2019.



Fonte: da própria autora.

6.2.6 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi do tipo inteiramente ao acaso (DIC), em esquema fatorial $4 \times 2 \times 2$, sendo os fatores, 3 doses de N: 40; 80 e 150 kg ha⁻¹ (equivalentes ao estudo em vasos) e a testemunha (0 N); 2 fontes de N (ureia e nitrato de amônio) e 2 condições hídricas (capacidade de campo: CC e 1/3 da CC), totalizando 16 tratamentos com 3 repetições (Figura 30).

Figura 30- Visão geral do experimento com algodoeiro herbáceo em casa de vegetação, aos 35 dias após a emergência (DAE). Ilha Solteira- SP, 2019.



Fonte: da própria autora.

Após a semeadura, procedeu-se o primeiro desbaste aos 15 DAE, deixando duas plântulas por vaso, sendo escolhidas as de tamanho uniforme e bem distribuídas no recipiente. Aos 25 DAE, realizou-se o segundo desbaste ficando uma planta por vaso, totalizando 48 plantas. Desta forma, foram utilizados 48 vasos plásticos de 15 litros cada.

6.2.7 Manejo hídrico

Diariamente, utilizando um medidor de umidade analógico, aferia-se a umidade do solo em cada vaso, a uma profundidade de 20 cm. O medidor de umidade, apresenta uma escala indicativa que varia de 0 a 10, demonstrando a umidade do solo em tempo real e, portanto, direcionando o correto manejo da irrigação, determinando a quantidade de água a ser adicionada em cada vaso na CC e com 1/3 da CC.

As plantas na CC apresentavam valores na escala 10, equivalentes a quantidade em litros de água encontrada anteriormente. Dessa forma, ao realizar as medidas, pelo valor obtido da escala, procedia-se a adição exata da quantidade de água em cada vaso, ou seja, os vasos na (CC) e com 1/3 da CC. A reposição da água ocorria em média a cada 3 dias entre as leituras.

A água perdida pela evapotranspiração foi repostada na CC até os 30 DAE. Após esse período, a partir dos 31 DAE, começou-se a diferenciar os regimes hídricos (plantas na CC e com 1/3 da CC). Aos 45 DAE, aplicaram-se as doses e as fontes de N (ureia e nitrato de amônio) via adubação de cobertura. Após a adubação de cobertura, adicionou-se água aos vasos, conforme seus respectivos sistemas (CC e 1/3 da CC), para minimizar as perdas de N por volatilização da amônia.

6.2.8 Regulador de crescimento e controle fitossanitário

O crescimento vegetativo do algodoeiro foi controlado utilizando-se o regulador de crescimento, cujo ingrediente ativo é o de cloreto de mepiquat (250 g L^{-1}). O regulador foi aplicado com um borrifador spray, via foliar, aos 50 DAE, na dose de 40 mL ha^{-1} ($0,0036 \text{ mL planta}$). O controle fitossanitário foi realizado através da aplicação do inseticida cujo princípio ativo é o acetamiprido (200 g L^{-1}) + piriproxifem (100 g L^{-1}), para o controle de moscas brancas e do acaricida cujo princípio ativo é o espiroclorfenol (240 g L^{-1}), para controle da infestação de ácaros vermelhos, em aplicação única, utilizando-se bomba costal, quando necessário.

6.3 Variáveis analisadas

6.3.1 Características agronômicas

- **Altura da planta (cm):** medição feita com auxílio de régua milimétrica, do colo até a última ramificação do meristema apical, aos 65, 80 e 95 DAE.
- **Diâmetro do caule (mm):** Medido na altura de 2 cm em relação ao solo, realizado com o auxílio de um paquímetro, aos 65, 80 e 95 DAE.
- **Número de estruturas reprodutivas:** contagem de todas as estruturas reprodutivas, como botão floral, flor e maçã, aos 95 DAE.

6.3.2 Análise nutricional

Aos 80 DAE realizou-se a coleta de folhas (5ª folha da haste principal, contada do ápice para a base da planta, para verificar o efeito dos tratamentos estudados na concentração de nutrientes (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Após a coleta, as amostras foram submetidas à secagem em estufa, temperatura de 65°C, com circulação e renovação de ar, moídas, onde foram submetidas à digestão sulfúrica para a determinação de nitrogênio; nítrico-perclórica para a determinação de fósforo (P); enxofre (S) por colorimetria; potássio (K) por fotometria de chama; cálcio (Ca) e magnésio (Mg) por espectrofotometria de absorção atômica, seguindo a metodologia relatada por Bataglia *et al.* (1983).

6.4 Análises bioquímicas

Para todas as análises fisiológicas e bioquímicas foram utilizadas somente folhas adultas, completamente expandidas, do ápice da planta (2ª a 4ª folha) sem sinais de senescência, de todas as plantas do experimento, coletadas aos 90 DAE.

O material vegetal foi estabilizado em nitrogênio líquido, e utilizado para a quantificação de compostos nitrogenados, açúcar solúvel, sacarose, aminoácidos, prolina, clorofilas, proteína e enzimas antioxidantes. Esse material foi macerado em N líquido, envolto em folhas de alumínio e armazenado no freezer a -80°C até serem processadas as análises, conforme descrito nos itens 4.1 à 4.4.

6.4.1 Extração e determinação de compostos nitrogenados

Os compostos nitrogenados foram extraídos de acordo com o método descrito por Bielecki e Turner (1966). Para 1 grama de material vegetal congelado acrescentaram-se 10 mL da solução MCW (60% metanol, 25% clorofórmio e 15% de H₂O). Em seguida, deixou-se na geladeira em tubo Falcon 15 mL vedado por 48 horas. Feito isso, retiraram-se 4 mL do sobrenadante, adicionou-se 1 mL de clorofórmio e 1,5 mL de água deionizada.

Os tubos voltaram para a geladeira, vedados, por 24h e, assim, deu-se a separação das fases alcóolica e aquosa. Somente a fase hidrossolúvel (aquosa) foi utilizada, para as seguintes análises: **análise quantitativa de nitrato**, pelo método proposto por Cataldo *et al.* (1975), **análise quantitativa de amônia**, conforme (MCCULLOUGH, 1967), **análise quantitativa de aminoácidos livres totais**, segundo (YEMM; COCKING, 1955), **análise quantitativa de sacarose**, pelo método de (VAN HANDEL, 1968) e **análise quantitativa de açúcares solúveis totais**, de acordo com (DUBOIS *et al.*, 1956). As leituras das análises foram realizadas em espectrofotômetro.

6.4.2 Extração e determinação da Prolina

Utilizou-se o método proposto por (BATES *et al.*, 1973), com algumas modificações. Macerou-se 0,5 g do material vegetal congelado em 10 mL de ácido sulfosalicílico a 3%. Em seguida, as amostras foram transferidas para tubos falcon e centrifugadas a 10.000 rpm por 10 minutos.

Após a centrifugação, coletou-se 1 mL do sobrenadante que foram inseridos em tubos de ensaio, e adicionou-se 1 mL de ninidrina ácida e 1 mL de ácido acético glacial. Os tubos ficaram por 1 hora em banho-maria a 100°C. Após isso, os tubos foram resfriados em banho de gelo. As amostras foram lidas em espectrofotômetro a um comprimento de onda de 520 nm. As absorbâncias obtidas foram comparadas com a curva padrão de prolina.

6.4.3 Determinação de pigmentos fotossintéticos

A extração para a determinação direta dos pigmentos fotossintéticos foi realizada pelo método proposto por (ARNON, 1949). Utilizaram-se 500 mg do material vegetal macerado congelado com a adição de 5 mL de acetona 80% (v/v), armazenado durante 24h em geladeira. Foi quantificado o teor de clorofila a, clorofila b, clorofila total, carotenóides e feofitinas. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro de varredura.

6.4.4 Extração de proteínas e enzimas antioxidantes

Do material vegetal congelado retiraram-se 300 mg, o qual foi transferido para tubos falcon de 15 mL, onde foi adicionado 5 mL de tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 6,8), contendo 1 mM de ácido etilenodiaminotetracético (EDTA), 3 mM de ditioneitol (DTT), e polivinilpolipirrolidona (PVPP) 4% (p/v), conforme metodologia adaptada de Gomes Junior *et al.* (2007), com algumas modificações. O material foi homogeneizado em mixer e em seguida foi centrifugado em centrífuga refrigerada à 9.000 rpm por 20 minuto à 4°C. O sobrenadante foi transferido para eppendorfs, e posteriormente utilizado nas seguintes análises: **determinação de proteínas solúveis totais**, conforme o método de Bradford (1976), **atividade da enzima Superóxido dismutase (SOD, EC 1.15.1.1)**, segundo (GIANNOPOLITIS; RIES, 1977), **atividade da enzima Catalase (CAT, EC 1.11.1.6)** através do método de Kar e Mishra (1976) e a **atividade da enzima Peroxidase (POD, EC 1.11.1.7)**, segundo (LIMA, 1994). As leituras das análises foram realizadas em espectrofotômetro.

6.5 Trocas gasosas

As avaliações das trocas gasosas foram realizadas aos 90 DAE, utilizando-se um analisador de gás infravermelho IRGA (ADC BioScientific Ltd, modelo LC-Pro) (Figura 31), onde foram mensuradas as taxas de fotossintética líquida (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 na câmara subestomática (C_i - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$). De posse destes dados foram quantificados a eficiência intrínseca do uso da água ($E_i\text{UA} = A / g_s$), eficiência do uso da água ($\text{EUA} = A/E$), eficiência instantânea de carboxilação ($E_iC = A/C_i$) e a razão entre concentrações de CO_2 intra e extracelular

(Ci/Ca). As condições iniciais impostas para realização das medidas foram de 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), providas por lâmpadas LED; 380 ppm de CO_2 e temperatura da câmara em 28 °C. As medidas de trocas gasosas foram realizadas no período da manhã compreendido entre as 8:00 e 12:00 h, tomando-se a 2ª ou 3ª folha adulta, completamente expandida, do ápice do ramo.

Figura 31- Avaliação de trocas gasosas em algodoeiro herbáceo com o equipamento portátil (Infra Red Gas Analyser –IRGA). Ilha Solteira- SP, 2019.



Fonte: da própria autora.

6.6 Análise dos dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando a metodologia descrita por Gomes (2000). Para as doses de N com efeito significativo, foram aplicados os modelos de regressão que melhor se ajustaram aos dados. O software estatístico utilizado foi o SISVAR 5.1 (FERREIRA, 2000).

6.7 Resultados e discussão

6.7.1 Altura e diâmetro caulinar de plantas

Na Tabela 24 estão apresentados os dados obtidos para o crescimento em altura e diâmetro do caule do algodoeiro herbáceo durante o período de permanência em casa de vegetação.

Para a altura, verificou-se diferença entre as condições hídricas em todos os dias após a emergência (DAE), sendo que na capacidade de campo (CC) as plantas cresceram em média 14% mais que as plantas com 1/3 da CC. As médias das fontes de N não diferiram entre si, porém as doses de N influenciaram em todos os DAE, tendo tido ajuste quadrático e conforme as equações (Figura 32) na dose média de 102,05 kg ha⁻¹ obteve-se o ponto máximo de crescimento, cuja média foi de 83,8 cm.

Tabela 24- Altura (cm) e diâmetro caulinar (mm) de plantas de algodoeiro herbáceo em diferentes dias após a emergência (DAE) em função de doses e fontes de N sob condições hídricas. Ilha Solteira – SP, 2019.

Tratamentos	Altura (cm)			Diâmetro caulinar (mm)		
	65 DAE	80 DAE	95 DAE	65 DAE	80 DAE	95 DAE
Condições hídricas (H)	0,001**	0,001**	0,001**	0,154 ^{ns}	0,162 ^{ns}	0,164 ^{ns}
Fontes de N (F)	0,605 ^{ns}	0,770 ^{ns}	0,836 ^{ns}	0,952 ^{ns}	0,951 ^{ns}	0,957 ^{ns}
Doses de N (D)	0,001**	0,001**	0,001**	0,070 ^{ns}	0,079 ^{ns}	0,081 ^{ns}
H x F	0,346 ^{ns}	0,216 ^{ns}	0,171 ^{ns}	0,952 ^{ns}	0,937 ^{ns}	0,936 ^{ns}
H x D	0,142 ^{ns}	0,069 ^{ns}	0,052 ^{ns}	0,284 ^{ns}	0,302 ^{ns}	0,309 ^{ns}
F x D	0,356 ^{ns}	0,282 ^{ns}	0,195 ^{ns}	0,311 ^{ns}	0,299 ^{ns}	0,293 ^{ns}
H x F x D	0,051 ^{ns}	0,060 ^{ns}	0,070 ^{ns}	0,323 ^{ns}	0,329 ^{ns}	0,334 ^{ns}
C.V (%)	5,02	4,96	4,98	6,48	6,29	6,17
Média geral	74,53	75,58	76,45	8,08	8,38	8,58
Condições hídricas						
Capacidade de campo (CC)	80,18 a	81,35 a	82,16 a	7,83	8,14	8,33
1/3 da CC	68,87 b	69,81 b	70,75 b	8,34	8,63	8,82
Fontes de N						
Ureia	74,02	75,33	76,29	8,08	8,38	8,57
Nitrato de amônio	75,04	75,83	76,62	8,09	8,39	8,58
Doses de N (Kg ha⁻¹)						
0	62,91	63,29	63,66	7,51	7,82	8,01
40	75,45	77,29	78,41	8,54	8,83	9,02
80	81,50	82,29	83,08	8,56	8,85	9,04
150	78,25	79,45	80,66	7,73	8,04	8,24
p>F (linear)	0,001**	0,001**	0,001**	0,931 ^{ns}	0,923 ^{ns}	0,922 ^{ns}
p>F (quadrático)	0,001**	0,001**	0,001**	0,101 ^{ns}	0,102 ^{ns}	0,120 ^{ns}
R ² (linear)	54,60%	53,80%	54,74%	0,10%	0,13%	0,13%
R ² (quadrático)	99,98%	99,30%	98,86%	96,48%	96,5%	96,62%

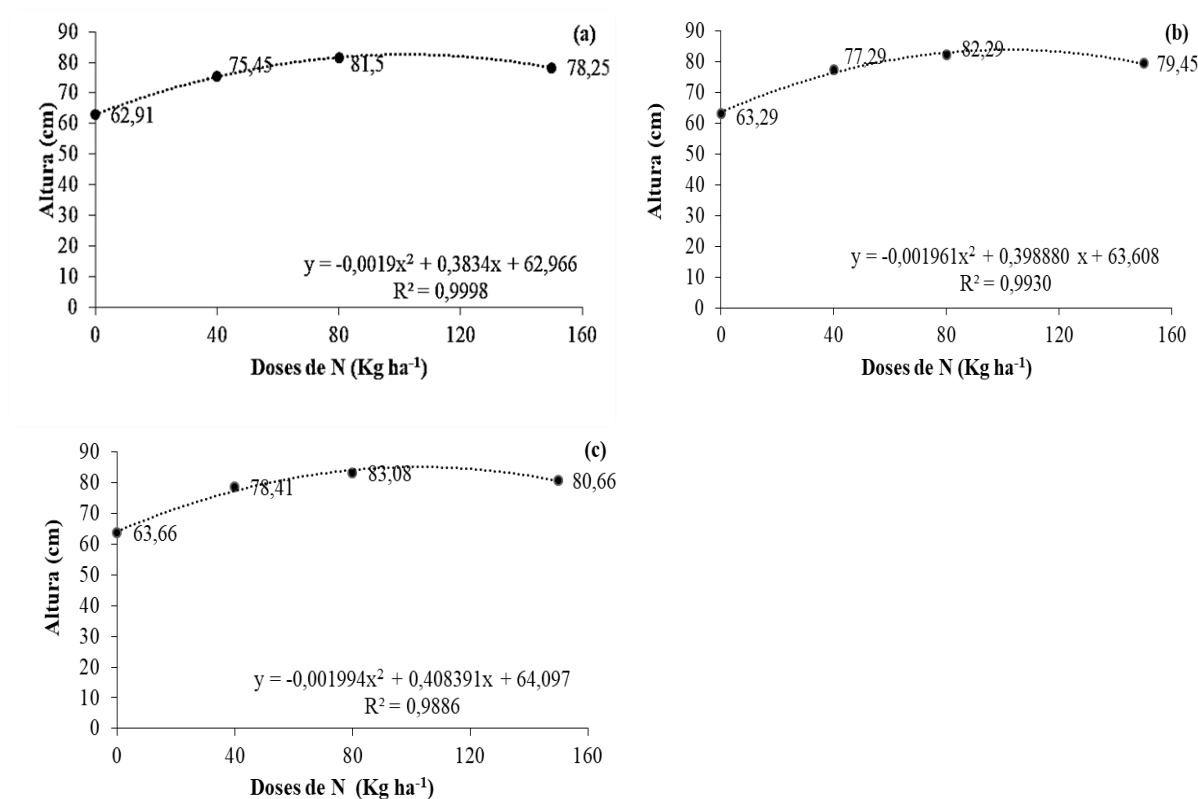
Nota: Significativo pelo teste F *p≤ 0,05, **p≤ 0,01, ns = não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

Os resultados do presente experimento corroboram com Larcher (2006) que afirmou que a menor disponibilidade hídrica resulta em uma diminuição do volume celular e uma progressiva desidratação do protoplasto, onde a primeira e mais sensível resposta é a diminuição da turgescência e, associada a esse evento, a diminuição do crescimento, principalmente em extensão. Conforme Carvalho *et al.* (2007), as doses de N quando são aplicadas adequadamente no algodoeiro conseguem estimular o crescimento, florescimento e regularizam o ciclo da planta.

Quanto ao diâmetro do caule, os tratamentos não influenciaram nenhum DAE. Este resultado corrobora com Ferrari (2009) que ao avaliar o diâmetro caulinar em plantas de algodão também não encontrou efeito significativo em virtude da utilização de doses do fertilizante nitrogenado. O mesmo foi observado por Silva (2016) quando utilizou tratamentos com diferentes fontes e doses de nitrogênio e níquel, demonstrando que se trata de uma característica pouco alterada em função do nitrogênio.

Figura 32- Regressão quadrático para as médias da altura (cm) do algodoeiro herbáceo aos 65 (a), 80 (b) e 95 (c) dias após a emergência (DAE) em função das doses de N. Ilha Solteira – SP, 2019.



Fonte: Própria autora.

6.7.2 Estruturas reprodutivas

Na Tabela 25 encontram-se os dados das estruturas reprodutivas do algodoeiro, sendo a soma dos botões florais, flores e maçãs.

Não houve diferença entre as condições hídricas e fontes, mas as doses de N influenciaram tendo tido um ajuste quadrático das médias, e segundo a equação (Figura 33), na dose calculada de 120,5 kg ha⁻¹ obteve-se o ponto de máximo, com média do número de estruturas de aproximadamente 4,00 unidades por planta.

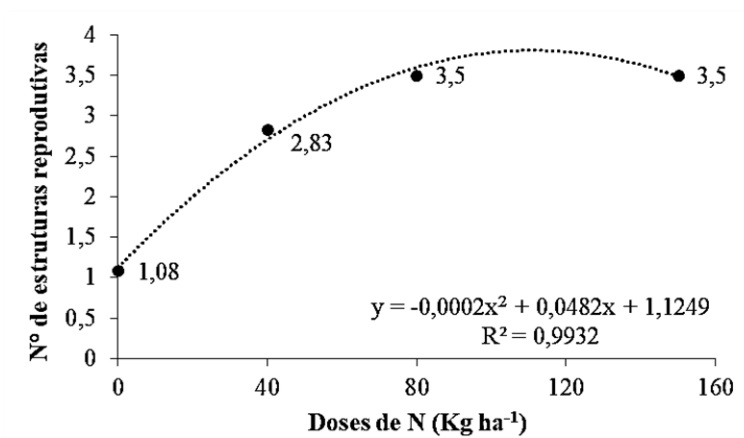
Tabela 25- Número de estruturas reprodutivas (botões florais, flores e maçãs) de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N sob condições hídricas, aos 95 dias após a emergência (DAE). Ilha Solteira – SP, 2019.

Tratamentos	95 DAE
Condições hídricas (H)	0,508 ^{ns}
Fontes de N (F)	0,092 ^{ns}
Doses de N (D)	0,001 ^{**}
H x F	0,237 ^{ns}
H x D	0,488 ^{ns}
F x D	0,112 ^{ns}
H x F x D	0,131 ^{ns}
C.V (%)	15,31
Média geral	2,72
Condições hídricas	
Capacidade de campo (CC)	2,62
1/3 da CC	2,83
Fontes de N	
Ureia	2,45
Nitrato de amônio	3,00
Doses de N (Kg ha⁻¹)	
0	1,08
40	2,83
80	3,50
150	3,50
p>F (linear)	0,001 ^{**}
p>F (quadrático)	0,001 ^{**}
r ² (linear)	68,64%
r ² (quadrático)	99,32%

Nota: Significativo pelo teste F *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, ns = não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

Figura 33- Regressão quadrático das médias do número de estruturas reprodutivas (botões florais, flores e maçãs) do algodoeiro herbáceo em função das doses de N. Ilha Solteira, 2019.



Fonte: Própria autora.

Segundo Rosolem e Bogiani (2014), os nutrientes são transportados do solo para a planta por mecanismos tais como interceptação radicular, difusão e fluxo de massa. Neste último, o N é transportado juntamente com a água, movimentando-se em direção às raízes em função da transpiração da planta. Desse modo, se a planta não estiver transpirando, ou houver pouca água no solo, a absorção de N será prejudicada.

Ou seja, no presente experimento tanto na CC quanto em 1/3 da CC, a água disponibilizada foi suficiente para que as doses de N fossem assimiladas pelas plantas e conduzidos para os drenos reprodutivos. Tal resultado sugere que embora o crescimento em altura do algodoeiro tenha sido menor nas plantas com 1/3 da CC (Tabela 24), este fato não interferiu no aspecto reprodutivo, indicando um “déficit hídrico” moderado, pois conforme Nunes Filho *et al.* (1998), a deficiência hídrica, especialmente na fase reprodutiva, reduz a produtividade, por induzir aumento na queda de botões florais, flores e maçãs.

Vale salientar que os valores apresentados representam a soma da contagem dos botões florais, flores e maçãs, de modo que esses não apresentam produção fixada, e esses valores estão bem abaixo do esperado nesse estágio. O que pode ter influenciado é a luminosidade dentro da casa de vegetação, que é bem menor que em condições de campo. Tendo em vista que o algodoeiro é uma planta do tipo C₃,

com elevada taxa de fotorrespiração e alto ponto de compensação de CO₂, a planta é particularmente muito sensível à escassez de luminosidade (ROSOLEM, 2001).

No período de crescimento, a deficiência em luminosidade promove o "shedding" das estruturas de reprodução da planta do algodão e a deiscência dos frutos que, botanicamente, são cápsulas loculicidas, dependem da luminosidade e do restante da radiação solar e do hormônio etileno (STEWART, 1986).

6.7.3 Análise de macronutrientes no tecido foliar

Na Tabela 26 encontram-se os dados referentes a análise nutricional de folhas do algodoeiro herbáceo. Os tratamentos não influenciaram os teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), mas observou-se para as condições hídricas que ocorreu incremento significativo apenas para o teor foliar de fósforo (P) nas plantas da CC, que apresentaram em média 49,30% maior incorporação em suas folhas que as plantas cultivadas em 1/3 da CC.

Segundo Aquino *et al.* (2012), condições adequadas de umidade são essenciais para que a absorção do fósforo ocorra, já que o mecanismo principal de transporte desse nutriente acontece por meio da difusão. Sendo assim, em ambiente com maior disponibilidade de água, maior é a solubilidade do fósforo, facilitando a difusão do íon no solo.

Para o teor de N nas folhas, houve interação entre os fatores (Fontes x doses de N), e de acordo com o desdobramento (Tabela 27), houve diferença entre as fontes na dose de 150 kg ha⁻¹, sendo que as plantas tratadas com nitrato de amônio obtiveram maior teor de N incorporado em suas folhas em comparação à mesma dose de ureia, em torno de 48%. Ocorreu ajuste significativo linear para a ureia e o nitrato de amônio, Figura 34 (a) e (b), onde o teor de N tendeu a aumentar em função as doses crescentes da ureia e nitrato de amônio, respectivamente.

Tabela 26- Análise de macronutrientes foliares (em g kg⁻¹) de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N sob condições hídricas, aos 80 dias após a emergência (DAE). Ilha Solteira – SP, 2019.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
Condições hídricas (H)	0,168 ^{ns}	0,001 ^{**}	0,784 ^{ns}	0,060 ^{ns}	0,669 ^{ns}	0,252 ^{ns}
Fontes de N (F)	0,040 [*]	0,526 ^{ns}	0,104 ^{ns}	0,133 ^{ns}	0,130 ^{ns}	0,407 ^{ns}
Doses de N (D)	0,001 ^{**}	0,502 ^{ns}	0,025 [*]	0,800 ^{ns}	0,949 ^{ns}	0,950 ^{ns}
H x F	0,376 ^{ns}	0,960 ^{ns}	0,848 ^{ns}	0,793 ^{ns}	0,549 ^{ns}	0,918 ^{ns}
H x D	0,092 ^{ns}	0,515 ^{ns}	0,093 ^{ns}	0,403 ^{ns}	0,413 ^{ns}	0,434 ^{ns}
F x D	0,026 [*]	0,532 ^{ns}	0,531 ^{ns}	0,605 ^{ns}	0,887 ^{ns}	0,565 ^{ns}
H x F x D	0,864 ^{ns}	0,760 ^{ns}	0,170 ^{ns}	0,336 ^{ns}	0,310 ^{ns}	0,494 ^{ns}
C.V(%)	32,62	23,20	20,14	23,05	34,87	26,48
Média geral	19,50	6,47	9,36	24,82	7,25	1,59
Condições hídricas						
Capacidade de campo (CC)	18,20	8,66 a	9,28	26,43	7,41	1,42
1/3 da CC	20,79	4,27 b	9,43	23,21	7,09	1,77
Fontes de N						
Ureia	17,54 b	6,72	8,90	23,55	6,68	1,47
Nitrato de amônio	21,46 a	6,21	9,81	26,09	7,81	1,72
Doses de N (Kg ha⁻¹)						
0	11,26	7,46	8,79	25,82	7,59	1,63
40	12,55	6,05	9,97	24,02	7,27	1,69
80	19,46	6,51	8,23	23,99	7,04	1,45
150	34,72	5,84	10,44	25,45	7,09	1,61
p>F (linear)	0,001 ^{**}	0,238 ^{ns}	0,119 ^{ns}	0,984 ^{ns}	0,630 ^{ns}	0,870 ^{ns}
p>F (quadrático)	0,021 [*]	0,624 ^{ns}	0,252 ^{ns}	0,333 ^{ns}	0,737 ^{ns}	0,795 ^{ns}
R ² (linear)	93,92%	59,98%	24,07%	0,04%	67,06%	7,82%
R ² (quadrático)	99,60%	70,11%	36,90%	96,33%	99,59%	27,41%

Nota: Significativo pelo teste F *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, ns = não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

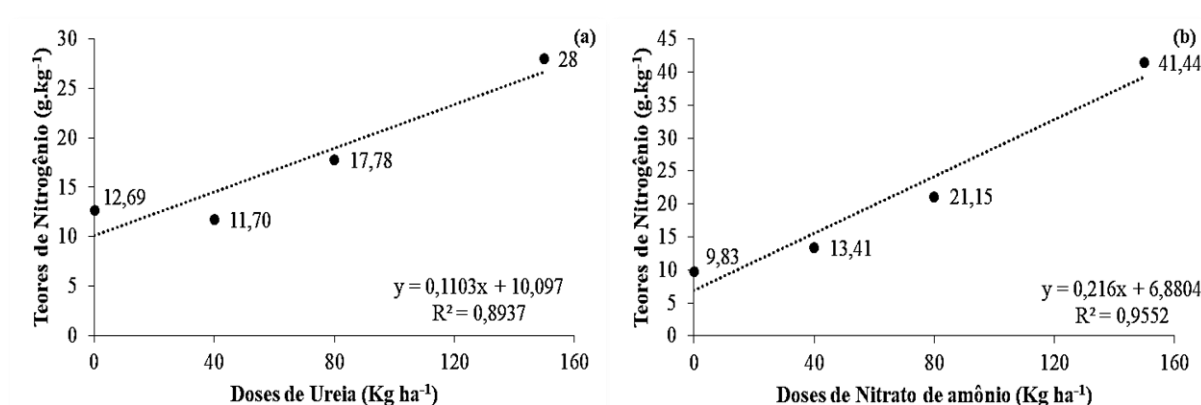
Tabela 27- Desdobramento da interação fontes x doses de N, referentes ao teor de N do algodoeiro herbáceo aos 80 (DAE). Ilha Solteira – SP, 2019.

Doses de N (Kg ha ⁻¹)	Fontes
	Ureia
	Nitrato de amônio
0	12,69
40	11,70
80	17,78
150	28,00 b
p>F (linear)	0,001 [*]
p>F (quadrático)	0,162 ^{ns}
r ² (linear)	89,36%
r ² (quadrático)	97,62%
	9,83
	13,41
	21,15
	41,44 a
	0,001 [*]
	0,055 ^{ns}
	95,51%
	99,98%

Nota: Médias seguidas por letras distintas, minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Significativo pelo teste F *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, ns = não significativo.

Fonte: Própria autora.

Figura 34- Regressão linear dos teores de N foliar da interação fontes x doses de N, aos 80 dias após a emergência (DAE) do algodão herbáceo. Ilha Solteira-SP, 2019.



Fonte: Própria autora.

O maior teor de N foliar no tratamento com nitrato de amônio pode ser explicado por conta do processo de volatilização que a ureia sofre mais facilmente, por meio do qual há perdas de N por consequência da hidrólise enzimática, que é potencializada quando a ureia é aplicada superficialmente no solo (DA ROS; AITA; GIACOMINI, 2005). Segundo Cantarella (1998), fontes de N como o nitrato de amônio, nitrato de cálcio e sulfato de amônio, não estão sujeitas às perdas por volatilização de N-NH₃, em solos ácidos. Por esse motivo, apresentam maior absorção de N quando comparados à ureia.

As doses de N também influenciaram o teor de potássio (K) nas plantas, porém sem ajuste linear ou quadrático significativo das médias (Tabela 26), mas com maior incorporação deste macronutriente na dose de 150 kg ha⁻¹.

Este resultado assemelha-se aos encontrados por Persegil (2012) e Santos (2006), que também verificaram efeito em relação ao teor de K, encontrando maior valor quando foi utilizado doses crescentes de nitrogênio em cobertura.

Maças (2008) também relatou que quando o solo possui quantidades balanceadas de K, as elevadas adubações de nitrogênio frequentemente resultam em aumento de resposta a absorção pela planta e acúmulo foliar de ambos nutrientes. Dentre os macronutrientes, o N e o K são os mais exigidos pelo algodoeiro (CARVALHO *et al.*, 2007).

6.7.4 Pigmentos fotossintéticos

Os teores de pigmentos fotossintéticos estão apresentados na Tabela 28. Não verificou-se diferença significativa quanto a estes pigmentos em nenhum dos tratamentos realizados.

Tabela 28- Teor de pigmentos fotossintéticos: clorofila a (Cl a), clorofila b (Cl b), clorofila total (Cl T), carotenóides (Carot) e feofitinas (Feo), extraídos da massa fresca foliar ($\mu\text{g mL}^{-1}$ de solução) de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N sob diferentes condições hídricas aos 90 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.

Tratamentos	Cl a	Cl b	Cl T	Carot	Feo
Condições hídricas (H)	0,392 ^{ns}	0,346 ^{ns}	0,876 ^{ns}	0,825 ^{ns}	0,933 ^{ns}
Fontes de N (F)	0,080 ^{ns}	0,327 ^{ns}	0,159 ^{ns}	0,171 ^{ns}	0,172 ^{ns}
Doses de N (D)	0,444 ^{ns}	0,271 ^{ns}	0,321 ^{ns}	0,156 ^{ns}	0,299 ^{ns}
H x F	0,181 ^{ns}	0,238 ^{ns}	0,184 ^{ns}	0,177 ^{ns}	0,165 ^{ns}
H x D	0,090 ^{ns}	0,595 ^{ns}	0,362 ^{ns}	0,335 ^{ns}	0,321 ^{ns}
F x D	0,762 ^{ns}	0,685 ^{ns}	0,770 ^{ns}	0,873 ^{ns}	0,777 ^{ns}
H x F x D	0,878 ^{ns}	0,358 ^{ns}	0,595 ^{ns}	0,462 ^{ns}	0,639 ^{ns}
C.V (%)	12,97	20,46	16,11	13,27	15,94
Média geral	9,95	5,24	15,20	8,71	23,67
Condições hídricas					
Capacidade de campo (CC)	9,57	5,77	15,35	8,80	23,78
1/3 da CC	10,33	4,72	15,06	8,61	23,56
Fontes de N					
Ureia	10,74	5,79	16,53	9,32	25,57
Nitrato de amônio	9,16	4,70	13,87	8,09	21,77
Doses N (Kg ha⁻¹)					
0	9,97	4,42	14,40	7,70	22,46
40	9,73	4,67	14,41	8,44	22,53
80	11,07	7,15	18,22	10,46	28,22
150	9,05	4,72	13,77	8,22	21,47
p>F (linear)	0,569 ^{ns}	0,671 ^{ns}	0,984 ^{ns}	0,566 ^{ns}	0,969 ^{ns}
p>F (quadrático)	0,266 ^{ns}	0,139 ^{ns}	0,161 ^{ns}	0,056 ^{ns}	0,147 ^{ns}
R ² (linear)	12,07%	4,49%	0,01%	6,02%	0,04%
R ² (quadrático)	58,68%	60,79%	56,73%	76,51%	57,81%

Nota: Significativo pelo teste F * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, ns = não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

Segundo Taiz e Zeiger (2013), o teor de clorofila nas folhas é influenciado por diversos fatores bióticos e abióticos, estando diretamente relacionado com o potencial de atividade fotossintética das plantas. A quantificação dos carotenóides é relevante, pois atuam como fotoprotetores do excesso de luz, dissipando energia no fotossistema II (PSII) quando este tem uma sobrecarga energética, sendo assim, a quantificação indireta dos carotenóides também é um importante indicador da ambientação do vegetal.

Conforme Duarte (2003), quando as plantas estão sujeitas a algum tipo de estresse, ocorre um aumento no teor de carotenóides reduzindo, assim, a produção de clorofila. Em relação aos teores de feofitinas, Hinckley *et al.* (1981) relataram que o estresse hídrico aumenta o conteúdo de feofitinas nas folhas, nos casos em que se verifica a degradação de clorofila.

Sendo assim, com base nos resultados das clorofilas, carotenóides e feofitinas do presente trabalho, estima-se que as plantas na CC e com 1/3 da CC, bem como em função das fontes e doses de N, tenham o mesmo potencial fotossintético quanto à captação da energia luminosa, e sugere ausência de estresse hídrico (evidenciado pelas concentrações de feofitinas), e tais tratamentos não desencadearam o estresse no aparato fotossintético das plantas, visto que o teor de carotenóides não aumentou.

6.7.5 Trocas gasosas

Em relação aos dados apresentados na Tabela 29, verificou-se que as condições hídricas não interferiram na taxa de fotossíntese líquida (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E) e a concentração interna de CO_2 (C_i) nas plantas. As fontes e as doses de N também não influenciaram tais parâmetros.

Sob condições de déficit hídrico, há efeitos em diversos processos fisiológicos das plantas, visto que o estresse geralmente aumenta a resistência difusiva ao vapor de água mediante o fechamento dos estômatos, reduzindo a transpiração e, conseqüentemente, o suprimento de CO_2 para a fotossíntese. Muitos desses efeitos refletem nos mecanismos de adaptação das plantas ao ambiente (NOGUEIRA; SANTOS, 2000). Os efeitos na planta dependem da duração e da intensidade do estresse hídrico, da fase de desenvolvimento e do genótipo (WILLADINO; CAMARA, 2010).

Tabela 29- Fotossíntese líquida (A- $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (gs- $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E- $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (Ci- $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N sob diferentes condições hídricas aos 90 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.

Tratamentos	A	Gs	E	Ci
Condições hídricas (H)	0,629 ^{ns}	0,304 ^{ns}	0,244 ^{ns}	0,278 ^{ns}
Fontes de N (F)	0,506 ^{ns}	0,084 ^{ns}	0,189 ^{ns}	0,564 ^{ns}
Doses de N (D)	0,345 ^{ns}	0,489 ^{ns}	0,504 ^{ns}	0,931 ^{ns}
H x F	0,983 ^{ns}	0,920 ^{ns}	0,944 ^{ns}	0,653 ^{ns}
H x D	0,290 ^{ns}	0,688 ^{ns}	0,547 ^{ns}	0,312 ^{ns}
F x D	0,415 ^{ns}	0,091 ^{ns}	0,124 ^{ns}	0,374 ^{ns}
H x F x D	0,133 ^{ns}	0,532 ^{ns}	0,341 ^{ns}	0,358 ^{ns}
C.V (%)	21,48	7,29	5,48	6,28
Média geral	14,90	0,74	3,33	324,40
Condições hídricas				
Capacidade de campo (CC)	15,39	0,78	3,25	318,41
1/3 da CC	14,40	0,71	3,41	330,39
Fontes de N				
Ureia	15,68	0,81	3,42	327,41
Nitrato de Amônio	14,11	0,68	3,24	321,39
Doses de N (Kg ha^{-1})				
0	14,77	0,66	3,19	319,54
40	16,67	0,82	3,43	320,00
80	12,82	0,74	3,28	330,75
150	15,33	0,76	3,44	327,33
p>F (linear)	0,715 ^{ns}	0,569 ^{ns}	0,334 ^{ns}	0,592 ^{ns}
p>F(quadrático)	0,535 ^{ns}	0,405 ^{ns}	0,827 ^{ns}	0,830 ^{ns}
r ² (linear)	3,94%	13,37%	40,30%	66,82%
r ² (quadrático)	15,38%	42,19%	42,34%	77,50%

Nota: Significativo pelo teste F *p≤ 0,05, **p≤ 0,01, ns = não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

Segundo Galmés *et al.* (2013), a enzima RuBisCO, responsável pela fixação do CO_2 em plantas, tem sua atividade carboxilase afetada em condições de estresse, devido aumento da concentração de inibidores, redução da regeneração de Ribulose 1,5 bisfosfato (RuBP), alteração do pH do estroma, entre outros fatores, afetando as reações do ciclo de Calvin e diminuindo a assimilação líquida de CO_2 nas plantas.

Conforme Lawlor (1995), o fechamento estomático também é considerado o maior limitante da fotossíntese, pois limita a entrada de CO_2 , podendo reduzir os valores de Ci, limitando a eficiência de carboxilação da Rubisco.

Em uma situação de boa disponibilidade de água, as plantas cultivadas geralmente apresentam altas taxas de transpiração (SALISBURY; ROSS, 1992). Porém, à medida que a água do solo se torna escassa, a planta começa a reduzir sua

taxa transpiratória para a diminuição da perda de água e economia da água disponível no solo (SCHAFFER *et al.*, 1994).

A absorção, o transporte e a perda da água são os processos básicos do balanço hídrico, os quais, pelo menos a longo prazo, devem trabalhar em sintonia para manter um estado hídrico satisfatório, uma relação entre absorção e transpiração vai revelar a direção e o tamanho de um desvio do equilíbrio (LARCHER, 2000). Ko e Pccinni (2009) também fazem menção à relação entre umidade do solo e condutância estomática ao caracterizarem trocas gasosas em plantas de algodoeiro sob limitadas condições de irrigação. Os autores citaram que o estado fisiológico das plantas hidricamente estressadas pode ser verificado, não só através de medidas de umidade do solo, mas também, por intermédio de das trocas gasosas.

Sendo assim, com base nos resultados apresentados na Tabela 29, estima-se que as plantas cultivadas em 1/3 da CC, bem como as fontes e as doses de N, não ocasionaram estresse no algodoeiro, uma vez que não houve redução na assimilação de CO₂ em comparação as plantas na CC. Estima-se que nas plantas cultivadas em 1/3 da CC, com as fontes e doses de N não tiveram a atividade da enzima Rubisco afetada.

Em relação a eficiência intrínseca do uso da água (EiUA), eficiência do uso da água (EUA), eficiência instantânea de carboxilação (EICi) e a razão entre concentrações de CO₂ intra/extracelular (Ci/Ca), apresentados na (Tabela 30), também não houve significância em nenhum dos tratamentos estudados. Estes resultados indicam que 1/3 da CC, bem como as fontes e doses de N não ocasionaram danos à cultura do algodoeiro no âmbito de assimilação da água e na eficiência de assimilação do CO₂. Talvez pelo fato do experimento ter sido conduzido em casa de vegetação, onde a luminosidade é menor e a temperatura máxima foi de 30°C, o aproveitamento da água não tenha diferido entre as condições hídricas, pois há pouca perda desta por evaporação.

Tais resultados confirmam de fato o teor de clorofilas, carotenóides e feofitinas do presente trabalho (Tabela 28), onde diagnosticou-se que as plantas na CC e com 1/3 da CC, bem como em função das fontes e doses de N teriam o mesmo potencial fotossintético quanto a captação da energia luminosa, sugerindo também ausência de estresse hídrico (evidenciado pelas concentrações de feofitinas), onde os tratamentos não desencadearam o estresse no aparato fotossintético das plantas, visto que o teor de carotenóides não aumentou.

Tabela 30- Eficiência intrínseca do uso da água (EiUA= A / gs), eficiência do uso da água (EUA= A/E), eficiência instantânea de carboxilação (EICi= A/Ci) e a razão entre concentrações de CO_2 intra/extracelular (Ci/Ca) de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N sob diferentes condições hídricas, aos 90 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.

Tratamentos	EiUA	EUA	EICi	Ci/Ca
Condições hídricas (H)	0,350 ^{ns}	0,466 ^{ns}	0,366 ^{ns}	0,335 ^{ns}
Fontes de N (F)	0,522 ^{ns}	0,769 ^{ns}	0,844 ^{ns}	0,664 ^{ns}
Doses de N (D)	0,776 ^{ns}	0,534 ^{ns}	0,933 ^{ns}	0,934 ^{ns}
H x F	0,740 ^{ns}	0,856 ^{ns}	0,423 ^{ns}	0,553 ^{ns}
H x D	0,673 ^{ns}	0,300 ^{ns}	0,242 ^{ns}	0,357 ^{ns}
F x D	0,278 ^{ns}	0,369 ^{ns}	0,220 ^{ns}	0,311 ^{ns}
H x F x D	0,340 ^{ns}	0,219 ^{ns}	0,574 ^{ns}	0,395 ^{ns}
C.V (%)	29,25	18,70	1,47	2,73
Média geral	22,30	4,48	0,047	0,792
Condições hídricas				
Capacidade de campo (CC)	24,43	4,72	0,052	0,779
1/3 da CC	20,16	4,25	0,043	0,805
Fontes de N				
Ureia	20,71	4,57	0,048	0,798
Nitrato de Amônio	23,88	4,39	0,047	0,786
Doses de N (Kg ha⁻¹)				
0	24,13	4,63	0,046	0,783
40	20,60	4,83	0,052	0,783
80	21,93	4,02	0,045	0,808
150	22,53	4,45	0,047	0,795
p>F (linear)	0,702 ^{ns}	0,541 ^{ns}	0,899 ^{ns}	0,703 ^{ns}
p>F(quadrático)	0,353 ^{ns}	0,529 ^{ns}	0,959 ^{ns}	0,745 ^{ns}
R ² (linear)	13,47%	17,15%	3,79%	34,97%
R ² (quadrático)	93,94%	35,32%	4,43%	60,44%

Nota: Significativo pelo teste F * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, ns = não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

6.7.6 Quantificação de compostos nitrogenados e açúcares

a) Nitrato e Amônia

Na Tabela 31 estão os valores dos teores de nitrato em tecidos foliares do algodoeiro herbáceo.

As plantas na CC apresentaram maior incorporação de nitrato em suas folhas, evidenciando que a maior disponibilidade hídrica contribuiu para a distribuição desse composto pelo xilema até as folhas dessas plantas. As doses de N também influenciaram, e houve interação entre as condições hídricas x fontes (Tabela 32) e condições hídricas x doses de N (Tabela 33).

Tabela 31- Teor de nitrato (NO_3^-) ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N sob condições hídricas, aos 90 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.

Tratamentos	Nitrato
Condições hídricas (H)	0,020**
Fontes de N (F)	0,156 ^{ns}
Doses de N (D)	0,001**
H x F	0,001**
H x D	0,001**
F x D	0,137 ^{ns}
H x F x D	0,229 ^{ns}
C.V (%)	18,12
Média geral	86,63
Condições hídricas	
Capacidade de campo (CC)	92,17 a
1/3 da CC	81,09 b
Fontes de N	
Ureia	83,34
Nitrato de amônio	89,92
Doses de N (Kg ha^{-1})	
0	71,31
40	82,47
80	93,22
150	99,52
p>F (linear)	0,001**
p>F (quadrático)	0,228 ^{ns}
R ² (linear)	92,91%
R ² (quadrático)	99,62%

Nota: Significativo pelo teste F * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, ns = não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

Pelo desdobramento da interação condições hídricas x fontes (Tabela 32), verificou-se que as plantas tratadas com nitrato de amônio na CC apresentaram maior teor deste composto em suas folhas em comparação as que receberam esta fonte em 1/3 da CC.

Na CC, as plantas que receberam a ureia apresentaram menor incorporação do nitrato foliar em comparação ao nitrato de amônio. Em 1/3 da CC as fontes de N não diferiram quanto ao acúmulo deste composto nitrogenado, evidenciando que nesta condição hídrica as fontes tiveram o mesmo nível de aproveitamento.

Vale lembrar que o nitrato é absorvido pelas raízes e pode então ser reduzido ou armazenado nos vacúolos, ou translocado para a parte aérea, onde será reduzido ou armazenado nos vacúolos foliares (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A capacidade de redução do nitrato é controlada em relação ao nível metabólico total da planta, por sensores e rotas de tradução de sinais. A resposta das

plantas à quantidade de nitrato depende também de outros fatores, além do substrato, entre os quais o material genético e o ambiente como, por exemplo, a luz, os quais influenciam a redutase do nitrato, bem como outros componentes do metabolismo do nitrato (CAMPBELL, 1999).

Tabela 32- Desdobramento da interação condições hídricas x fontes referentes ao teor de nitrato (NO_3^-) ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo, aos 90 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.

Fontes	Condições Hídricas	
	CC	1/3 da CC
Ureia	79,92 aB	86,77 a
Nitrato de amônio	104,42 aA	75,41 b

Nota: Médias seguidas por letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Significativo pelo teste F * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, ns = não significativo.

Fonte: Própria autora.

Conforme o desdobramento da interação condições hídricas x doses de N (Tabela 33), o teor de nitrato foliar só diferiu entre as condições hídricas na dose de 150 kg ha^{-1} , com maior teor acumulado nas plantas da CC.

Na CC as doses de N aumentaram linearmente os teores de nitrato nas folhas (Figura 35 a). As médias em 1/3 da CC tiveram um ajuste quadrático e conforme a equação obtida (Figura 35 b), na dose calculada de $83,31 \text{ kg ha}^{-1}$ obteve-se o ponto máximo de $95,26 \mu\text{mol g}^{-1}$ MF de (NO_3^-).

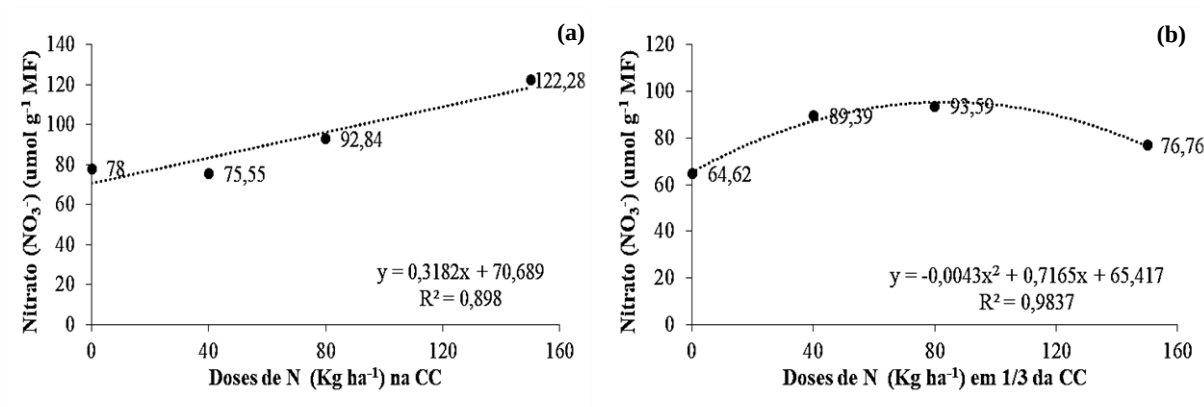
Tabela 33- Desdobramento da interação condições hídricas x doses de N referentes ao teor de nitrato (NO_3^-) ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo, aos 90 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.

Doses de N (Kg ha^{-1})	Condições hídricas	
	CC	1/3 da CC
0	78,00	64,62
40	75,55	89,39
80	92,84	93,59
150	122,28 b	76,76 a
p>F (linear)	0,001**	0,342 ^{ns}
p>F (quadrático)	0,111 ^{ns}	0,002**
r ² (linear)	89,80%	7,37%
r ² (quadrático)	97,79%	98,37%

Nota: Médias seguidas por letras distintas, minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Significativo pelo teste F * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, ns = não significativo.

Fonte: Própria autora.

Figura 35- Regressão linear e regressão quadrático da interação condições hídricas x doses de N do teor de nitrato (NO_3^-) ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo aos 90 DAE. Ilha Solteira- SP, 2019.



Fonte: Própria autora.

Na Tabela 34 encontram-se os dados referentes aos teores de amônia nos tecidos foliares do algodoeiro herbáceo. As doses foram significativas, porém houve interação entre as fontes x doses de N (Tabela 35).

De acordo com o desdobramento da interação fontes x doses de N (Tabela 35), comparando as fontes, verificou-se diferença entre as médias somente na dose de 150 kg ha^{-1} , sendo que as plantas tratadas com nitrato de amônio apresentaram maior teor de amônia em suas folhas.

Ao comparar as médias isoladas da ureia, constatou-se que houve um ajuste linear dos valores obtidos, com redução acentuada na dose de 150 kg ha^{-1} em torno de 31,35% comparado as testemunhas, Figura 36 (a). Para o nitrato de amônio, houve um ajuste quadrático das médias, sendo que na dose calculada de $82,1 \text{ kg ha}^{-1}$ obteve-se o ponto de mínimo ($9,30 \mu\text{mol g}^{-1}$ MF), por volta de 27,90% comparado as testemunhas, Figura 37 (b).

Tabela 34- Teor de amônia (NH_4^+) ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N sob condições hídricas aos 90 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.

Tratamentos	Amônia
Condições hídricas (H)	0,255 ^{ns}
Fontes de N (F)	0,296 ^{ns}
Doses de N (D)	0,048*
H x F	0,644 ^{ns}
H x D	0,270 ^{ns}
F x D	0,032*
H x F x D	0,118 ^{ns}
C.V (%)	21,35
Média geral	10,57
Condições hídricas	
Capacidade de campo (CC)	10,19
1/3 da CC	10,95
Fontes de N	
Ureia	10,22
Nitrato de amônio	10,91
Doses de N (Kg ha^{-1})	
0	12,10
40	10,27
80	10,47
150	9,43
p>F (linear)	0,013*
p>F (quadrático)	0,429 ^{ns}
R ² (linear)	78,80%
R ² (quadrático)	86,11%

Nota: Significativo pelo teste F * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, ns = não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

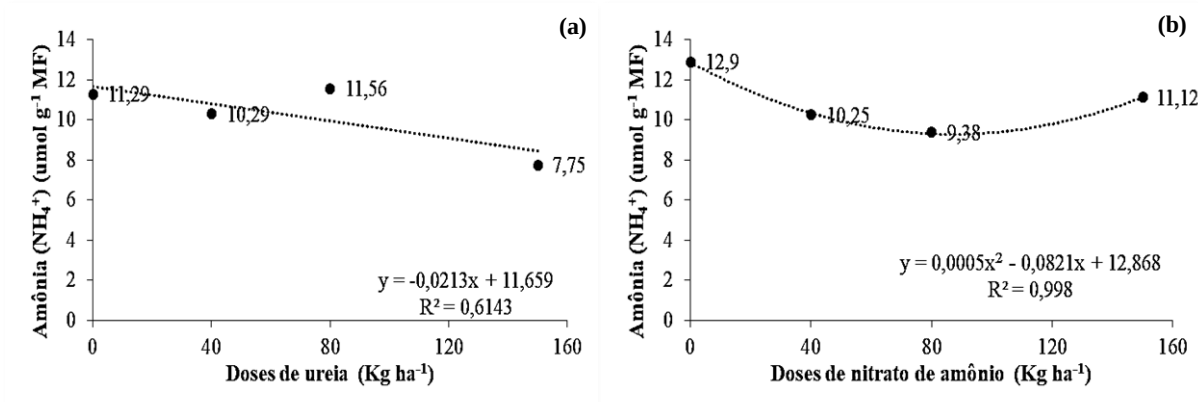
Tabela 35- Desdobramento da interação fontes x doses de N referentes ao teor de amônia (NH_4^+) ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo, aos 90 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.

Doses de N (Kg ha^{-1})	Fontes	
	Ureia	Nitrato de amônio
0	11,29	12,90
40	10,29	10,25
80	11,56	9,38
150	7,75 b	11,12 a
p>F (linear)	0,015*	0,257 ^{ns}
p>F (quadrático)	0,158 ^{ns}	0,015*
r ² (linear)	61,39%	16,69%
r ² (quadrático)	80,93%	99,78%

Nota: Médias seguidas por letras distintas, minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Significativo pelo teste F * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, ns = não significativo.

Fonte: Própria autora.

Figura 36- Regressão linear e regressão quadrático da interação fontes x doses de N para os teores de amônia (NH_4^+) ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo, aos 90 DAE. Ilha Solteira- SP, 2019.



Fonte: Própria autora.

Conforme Sharma e Dubey (2005) o metabolismo do N é influenciado por inúmeros processos, a amônia em especial pode ser afetado de forma negativa pela falta de água, se acumulando nas células e podendo causar toxidez. O estresse hídrico afeta negativamente o metabolismo do N nas plantas, o que acarreta acumulação de amônia (RABE, 1993).

A rota de assimilação do nitrato em plantas superiores envolve dois estágios sequenciais. Primeiro ocorre a conversão do nitrato à amônia e posteriormente a amônia é então assimilada nos aminoácidos glutamina e glutamato, os quais servem para translocar nitrogênio orgânico de fontes para drenos (LAM *et al.*, 1996).

Ou seja, embora na CC as plantas tenham apresentado maior teor de nitrato em suas folhas (Tabela 31), a conversão do nitrato em amônia não ter diferido entre as condições hídricas indica que não houve estresse hídrico nas plantas com 1/3 da CC, devido ao não acumulo deste soluto nas células foliares.

O fato das doses das fontes de N terem reduzido a concentração da amônia foliar (Tabela 35) sugere uma adaptação das plantas aos sais contidos nas fontes.

b) Aminoácidos livres totais, Proteínas, Prolina, Sacarose e Açúcares solúveis totais

Constatou-se que os teores de aminoácidos livres totais (ALT) e prolina (PROL), não diferiram nas plantas entre as condições hídricas e fontes, e as doses de N não influenciaram (Tabela 36).

Os teores das proteínas solúveis totais (PST), sacarose (SAC) e os açúcares solúveis totais (AST) também não diferiram entre as condições hídricas e fontes, porém as doses de N influenciaram linearmente diminuindo os valores (Figura 37).

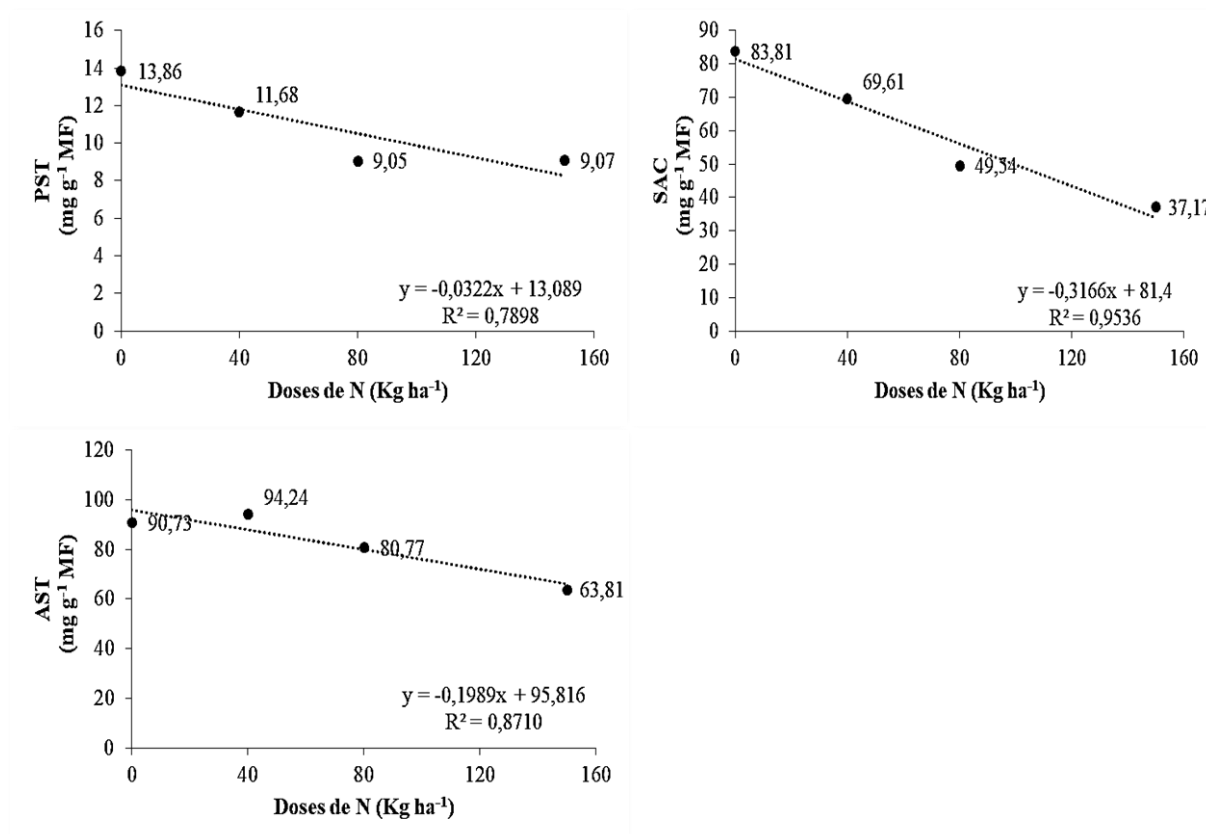
Tabela 36- Teores de aminoácidos livres totais: ALT (mg g⁻¹ MF), proteínas solúveis totais: PST (mg g⁻¹ MF), prolina: PROL (mg g⁻¹ MF), sacarose: SAC (mg g⁻¹ MF) e açúcares solúveis totais (AST) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo, aos 90 DAE, em função de doses e fontes de N em diferentes condições hídricas. Ilha Solteira – SP, 2019.

Tratamentos	ALT	PST	PROL	SAC	AST
Condições hídricas (H)	0,987 ^{ns}	0,470 ^{ns}	0,215 ^{ns}	0,180 ^{ns}	0,496 ^{ns}
Fontes de N (F)	0,080 ^{ns}	0,280 ^{ns}	0,455 ^{ns}	0,294 ^{ns}	0,539 ^{ns}
Doses de N (D)	0,242 ^{ns}	0,001 ^{**}	0,473 ^{ns}	0,001 ^{**}	0,001 ^{**}
H x F	0,119 ^{ns}	0,800 ^{ns}	0,964 ^{ns}	0,522 ^{ns}	0,727 ^{ns}
H x D	0,287 ^{ns}	0,331 ^{ns}	0,119 ^{ns}	0,270 ^{ns}	0,051 ^{ns}
F x D	0,073 ^{ns}	0,514 ^{ns}	0,480 ^{ns}	0,051 ^{ns}	0,052 ^{ns}
H x F x D	0,132 ^{ns}	0,728 ^{ns}	0,887 ^{ns}	0,263 ^{ns}	0,419 ^{ns}
C.V (%)	8,22	27,11	33,40	26,25	18,16
Média geral	25,74	10,91	0,269	60,03	82,39
Condições hídricas					
Capacidade de campo (CC)	25,74	11,22	0,286	63,15	80,90
1/3 da CC	25,73	10,60	0,253	52,92	83,87
Fontes de N					
Ureia	25,19	11,38	0,259	62,46	81,05
Nitrato de amônio	26,29	10,45	0,279	57,61	83,73
Doses de N (Kg ha⁻¹)					
0	25,45	13,86	0,259	83,81	90,73
40	24,93	11,68	0,290	69,61	94,24
80	26,68	9,05	0,288	49,54	80,77
150	25,90	9,07	0,240	37,17	63,81
p>F (linear)	0,335 ^{ns}	0,001 ^{**}	0,477 ^{ns}	0,001 ^{**}	0,001 ^{**}
p>F (quadrático)	0,528 ^{ns}	0,052 ^{ns}	0,164 ^{ns}	0,164 ^{ns}	0,141 ^{ns}
R ² (linear)	21,76%	78,98%	20,15%	95,36%	87,10%
R ² (quadrático)	31,01%	97,37%	98,91%	98,61%	83,87%

Nota: Significativo pelo teste F *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, ns = não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

Figura 37- Regressão linear dos teores de proteínas solúveis totais: PST (mg g⁻¹ MF), sacarose: SAC (mg g⁻¹ MF) e açúcares solúveis totais: AST (mg g⁻¹ MF) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo, aos 90 (DAE) em função de doses de N. Ilha Solteira – SP, 2019.



Fonte: Própria autora.

Segundo Larcher (2006), sob influência de estresses ambientais, a síntese de proteínas é inibida e a degradação é acelerada, o que leva a um acúmulo de aminoácidos e aminas livres, apresentando como característica marcante o distúrbio no metabolismo das proteínas, uma mudança nas proporções de aminoácidos e, possivelmente, um aumento elevado na concentração de prolina livre, sendo este, talvez, o aminoácido mais amplamente atribuído como osmólito compatível, cuja síntese, transporte, acumulação e degradação podem ser atribuídas como respostas adaptativas das plantas ao estresse hídrico (MITTLER, 2002).

O fato das doses de N terem reduzido os teores de PST nas folhas, pode indicar uma adaptação das plantas às doses de N, não caracterizando um estresse severo, pois os teores de ALT e PROL não se acumularam nos tecidos foliares. Pelo fato das condições hídricas não terem alterado o metabolismo dos ALT e da PROL, indica a inexistência de déficit hídrico nas plantas cultivadas em 1/3 da CC.

Conforme Salerno e Curatti (2003) a sacarose (SAC) é o principal produto da fotossíntese e é amplamente envolvida no crescimento, desenvolvimento, armazenamento e sinalização de estresse nas plantas. Durante o dia a planta acumula SAC e realiza a exportação para o resto da planta. À noite a SAC e o amido armazenados são remobilizados, mantendo a exportação de SAC para os drenos e tecidos, a fim de sustentar o gasto de energia realizado durante a respiração foliar (LUNN; HATCH, 1995).

Vale lembrar que a fotossíntese líquida (Tabela 29) não diferiu entre as plantas da CC e com 1/3 da CC, e nem entre as fontes de N, o que refletiu nos teores de SAC, não diferindo também.

A SAC sintetizada no citosol pode ser translocada da folha ou temporariamente armazenada dentro da folha (SINGH; MALHOTRA, 2000). Segundo Oliveira Neto (2008), assim como os demais açúcares, a SAC pode manter o nível de água da folha, bem como induzir um ajustamento osmótico na planta. Por isso, há aumento de SAC na ocorrência de estresse hídrico.

Marur (1999) verificou que em algumas variedades de plantas de algodoeiro submetidas ao estresse hídrico ocorreu um ajustamento osmótico como consequência do acúmulo de solutos no simplasto, apresentando um aumento no teor de carboidratos redutores, que se mostrou associado à diminuição do potencial hídrico.

Sendo assim, pelo fato de no presente experimento os teores da SAC e dos AST nas diferentes condições hídricas não terem diferido, indica que as plantas cultivadas em 1/3 da CC não necessitaram fazer o controle do ajuste osmótico. Este fato está de acordo com os dados das trocas gasosas (Tabela 29), onde verificou-se que não houve diferença na condutância estomática (gs) das plantas nas condições hídricas.

Embora as doses de N tenham diminuído os teores de SAC, estas não tiveram efeito significativo direto nas trocas gasosas (Tabela 29).

Pelo fato das doses de N terem aumentado o teor de N foliar (Tabela 27), esperava-se o mesmo comportamento para as doses em relação aos compostos nitrogenados (PST, SAC e ALT), porém ocorreu o inverso.

O N é considerado elemento essencial para as plantas, pois está presente na composição das mais importantes biomoléculas, tais como ATP, NADH, NADPH, clorofila, proteínas e inúmeras enzimas (HARPER, 1994). Ou seja, as PST, SAC e ALT poderiam ser usadas como armazenamento de N.

Os órgãos fonte (folhas) são responsáveis pela produção de assimilados a partir da fotossíntese. Os assimilados tanto podem ser usados como fonte energética necessária ao funcionamento da planta, através da respiração, como serem transportados e armazenados temporariamente em órgãos de reserva ou nos drenos, representados pelas raízes, meristemas e frutos das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2015). Segundo Marcelis (1996), a força de fonte não é considerada neste processo, frequentemente, como exercendo efeito direto na distribuição de matéria seca, mas atua indiretamente, via formação de órgãos drenos. O desenvolvimento de frutos é um poderoso dreno de carboidratos (ALVARENGA, 2004).

Sendo assim, o que pode ter ocorrido para diminuição das PST, SAC e AST em função das doses de N, é que estes compostos foram translocados para os drenos reprodutivos (botões florais, flores e maçãs), como foi observado na (Tabela 25), onde as doses de N tenderam a aumentar o crescimento e o número das estruturas reprodutivas linearmente, ocasionando paralelamente a diminuição destes componentes nas folhas.

6.7.7 Enzimas do metabolismo antioxidante

Na Tabela 37 encontram-se os dados referentes à atividade das enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e a peroxidase (POD) presente nas folhas do algodoeiro herbáceo.

A enzima SOD e a POD não tiveram suas atividades influenciadas pelas condições hídricas e fontes, porém as doses de N influenciaram linearmente, aumentando a atividade (Figura 38) e (Figura 39), respectivamente. A enzima CAT não teve sua atividade influenciada por nenhum dos tratamentos.

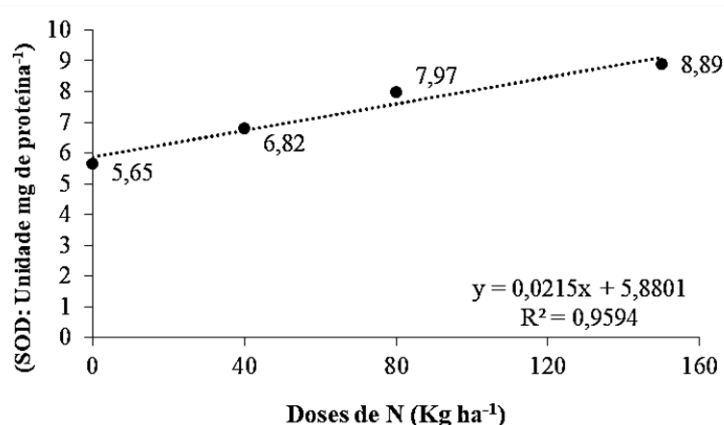
Tabela 37- Atividade das enzimas antioxidantes Superóxido Dismutase (SOD: Unidade mg de proteína⁻¹), Catalase (CAT: umol H₂O₂ decomposto min⁻¹ mg de proteína⁻¹) e Peroxidase (POD: umol de H₂O₂ decomposto min⁻¹ mg de proteína⁻¹), em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N sob condições hídricas, aos 90 DAE. Ilha Solteira- SP, 2019.

Tratamentos	SOD (EC 1.15.1.1)	CAT (EC 1.11.1.6)	POD (EC 1.11.1.7)
Condições hídricas (H)	0,262 ^{ns}	0,469 ^{ns}	0,228 ^{ns}
Fontes de N (F)	0,635 ^{ns}	0,972 ^{ns}	0,800 ^{ns}
Doses de N (D)	0,008 ^{**}	0,900 ^{ns}	0,004 ^{**}
H x F	0,782 ^{ns}	0,970 ^{ns}	0,129 ^{ns}
H x D	0,269 ^{ns}	0,660 ^{ns}	0,442 ^{ns}
H x D	0,497 ^{ns}	0,464 ^{ns}	0,228 ^{ns}
S x H x D	0,410 ^{ns}	0,610 ^{ns}	0,479 ^{ns}
C.V(%)	13,10	1,75	1,52
Média geral	7,33	0,035	0,088
Condições hídricas			
Capacidade de campo (CC)	6,97	0,031	0,082
1/3 da CC	7,72	0,039	0,094
Fontes de N			
Ureia	7,18	0,035	0,087
Nitrato de amônio	7,50	0,036	0,089
Doses de N (Kg ha⁻¹)			
0	5,65	0,033	0,065
40	6,82	0,031	0,076
80	7,97	0,042	0,096
150	8,89	0,035	0,116
p>F (linear)	0,001 ^{**}	0,811 ^{ns}	0,001 [*]
p>F (quadrático)	0,473 ^{ns}	0,739 ^{ns}	0,867 ^{ns}
r ² (linear)	95,94%	10,06%	98,85%
r ² (quadrático)	99,78%	29,66%	99,03%

Nota: Significativo pelo teste F *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, ns = não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

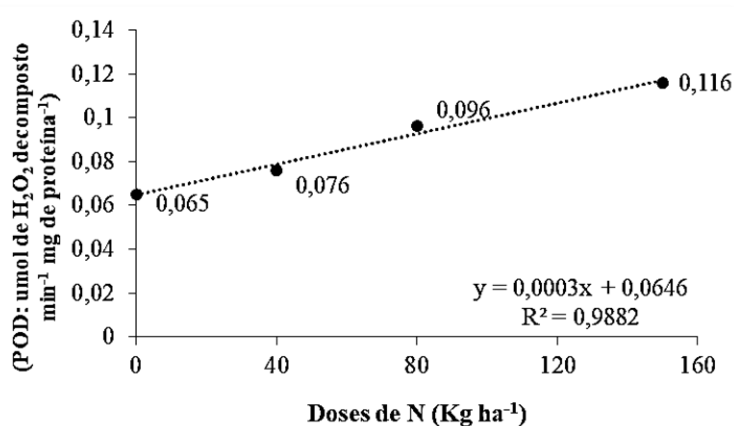
Fonte: Própria autora.

Figura 38- Regressão linear da atividade da enzima SOD (Unidade mg de proteína⁻¹), aos 90 DAE do algodoeiro herbáceo. Ilha Solteira – SP, 2019.



Fonte: Própria autora.

Figura 39- Regressão linear da atividade da enzima (POD: $\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2$ decomposto $\text{min}^{-1} \text{mg de proteína}^{-1}$), aos 90 DAE do algodoeiro herbáceo. Ilha Solteira – SP, 2019.



Fonte: Própria autora.

O grau de estresse oxidativo em uma célula pode ser determinado pelas quantidades de radicais livres produzidos (APEL; HIRT, 2004), de modo que a atividade das enzimas antioxidantes é essencial para suprimir quantidades tóxicas de espécies reativas de oxigênio (EROs) nas células. O aumento na atividade de antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos pode ser uma resposta adaptativa das células ao aumento das EROs (MITTLER, 2002).

Vale salientar que a enzima SOD normalmente atua na primeira linha de defesa contra as espécies reativas de oxigênio (EROs), dismutando o superóxido (O_2^-) a peróxido de hidrogênio (H_2O_2). A CAT assim como a POD também remove o H_2O_2 das células (KONIECZNY *et al.*, 2008).

Pelo fato da CAT não ter tido sua atividade influenciada por nenhum dos tratamentos (Tabela 37), indica que a formação e acúmulo das EROs, em especial o H_2O_2 nas células das plantas não foi tão intenso a ponto de também ativar esta enzima.

Segundo Siegel (1993), sob condições de estresse, as plantas tendem a aumentar a atividade da POD e às vezes é a primeira enzima a ter atividade alterada, independente do substrato utilizado ou do estresse aplicado. Quando ocorre um pequeno aumento da atividade da POD pode ser a resposta dessa enzima ao estresse oxidativo, pois a variação na atividade desta enzima pode ser uma adaptação do tecido vegetal a esta condição (GASPAR *et al.*, 1985).

Desta forma, é possível concluir que no presente experimento as doses crescentes de N promoveram a formação das espécies reativas de oxigênio (EROs), uma vez que a atividade da SOD e da POD aumentaram (Figura 39) e (Figura 40).

O que pode ter originado a formação dessas EROs foi a influência que as doses de N exerceram sobre algumas características do presente estudo, como por exemplo aumentando a altura das plantas (Tabela 24), número de estruturas reprodutivas (Tabela 25), teores de N e K foliares (Tabela 26), teor de nitrato (Tabela 31), bem como também diminuíram os teores de amônia (Tabela 35), PST, SAC e AST (Tabela 36) dos tecidos foliares.

O aumento da atividade das enzimas SOD e POD em função das doses de N, indica um papel protetor dessas enzimas contra o estresse oxidativo. Segundo Jaleel *et al.* (2007) o aumento na atividade da SOD é conhecido por conferir tolerância ao estresse oxidativo. A POD agiria como uma barreira contra o efeito prejudicial do estresse pela quebra de substâncias tóxicas geradas como, por exemplo, os peróxidos (DHINDSA; MATAWE, 1981).

Importante salientar que os teores de pigmentos fotossintéticos indicaram ausência de estresse hídrico (Tabela xx), fato confirmado pela atividade das enzimas antioxidantes, que nem foram ativadas nesse tratamento.

Dessa forma, pelos resultados obtidos no presente experimento da atividade das enzimas antioxidantes, constatou-se efetivamente que as doses de N formaram as EROs, porém as enzimas SOD e POD agiram desintoxicando as células do algodoeiro contra esses radicais livres, não desencadeando o estresse oxidativo.

6.8 Conclusões

A condição hídrica capacidade de campo (CC) e doses de N, estimularam o crescimento em altura das plantas.

O diâmetro caular, número de estruturas reprodutivas, o aparato fotossintético, os teores de aminoácidos livres totais e prolina, bem como a atividade das enzimas antioxidantes não foram influenciados pelas condições hídricas, sugerindo que o déficit hídrico (1/3 da CC) não desencadeou o estresse nas plantas.

As doses de N aumentaram o número de estruturas reprodutivas e o teor de N nas folhas, com maior incorporação do N foliar pelo nitrato de amônio. Os demais macronutrientes foliares, bem como os teores de nitrato e amônia, interagiram de forma distinta aos tratamentos.

A atividade da enzima catalase (CAT) não foi influenciada pelos tratamentos, mas as enzimas superóxido dismutase (SOD) e peroxidase (POD) aumentaram suas atividades em função das doses de N, indicando que as doses propiciaram a formação das espécies reativas de oxigênio (EROs), porém estas enzimas foram ativadas para desintoxicar as células do algodoeiro contra esses radicais livres, impedindo danos oxidativos.

REFERÊNCIAS

- APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolismo, oxidative stress, and signal transduction. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 55, p. 373- 399. 2004.
- AQUINO, L. A.; AQUINO, R. F.; SILVA, T. C.; DOS SANTOS, D. F.; BERGER, P. G. Aplicação do fósforo e da irrigação na absorção e exportação de nutrientes pelo algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, [s. l.], v. 16, n. 4, 2012.
- ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxydase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 24, p. 1-15, 1949.
- ASHRAF M.; HARRIS, P. J. C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, Limerick, v. 166, n. 1, p. 3-16, 2004.
- AZEVEDO, P. V. de; RAMANA RAO, T. V.; AMORIM NETO, M. da S.; PEREIRA, J. R. C.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; MACIEL G. F. Necessidades hídricas da cultura do Algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 7, p. 863-870, 1993.
- BATAGLIA, O.C., FURLANI, A.M.C., TEIXEIRA, J.P.F., FURLANI, P.R., GALLO, J.P. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 48 p. (Boletim Técnico, 78).
- BATES, L.S.; WALDREN, R.P.; TEARE, I.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, The Hague, v. 39, p.205-207, 1973.
- BERTELI, F.; CORRALES, E.; GUERRERO, C.; ARIZA, M.J.; PILEGO, F.; VALPUESTA, V. Salt stress increases ferredoxin-dependent glutamate synthase activity and protein level in the leaves of tomato. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 93, n. 2, p. 259-264, 1995.
- BIELESKI, R.L.; TURNER, N.A. Separation and estimation of amino acids in crude plant extracts by thin-layer electrophoresis and chromatography. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 17, p. 278-293, 1966.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, Athens, v. 72, n. 1, p. 2, 1976.

CAMACHO, M. A.; MARCANTE, N. C.; DOS SANTOS, R. C.; RUIZ, J. G. C. L.; ECCO, M.; SCHIAVO, J. A. Absorção de nitrogênio pelo algodoeiro herbáceo em dois sistemas de cultivo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 1, p. 51-58, 2013.

CANTARELLA, H. **Adubação nitrogenada em sistema de cana crua**. STAB. Açúcar, Álcool Subpr., v. 16, p. 21-22, 1998.

CANTARELLA, H.; TRIVELIM, P.C.O.; CONTIN, T.L.M.; DIAS, F.L.F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R.B. & QUAGGIO, J.A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Sci. Agric.**, [s. l.], v. 65, p. 397-401, 2008.

CARVALHO, M. C. S. **Adubação de cobertura do algodoeiro cultivado em condições de sequeiro na Região do Cerrado**. Campina Grande: Embrapa-CNPA, 2007. 5 p. (Documentos, 39).

CATALDO, D.A.; HAROON, M.; SCHRADER, L.E.; YOUNGS, V.L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 6, p. 71-80, 1975

DA ROS, C. O.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Volatilização de amônia com aplicação de ureia na superfície do solo, no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 4, p. 799-805, 2005.

DAIE, J. C4 grasses and cereals: growth, development, and stress response. **Soil Science**, Baltimore, v. 142, n. 4, p. 242, 1986.

DHINDSA, R.S.; MATAWE, W. Drought tolerance in two mosses correlated with defense against lipid peroxidation. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 32, p. 79-91, 1981.

DUARTE, C. C. **Detecção óptica da eficiência quântica da fotossíntese**. 2003. 109 f. Dissertação (Mestrado)- 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**, [s. l.], v. 28, p. 350-356, 1956.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2018. 356 p.

FARDEN, K. J. F.; ROBERTSON, J. G. Methods for studying enzymes involved in metabolism involved nitrogenase. In: BERGENSEN, F. J. (ed.). **Methods for evaluating biological nitrogen fixation**. New York: John Wiley, 1980. p. 265-314.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA- RBRAS, 45., 2000, São Carlos. **Anais [...]**. São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FERRARI, S. **Plantas de cobertura e doses de nitrogênio em pré-semeadura em algodoeiro**. 2009. 101 f. Tese (Doutorado em Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

GALMÉS, J.; ARANJUELO, I.; MEDRANO, H.; FLEXAS, J. Variation in Rubisco content and activity under variable climatic factors. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v. 117, p. 73-90, 2013.

GASPAR, T.; PENEL, C.; CASTILLO, F.J.; GREPPIN, H.A. A two step control of basic and acid peroxidase and its significance for growth and development. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 64, p. 418-423, 1985.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, New York, v. 59, n. 2, p. 309-314, 1977.

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

GOMES-JUNIOR, R. A.; GRATÃO, P. L.; GAZIOLA, S. A.; MAZZAFERA, P.; LEA, P. J.; AZEVEDO, R. A. Selenium-induced oxidative stress in coffee cell suspension cultures. **Functional Plant Biology**, Clayton, v. 34, n. 5, p. 449-456, 2007.

HINCKLEY, T. M, R, O. TEYREI. F. DUHME & M. RICHTER. Temperate Hardwood forests. **Water Deficits and Plant Growth**, [s. l.], v. 6, p. 153:208, 1981.

HIREL, B.; WEATHERLEY, C.; CRETIN, C. et al. Multiple subunit composition of chloroplastic glutamine synthetase of *Nicotiana tabacum* L. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 74, p. 448-450, 1984.

JALEEL, C.A.; MANIVANNAN, P.; SANKAR, B.; KISHOREKUMAR, A.; GOPI, R.; SOMASUNDARUM, R.; PANNEERSELVAN, R. Water deficit stress mitigation by calcium chloride in *Catharanthus roseus*: Effects on oxidative stress, praline metabolism and indole alkaloid accumulation. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, Amsterdam, v. 60, p. 110-116, 2007.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, New York, v. 57, n. 2, p. 315- 319, 1976.

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

KO, J.; PICCINNI, G. Characterizing leaf gas exchange responses of cotton to full and limited irrigation conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 112, p. 77-89, 2009.

KONIECZNY, R. et al. Oxidative events during in vitro regeneration of sunflower. **Acta Physiologiae Plantarum**, [s. l.], v. 30, p. 71-79, 2008.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2006. v. 7 531p.

LAWLOR, D.W. The effects of water deficit on photosynthesis. In: SMIRNOFF, N. (ed). **Environmental and plant metabolism-flexibility and acclimation**. Oxford: Bios Scientific, 1995. p. 129-160.

LIMA, G. P. P. **Efeito do cálcio sobre o teor de poliaminas e atividade da peroxidase e redutase de nitrato em calos de arroz (*Oryza sativa* L. cv. IAC 4440)**. 1994. 84 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas)- Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Botucatu, 1994.

LIU, G.; LI, Y. & ALVA, A.K. High water regime can reduce ammonia volatilization from soils under potato production. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, [s. l.], v. 38, p. 1203-1220, 2007.

LIU, J.; ZHU, J.K. Proline accumulation and salt-stress-induced gene expression in a salt hypersensitive mutant of arabidopsis. **Plant Physiology**, Rockeville, v.114, n.2, p.591-596, 1997.

LIU, J.; ZHU, J.K. Proline accumulation and salt-stress-induced gene expression in a salt hypersensitive mutant of arabidopsis. **Plant Physiology**, Rockeville, v.114, n.2, p.591-596, 1997

MA, B.L.; WU, T.Y.; TREMBLAY, N.; DEEN, W.; MCLAUGHLIN, N.B.; MORRISON M. J.; STEWART, G. On-farm assessment of the amount and timing of nitrogen fertilizer on ammonia volatilization. **Agron. J.**, [s. l.], v. 102, p. 134-144, 2010.

MAÇÃS, J. E. S. **Nitrogênio nítrico e amoniacal no desenvolvimento da parte aérea de milho cultivado em argissolo**. 2008. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

MACHADO, A.V. **Efeitos do estresse hídrico em plantas jovens de *Hedyosmum brasiliense* Mart. (Chloranthaceae)**. 2004. 65 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. D. Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional. *In*: MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. D. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. p. 115-230.

MARUR, C.J. Curvas pressão-volume e expansão foliar em dois cultivares de algodoeiro submetidos a déficit hídrico. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, p. 563-569, 1999.

McCULLOUGH, H. The determination of ammonium in whole blood by a direct colorimetric method. **Clin. Chim. Acta.**, [s. l.], v.17, p. 297-304, 1967.

MENDONÇA, J. C.; SOUZA, E. F. de; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET₀) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.

MEYER, P.D.; GEE, G.W. Flux-based estimation of field capacity. **J. Geotechn. Geoenviron. Eng.**, [s. l.], v. 125, p. 595-599, 1999.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **TRENDS in Plant Science**, London, v. 7, n. 9, p. 405-410, Sept. 2002.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, R. C. dos. Alterações fisiológicas no amendoim submetido ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 41-45, 2000.

NUNES FILHO, J.; SÁ, V.A.L.; JÚNIOR, I.S.O.; COUTINHO, J.L.B.; SANTOS, V.F. Efeito de lâminas de irrigação sobre o rendimento e qualidade da fibra de cultivares de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 295-299, 1998.

OLIVEIRA-NETO, C.F. **Crescimento, produção e comportamento fisiológico e bioquímico em plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] moench) submetidas à deficiência hídrica** /Belém, 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2008.

PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 60, p. 324-349, 2005.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010>

PERSEGIL, E. O. **Recomendação de adubação nitrogenada para o cultivar de algodoeiro FMT 701 com base na leitura de clorofila ICF**. 2012. 52 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção). Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012.

RABE, E. Altered nitrogen metabolism under environmental stress conditions. In: PESSARAKLI, M. (ed.). **Handbook of plant and crop stress**. New York: CRC, 1993. p. 349-364.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. rev. e atual. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

ROCHETTE, P.; ANGERS, D.; CHANTINI, M.H.; MacDONALD, J.D.; GASSER, M. & BERTRAND, N. Reducing ammonia volatilization in a no-till soil by incorporating urea and pig slurry in shallow bands. **Nutr. Cycling Agroecosyst.**, [s. l.], v. 84, p. 71-80, 2009.

ROSOLEM, C. A. Ecofisiologia e manejo da cultura do algodoeiro. **POTAFOS: Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 95, p. 24, 2001.

ROSOLEM, C. A.; BOGIANI, J. C. Nutrição e estresses nutricionais em algodoeiro. In: ROSOLEM, C. A.; KAWAKAMI, E. M.; CHIAVEGATO, E. J.; ECHER, R. F.; BRITO, G. G.; CARVALHO, H. DA R.; SNIDER, J. L.; BOGIANI, J. C.; BERNARDES, M. S.; YEATES, S. **O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes**. Cuiabá: Embrapa Agropecuária Oeste, 2014. p. 103-121.

SALERNO, G.L.; CURATTI, L. Origin of sucrose metabolism in higher plants: when, how and why? **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 8, n. 2, p.63-69, 2003.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. The photosynthesis-transpiration compromise. In: SALISBURY, F. B. ; ROSS, C. W. **Plant physiology**. 4 nd. California: Wadsworth, 1992. p. 66-92.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A. & RAMPAZZO, C. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, p. 87-92, 2003.

SANTOS, D. M. **Recomendação da adubação nitrogenada com a utilização do medidor portátil de clorofila em algodão**. 2006. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.

SCHAFFER, B.; WHILEY, A. W.; CRANE, J.H. Mango. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. C. (ed.) **Handbook of environmental physiology of fruit crops**. Florida: CRC Press, 1994. Cap. 8, p. 165-197.

SHARMA, P.; DUBEY, R. S. Lead toxicity in plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 35-52, 2005.

SIEGEL, B.Z. Plant peroxidases: an organism perspective. **Plant Growth Regulation**, [s. l.], v.12, p. 303-312, 1993.

SOARES, J. R. **Efeito de inibidores de urease e de nitrificação na volatilização de NH₃ pela aplicação superficial de ureia no solo**. 2011. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Campinas: Instituto Agrônomo, 2011.

SOUZA, C. C.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, I. F.; AMORIM NETO, M. S. Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob cultivo de algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 3, p. 338-342, 2000.

STAUT, L. A.; KURIHARA, C. H. Calagem e adubação. In: EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE. **Algodão**: tecnologia de produção. Dourados, 2001. 19 p.

STEWART, J. McD. Integrated events in flower and fruit. In: MAUNEY, J. R.; STEWART, J. McD. (ed.). **Cotton physiology**. Memphis Tennessee, USA. The Cotton Foundation, Publisher. 1986. p. 261-300

SULTANA, N.; IKEDA, T.; ITOH, R. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v.42, n.3, p.211-220, 1999.

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

TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. **Annals of Botany**, London, v. 91, n. 03, p. 503-527, 2003.

TROPICAL MELHORAMENTO & GENÉTICA – TMG. **Cultivares de algodão**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <http://www.tmg.agr.br/ptbr/cultivar/tmg-81-ws>. Acesso em: 13 Jun. 2019.

VAN HANDEL, E. Direct microdetermination of sucrose. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 22, n. 02, p. 280-283, 1968.

VEIHMEYER, F.J.; HENDRICKSON, A.H. The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils". **Soil Science**, Washington, v. 32, p. 181-193, 1931.

WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Enciclopédia Biosfera**, [s. l.], v. 6, n. 11, p. 1-23, 2010.

YEMM, E. M.; COCKING, E. C. Estimation of amino acids by ninhydrin. **Analyst**, London, v. 80, p. 209-213, 1955.