

# RESSALVA

Atendendo solicitação do autor, o  
texto completo desta tese será  
disponibilizado somente a partir de  
05/03/2023.

**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



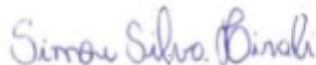
Prof. Dr. RICARDO ANTONIO FERREIRA RODRIGUES (Participação Virtual)

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 Selvíria- 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<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup>) 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

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b>  | - 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 |
| <b>Figura 2</b>  | - 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 |
| <b>Figura 3</b>  | - Visão parcial do experimento evidenciando os capulhos dez dias antes da colheita. Selvíria-MS, ano agrícola 2017/18.....                                                                                                                                                                                | 56 |
| <b>Figura 4</b>  | - Extração de compostos nitrogenados e açúcares evidenciando o processo de separação de fases.....                                                                                                                                                                                                        | 57 |
| <b>Figura 5</b>  | - Medição do índice SPAD do algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo. Selvíria-MS, 2017/18.....                                                                                                                                                                        | 60 |
| <b>Figura 6</b>  | - 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 |
| <b>Figura 7</b>  | - 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 |
| <b>Figura 8</b>  | - 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 |
| <b>Figura 9</b>  | - 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 |
| <b>Figura 10</b> | - 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 |
| <b>Figura 11</b> | - 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 |
| <b>Figura 12</b> | - Regressão linear da fotossíntese líquida (a) do algodoeiro herbáceo em função das doses de N aos 90 DAE. Selvíria- MS, 2017/18.....                                                                                                                                                                     | 81 |

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |    |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 13</b> | - 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 |
| <b>Figura 14</b> | - 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 |
| <b>Figura 15</b> | - Regressão linear dos teores de nitrato (a) ( $\text{NO}_3^-$ ) ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) e amônia (b) ( $\text{NH}_4^+$ ) ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) em função das doses de N. Selvíria-MS, 2017/2018 .....                                                                                                                                                           | 87 |
| <b>Figura 16</b> | - Regressão linear dos teores de ALT ( $\text{mg g}^{-1}$ MF) (a) e regressão quadrático dos teores de PRO ( $\text{mg g}^{-1}$ MF) (b) em função das doses de N em algodoeiro herbáceo. Selvíria-MS, 2017/2018.....                                                                                                                                                         | 89 |
| <b>Figura 17</b> | - Regressão linear dos teores de SAC ( $\text{mg g}^{-1}$ MF) em função das doses de N em algodoeiro herbáceo. Selvíria-MS, 2017/2018.....                                                                                                                                                                                                                                   | 92 |
| <b>Figura 18</b> | - 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 |
| <b>Figura 19</b> | - 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) $40 \text{ kg ha}^{-1}$ ; (C) $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ; (D) $150 \text{ kg ha}^{-1}$ . (ed: epiderme adaxial, pp: parênquima paliçádico, pl: parênquima lacunoso, eb: epiderme abaxial).....             | 98 |
| <b>Figura 20</b> | - Secções transversais da região mediana do limbo foliar de algodoeiro herbáceo em sistema de cultivo irrigado, com diferentes doses de ureia. (A) Controle; (B) $40 \text{ kg ha}^{-1}$ ; (C) $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ; (D) $150 \text{ kg ha}^{-1}$ . (ed: epiderme adaxial, pp: parênquima paliçádico, pl: parênquima lacunoso, eb: epiderme abaxial).....                | 98 |
| <b>Figura 21</b> | - 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) $40 \text{ kg ha}^{-1}$ ; (C) $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ; (D) $150 \text{ kg ha}^{-1}$ . (ed: epiderme adaxial, pp: parênquima paliçádico, pl: parênquima lacunoso, eb: epiderme abaxial)..... | 99 |
| <b>Figura 22</b> | - 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) $40 \text{ kg ha}^{-1}$ ; (C) $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ; (D) $150 \text{ kg ha}^{-1}$ . (ed: epiderme adaxial, pp: parênquima paliçádico, pl: parênquima lacunoso, eb: epiderme abaxial).....    | 99 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 23</b> - 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 |
| <b>Figura 24</b> - 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 <sup>-1</sup> ; (E-F) 80 kg ha <sup>-1</sup> ; (G-H) 150 kg ha <sup>-1</sup> . (A, C, E, G) Epiderme na face Adaxial; (B, D, F, H) Epiderme na face Abaxial.....              | 102 |
| <b>Figura 25</b> - 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 <sup>-1</sup> ; (E-F) 80 kg ha <sup>-1</sup> ; (G-H) 150 kg ha <sup>-1</sup> . (A, C, E, G) Epiderme na face Adaxial; (B, D, F, H) Epiderme na face Abaxial.....                 | 103 |
| <b>Figura 26</b> - 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 <sup>-1</sup> ; (E-F) 80 kg ha <sup>-1</sup> ; (G-H) 150 kg ha <sup>-1</sup> . (A, C, E, G). Epiderme na face Adaxial. (B, D, F, H) Epiderme na face Abaxial..... | 104 |
| <b>Figura 27</b> - 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 <sup>-1</sup> ; (E-F) 80 kg ha <sup>-1</sup> ; (G-H) 150 kg ha <sup>-1</sup> . (A, C, E, G) Epiderme na face Adaxial; (B, D, F, H) Epiderme na face Abaxial.....     | 105 |
| <b>Figura 28</b> - 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 |
| <b>Figura 29</b> - Plântulas do algodoeiro herbáceo pré emergidas, em casa de vegetação. Ilha Solteira- SP, 2019.....                                                                                                                                                                                                                                   | 130 |
| <b>Figura 30</b> - Visão geral do experimento conduzido em casa de vegetação, aos 35 dias após a emergência (DAE). Ilha Solteira- SP, 2019...                                                                                                                                                                                                           | 130 |
| <b>Figura 31</b> - Avaliação de trocas gasosas em algodoeiro herbáceo com o equipamento portátil (Infra Red Gas Analyser –IRGA). Ilha Solteira- SP, ano agrícola 2019.....                                                                                                                                                                              | 135 |
| <b>Figura 32</b> - 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 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 33</b> - 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 |
| <b>Figura 34</b> - 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 |
| <b>Figura 35</b> - Regressão linear e regressão quadrático da interação condições hídricas x doses de N do teor de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo, aos 90 DAE. Ilha Solteira- SP, 2019.....                                                           | 150 |
| <b>Figura 36</b> - Regressão linear e regressão quadrático da interação fontes x doses de N para os teores de amônia ( $\text{NH}_4^+$ ) ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo, aos 90 DAE. Ilha Solteira- SP, 2019.....                                                                 | 152 |
| <b>Figura 37</b> - Regressão linear dos teores de proteínas solúveis totais: PST ( $\text{mg g}^{-1}$ MF), sacarose: SAC ( $\text{mg g}^{-1}$ MF) e açúcares solúveis totais: AST ( $\text{mg g}^{-1}$ MF) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo, aos 90 (DAE) em função de doses de N. Ilha Solteira – SP, 2019..... | 154 |
| <b>Figura 38</b> - Regressão linear da atividade da enzima SOD (Unidade $\text{mg de proteína}^{-1}$ ), aos 90 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.....                                                                                                                                                                          | 157 |
| <b>Figura 39</b> - 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. Ilha Solteira – SP, 2019.....                                                                                                                   | 158 |

## LISTA DE TABELAS

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b>  | - Resultados da análise química do solo na profundidade de 0 a 20 cm. Selvíria-MS, 2017.....                                                                                                                                                                                                                                              | 51 |
| <b>Tabela 2</b>  | - Coeficientes de cultura (Kc) utilizados durante as fases de desenvolvimento da cultura do algodoeiro herbáceo em Selvíria - MS, 2017/2018.....                                                                                                                                                                                          | 53 |
| <b>Tabela 3</b>  | - 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 |
| <b>Tabela 4</b>  | - 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 |
| <b>Tabela 5</b>  | - Massa de 20 capulhos (g), número de capulhos por planta (unidade) e produtividade de algodão em caroço (kg ha <sup>-1</sup> ) de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses, fontes de N e sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado). Selvíria- MS, 2017/18.....                                                                 | 68 |
| <b>Tabela 6</b>  | - 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 |
| <b>Tabela 7</b>  | - % de água retida na parte aérea (H <sub>2</sub> O PA) e nas raízes (H <sub>2</sub> 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 |
| <b>Tabela 8</b>  | - Teores de macronutrientes foliar (g kg <sup>-1</sup> ) 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 |
| <b>Tabela 9</b>  | - 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 |
| <b>Tabela 10</b> | - Desdobramento da interação fontes x doses de N referentes ao teor de magnésio (Mg) do algodoeiro, aos 80 DAE. Selvíria-MS, 2017/2018.....                                                                                                                                                                                               | 76 |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 11</b> - 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 |
| <b>Tabela 12</b> - 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 $\text{CO}_2$ ( $C_i - \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ) em função de doses e fontes de N em sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado), aos 90 DAE. Selviria-MS, 2017/18..... | 80 |
| <b>Tabela 13</b> - 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 ( $E_iC_i = A/C_i$ ) e a razão entre as concentrações de $\text{CO}_2$ 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 |
| <b>Tabela 14</b> - Teores de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) e amônia ( $\text{NH}_4^+$ ) ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ 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 |
| <b>Tabela 15</b> - Teores de aminoácidos livres totais: ALT ( $\text{mg g}^{-1}$ MF), proteínas solúveis totais: PST ( $\text{mg g}^{-1}$ MF) e do aminoácido prolina: PROL ( $\text{mg g}^{-1}$ 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 |
| <b>Tabela 16</b> - Teores de açúcares solúveis totais: AST ( $\text{mg g}^{-1}$ MF) e sacarose: SAC ( $\text{mg g}^{-1}$ 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 |
| <b>Tabela 17</b> - 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 |
| <b>Tabela 18</b> - 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 |
| <b>Tabela 19</b> - Desdobramento da interação fontes x doses de N referentes à espessura foliar da epiderme adaxial de algodoeiro herbáceo. Selviria-MS, 2017/18.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 97 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabela 20</b> - Número de estômatos da parte adaxial (mm <sup>2</sup> ) e abaxial (mm <sup>2</sup> ) 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 |
| <b>Tabela 21</b> - Atividade das enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD: Unidade mg de proteína <sup>-1</sup> ), catalase (CAT: umol H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> decomposto min <sup>-1</sup> mg de proteína <sup>-1</sup> ) e peroxidase (POD: umol de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> decomposto min <sup>-1</sup> mg de proteína <sup>-1</sup> ), 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 |
| <b>Tabela 22</b> - 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 |
| <b>Tabela 23</b> - 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 |
| <b>Tabela 24</b> - 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 |
| <b>Tabela 25</b> - 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 |
| <b>Tabela 26</b> - Análise de macronutrientes foliares (em g kg <sup>-1</sup> ) de plantas de algodoeiro herbáceo em função de doses e fontes de N sob condições hídricas, aos 80 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 141 |
| <b>Tabela 27</b> - Desdobramento da interação fontes x doses de N, referentes ao teor de N do algodoeiro herbáceo, aos 80 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 141 |
| <b>Tabela 28</b> - 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 <sup>-1</sup> 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 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabela 29</b> - 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 $\text{CO}_2$ ( $C_i$ - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ), 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 |
| <b>Tabela 30</b> - 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 $\text{CO}_2$ 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 |
| <b>Tabela 31</b> - Teor de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) ( $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF}$ ) 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 |
| <b>Tabela 32</b> - Desdobramento da interação condições hídricas x fontes referentes ao teor de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) ( $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF}$ ) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo, aos 90 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.....                                                                                                                                                                                                                                                    | 149 |
| <b>Tabela 33</b> - Desdobramento da interação condições hídricas x doses de N referentes ao teor de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) ( $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF}$ ) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo, aos 90 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.....                                                                                                                                                                                                                                                | 149 |
| <b>Tabela 34</b> - Teor de amônia ( $\text{NH}_4^+$ ) ( $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF}$ ) 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 |
| <b>Tabela 35</b> - Desdobramento da interação fontes x doses de N referentes ao teor de amônia ( $\text{NH}_4^+$ ) ( $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF}$ ) em tecidos foliares de algodoeiro herbáceo, aos 90 DAE. Ilha Solteira – SP, 2019.....                                                                                                                                                                                                                                                             | 151 |
| <b>Tabela 36</b> - 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 |
| <b>Tabela 37</b> - 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     | <b>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.....</b> | <b>47</b> |
|       | 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 |

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

## 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 ( $\text{NH}_4^+$ ) e/ou nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), 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

## 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: polyphenoloxylase 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 (ET<sub>0</sub>) 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-NH<sub>3</sub> 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 NH<sub>3</sub> 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<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> 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.