



BARBARA GERMANO DOMINGOS

**MOLÉCULAS SINALIZADORAS PARA INDUÇÃO DE
TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO EM PLANTAS DE
ALGODÃO**

**LAVRAS - MG
2023**

BARBARA GERMANO DOMINGOS

**MOLÉCULAS SINALIZADORAS PARA INDUÇÃO DE TOLERÂNCIA AO
DÉFICIT HÍDRICO EM PLANTAS DE ALGODÃO**

Monografia de conclusão de curso apresentada ao Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Profa. Dra. Heloisa Oliveira dos Santos
Orientadora

Me. Marília Mendes dos Santos Guaraldo
Coorientadora

**LAVRAS - MG
2023**

BARBARA GERMANO DOMINGOS

**MOLÉCULAS SINALIZADORAS PARA INDUÇÃO DE
TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO EM PLANTAS DE
ALGODÃO**

Monografia de conclusão de curso apresentada ao Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Aprovada em: 19 de julho de 2023

Profa. Heloisa Oliveira dos Santos
Me. Marília Mendes dos Santos Guaraldo
Dr. Wilson Vicente Souza Pereira
Profa. Christiane Augusta Diniz Melo

UFLA
UFLA
UFLA
UFLA

Profa. Dra. Heloisa Oliveira dos Santos
Orientadora

Me. Marília Mendes dos Santos Guaraldo
Coorientadora

**LAVRAS - MG
2023**

Dedicatória

Aos meus pais Francisco e Regina, que mesmo sem muito conhecimento, sempre me incentivaram e me deram forças para continuar, que fizeram o possível e o impossível para me ver formar.

A minha prima Jaqueline (*in memoriam*) e a minha avó Maria Carmelina (*in memoriam*) que sempre foram meus exemplos de força e fé.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente por ser meu refúgio e melhor amigo, por me acalmar, me iluminar, me compreender e acima de tudo me amparar nos momentos mais difíceis.

Aos meus irmãos Alice, Bruno e Júlia que sempre me apoiaram e me ampararam em todos os momentos da minha vida.

As minhas tias Dita, Inezinha, Raquel e Zezé por todo carinho e cuidado que sempre tiveram comigo por todos esses anos, por todos os ensinamentos e por sempre me apoiarem.

Aos meus primos Arthur e Cecília, que são meu abrigo e minha força para seguir em frente.

As minhas amigas Isabela, Marina e Sabrina que estão comigo desde a infância em todas as fases da minha vida, agradeço a amizade, amor, compreensão e apoio.

Ao meu amigo Matheus por todas as conversas, risadas e ensinamentos nesses últimos anos.

A minha amiga Isabella por todos os conselhos e conversas nos momentos de crise e pelo companheirismo.

As moradoras do 304, Agnes, Cedim, Milena, Gabi e Talia por toda amizade, companhia, paciência e compreensão.

Às amigadas que o setor de sementes me trouxe, em especial a Karina Faria e Rafael Rocha que estiveram comigo no período final da graduação me apoiando, incentivando e aconselhando.

A minha amiga e coorientadora Me. Marília, que desde nosso primeiro encontro se fez presente em toda minha caminhada na graduação. Me aconselhou, me ensinou, me ajudou e foi amiga.

A minha Orientadora Profa. Dra. Heloisa Oliveira dos Santos, pelos ensinamentos, conselhos, compreensão, confiança e seu carinho comigo.

Ao Pós-doutorando Wilson, por toda ajuda em todas as etapas do meu trabalho, pelas risadas e companhia.

A Profa. Dra. Christiane por aceitar fazer parte da minha banca e contribuir para o meu crescimento.

A todo o grupo de pesquisa da Prof. Heloísa, professores, técnicos, funcionários e colegas do Laboratório Central de Pesquisas em Sementes pelos conhecimentos e momentos compartilhados e pelo auxílio durante minha trajetória no setor e na condução do meu experimento.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio.

A todos que cruzaram meu caminho durante os anos de graduação e me deixaram algum conhecimento e aprendizado.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), pela oportunidade de estudo, ensinamentos profissionais e pessoais e pelo acolhimento.

E mais uma vez, obrigada meu Deus pela minha vida, pela minha saúde e por me fazer um ser humano melhor durante esses anos.

GRATIDÃO!

RESUMO

O algodão é uma das principais espécies cultivadas da família Malvaceae. Seu cultivo é o responsável pela produção mundial de fibras. Para que a planta de algodão se desenvolva e atinja seu potencial reprodutivo, ela precisa estar em condições ambientais favoráveis, pois quando as condições não ideais as plantas são expostas a estresses. Este trabalho teve como objetivo a avaliação do uso das moléculas sinalizadoras quitosana, nitroprussiato e peróxido de hidrogênio via condicionamento fisiológico, para indução de tolerância ao déficit hídrico em plantas de algodão. O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Laboratório Central de Pesquisa em Sementes (LCPS) da Universidade Federal de Lavras. Foram utilizadas sementes de algodão (*Gossypium hirsutum*) cultivar DP 1536 BRF, as quais foram condicionadas a uma temperatura de 20°C, em soluções aeradas de nitroprussiato (100 µM), quitosana (0,75 mM) e peróxido de hidrogênio H₂O₂ (Mm) e água, por 24 horas. Foram montados 3 blocos com 48 vasos, com 6 repetições por tratamento com fatorial 4 (condicionantes) x 2 (condições de estresse). Para indução do estresse, 3 plantas de cada repetição foram submetidas à condição de restrição hídrica por 7 dias, com retirada total da água, 93 dias após a planta emergir na fase B2. A adoção do condicionamento fisiológico é importante para minimizar os efeitos negativos do estresse hídrico. Pelos resultados desta pesquisa, houve benefícios do condicionamento fisiológico e da utilização de moléculas sinalizadoras para o aumento da tolerância à restrição hídrica durante a fase de desenvolvimento das plantas de algodão. Foi possível entender os aspectos fisiológicos e bioquímicos envolvidos nos processos de condicionamento fisiológico e uso de moléculas sinalizadoras relacionadas aos estresses hídricos. O uso de peróxido de hidrogênio protege as plantas já desenvolvidas dos efeitos de restrição hídrica e induz a formação da enzima de proteção oxidativa CAT em condição de estresse. O uso de nitroprussiato de sódio, induz o crescimento de raiz em condições de restrição hídrica e na formação das enzimas de proteção oxidativa APX, CAT e SOD em condições de restrição hídrica. A quitosana não apresentou resultados positivos quanto a seu uso em condições de estresse.

Palavras-chave: condicionamento; estresse hídrico; moléculas sinalizadoras

ABSTRACT

Cotton is one of the main cultivated species of the Malvaceae family. Its cultivation is responsible for the world production of fibers. For the cotton plant to develop and reach its reproductive potential, it needs to be in favorable environmental conditions, because when the conditions are not ideal, the plants are exposed to stress. The objective of this work was to evaluate the use of signaling molecules chitosan, nitroprusside and hydrogen peroxide via physiological conditioning, to induce tolerance to water deficit in cotton plants. The experiment was carried out in the greenhouse of the Central Laboratory for Seed Research (LCPS) at the Federal University of Lavras. Cotton seeds (*Gossypium hirsutum*) cultivar DP 1536 BRF were used, which were conditioned at a temperature of 20°C, in aerated solutions of nitroprusside (100 µM), chitosan (0.75 mM) and hydrogen peroxide H₂O₂ (Mm) and water, for 24 hours. Three blocks with 48 pots were set up, with 6 replications per treatment with factorial 4 (conditions) x 2 (stress conditions). For stress induction, 3 plants from each replicate were subjected to water restriction conditions for 7 days, with total water withdrawal, 93 days after the plant emerged in phase B2. The adoption of physiological conditioning is important to minimize the negative effects of water stress. Based on the results of this research, there were benefits of physiological conditioning and the use of signaling molecules to increase tolerance to water restriction during the development phase of cotton plants. It was possible to understand the physiological and biochemical aspects involved in the processes of physiological conditioning and use of signaling molecules related to water stress. The use of hydrogen peroxide protects already developed plants from the effects of water restriction and induces the formation of the oxidative protection enzyme CAT under stress conditions. The use of sodium nitroprusside induces root growth under conditions of water restriction and the formation of oxidative protection enzymes APX, CAT and SOD under conditions of water restriction. Chitosan did not show positive results regarding its use under stress conditions.

Keywords: accommodation; hydric stress; signaling molecules;

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1. A Cultura do Algodão	11
2.2. Importância da cultura no Brasil	12
2.3. Qualidade de sementes de algodão.....	14
2.4. Estresse Hídrico	15
2.5. Condicionamento fisiológico e moléculas sinalizadoras.....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1. Material genético e local de condução	19
3.2. Descrição dos tratamentos.....	19
3.3. Aplicação de inseticida.....	20
3.4. Aplicação de adubo de cobertura	20
3.5. Processo de indução ao estresse hídrico.....	20
3.6. Altura das plantas	21
3.7. Altura da inserção da primeira folha	21
3.8. Número de folhas por planta	21
3.9. Matéria fresca e matéria seca da parte aérea	21
3.10. Matéria fresca e matéria seca de raiz.....	22
3.11. Análise fisiológica das folhas.....	22
3.12. Análise estatística.....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5. CONCLUSÃO	35
REFERÊNCIAS	36

1. INTRODUÇÃO

A cultura do algodão é uma das principais culturas do mundo, devido a sua versatilidade, com isso sua demanda tem aumentado a cada ano desde o ano de 1950. O algodoeiro faz parte da família Malvacea e uma das mais cultivadas desta família.

O continente asiático lidera a produção mundial de algodão, com a China em primeiro lugar e seguido pela Índia, o terceiro e quarto lugar em produção são Estados Unidos e Brasil respectivamente (ABRAPA, 2023).

No Brasil a cultura se tornou uma das principais commodities na atualidade. Isso se deve ao crescimento da cultura no Cerrado brasileiro, onde possibilitou o país de ser importante importador de plumas. O Cerrado se destaca mundialmente por ter a mais alta produtividade do algodão em áreas não irrigadas. O Nordeste teve destaque por muitos anos na produtividade do algodão, como a região mais produtora do país, no entanto com a crise cafeeira, ele perde essa posição para o centro-oeste do país.

Mesmo com o avanço nas pesquisas, ainda há uma grande dificuldade de se encontrar sementes de qualidades, para uma produção de sucesso. Para que uma semente seja considerada de qualidade, elas devem apresentar atributos de qualidade fisiológica, genética, sanitária e física, só assim conseguirá levar ao campo todo seu potencial agrônomo (REVISTA CULTIVAR, 2022).

Para que uma planta cresça e se reproduza corretamente, é necessário que ela esteja em ambiente adequado para seu desenvolvimento, com disponibilidade de fatores que a planta requer como luz, água, dióxido de carbono, oxigênio, nutrientes no solo, temperatura, metais pesados e salinidade. Na ausência destes, seu crescimento é afetado e promove efeitos negativos na fisiologia e bioquímica das plantas (TAIZ *et al.*, 2017).

A água está entre um dos mais importantes fatores de desenvolvimento da planta, por possuir as quatro principais funções de estrutura, crescimento, transporte e metabolismo. Sendo assim, o déficit hídrico é o resultado negativo do balanço hídrico na planta (DUARTE *et al* 2012).

A cultura do algodão necessita de maiores teores de água em seu período de floração e na formação das maçãs, pois estes são considerados períodos críticos da cultura

(ARAÚJO, 2006). A cultura absorve a água que está presente no solo, através do sistema radicular e na ausência de disponibilidade hídrica, ocorre o estresse que afeta negativamente o desenvolvimento do algodoeiro (BALDO *et al.*, 2009).

O condicionamento fisiológico de sementes tem sido usado como alternativa a fim de propiciar melhor eficiência na germinação e emergência da planta no campo, quando estão em condições de estresse (KUBALA *et al.*, 2015). O uso de moléculas sinalizadoras como a quitosana, peróxido de hidrogênio e nitroprussiato de sódio são uma alternativa para aumentar a tolerância ao estresse em sementes (PIRES *et al.*, 2016).

No entanto, mesmo com inúmeros relatos que comprovam a eficiência dessas moléculas, é necessário o uso destas em novos experimentos em campo e em espécies diferentes para testar sua eficiência, por não existir um método condicionante universal. Desta forma, o presente trabalho objetivou avaliar o uso de moléculas sinalizadoras para a indução de tolerância ao déficit hídrico em plantas de algodão.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A Cultura do Algodão

A cultura do algodão está entre uma das principais culturas produzidas no mundo, por se tratar de um produto muito versátil, podendo obter produtos como óleo, alimento além da fibra têxtil. Com isso, sua demanda aumenta 2% a cada ano, desde a década de 1950. O algodão tornou-se a mais importante fibra cultivada no mundo, sendo produzida em cinco continentes e 60 países cerca de 35 milhões de hectares de algodão a cada ano em todo o mundo, movimentando cerca de US\$12 bilhões por ano no comércio mundial e envolve mais de 350 milhões de pessoas em sua produção (ABRAPA, 2023).

Além do seu grande potencial na produção de fibras, o algodão em seu processo de beneficiamento gera subprodutos como o caroço e a fibrilha. O caroço é bastante utilizado para alimentação animal, no processo de esmagamento e deslinteramento. Na técnica de deslinteramento é obtido o línter, que tem indicação de uso em processos industriais (ALVES *et al.*, 2021).

O algodão (*Gossypium sp*) selvagem, tem como centros de origem a Ásia e América, porém existem 50 espécies de algodão registradas. Dessas 50, apenas quatro espécies são utilizadas de forma significativa (*Gossypium hirsutum*, *Gossypium*

barbadense, *Gossypium herbaceum* e *Gossypium arboreum*) (EMBRAPA, 2004).

A produtividade do algodoeiro é bastante influenciada pela disponibilidade de água, radiação solar e temperatura do ar (Wells e Stewart 2010). A cultura do algodoeiro necessita de temperaturas médias do ar na faixa de 18 a 30 °C, elevada radiação solar e horas de insolação (Azevedo e Silva, 2007). A faixa ideal de temperatura para a germinação do algodoeiro está entre 25 e 30 °C. O algodoeiro é muito sensível a variações térmicas. Temperaturas noturnas superiores a 25 °C atrasam o florescimento, enquanto temperaturas diurnas em torno dos 25 °C o estimulam (SILVA *et al.*, 2011).

A cultura apresenta alta tolerância à seca se comparada a culturas como soja e milho. Essa tolerância é em função da capacidade do sistema radicular do algodoeiro ser mais profundo, possibilitando que a planta absorva água em camadas mais profundas do solo em sistemas de estresse (ROSOLEM, 2007).

No entanto, o algodoeiro requer uma determinada frequência e quantidade de água adequada definida em acordo com o solo, clima e a própria cultura, para que ocorra o seu crescimento e desenvolvimento. No Brasil sua produção aumenta a cada ano, e o país se encontra entre os cinco maiores produtores mundiais, e o primeiro em produtividades em sequeiro. A região do Centro-oeste é onde se concentra a maior parte da produção nacional nas últimas safras, segundo dados da Associação dos Produtores de Algodão (ABRAPA, 2023).

A trajetória do algodão no Brasil é dividida em dois momentos, onde no primeiro momento o algodão se sustenta unicamente como um produto de mercado interno, usado apenas para inteirar as necessidades de fibras têxteis da população do país. Na segunda fase, tornou-se evidente a partir da crise cafeeira no início da década de trinta, tornando a grande evolução e progresso da cotonicultura no estado de São Paulo e como resultado ocasionou na estabilização do Brasil como importante exportador da pluma (COELHO, 2002).

2.2. Importância da cultura do algodão no Brasil

O Brasil é o quarto maior produtor do algodão no mundo e o segundo maior exportador mundial de fibra (USDA, 2023). Em 2018, o valor bruto da produção foi de R\$34,95 bilhões, o que coloca a cultura como a quarta cultura mais importante da agricultura no país. Nos últimos anos a cultura do algodão atingiu um desempenho

exemplar, crescendo 131% em valor entre os anos de 2015 e 2018. Em 2009, seu valor bruto da produção era de apenas R\$5,14 bilhões (GASQUES, 2018). A 3ª estimativa do Valor Bruto da Produção (VBP) do algodão para 2023 em Mato Grosso, divulgada pelo Imea, mostrou avanço significativo de 20,33% ante a sétima estimativa de 2022, totalizando R\$ 25,09 bilhões. A quantia prevista para o algodão representa 14,81% do VBP da agricultura e floresta do estado, incremento de 2,52 p.p. ante a projeção de 2022 (Agência SAFRAS, 2023). Nos próximos dez anos, o algodão brasileiro deve representar em torno de 13,7% do comércio mundial (USDA, 2018).

Os maiores produtores do país são Mato Grosso, Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Maranhão e Minas Gerais (CONAB, 2021). Dados da Associação Mato-grossense dos Produtores de Algodão (AMPA, 2018), mostram que a domesticação da planta de algodão teve início há mais de 4.000 anos A.C., no sul da Arábia. Há relatos que no Brasil, sua domesticação foi através dos índios, que já tinham conhecimento sobre a cultura e sobre seu plantio desde antes mesmo da vinda dos portugueses. Eles faziam a colheita, teciam e tingiam tecidos feitos de suas fibras.

No passado, o algodão foi de suma importância para a economia nordestina, onde a mesma na época era considerada uma das mais ricas do país. Porém, o nordeste perdeu espaço na economia nacional, quando foram instaladas indústrias têxteis na região Sul e Sudeste do país. Com isso, a região centro-sul tornou-se a principal produtora de algodão (ABRAPA, 2012).

No Brasil existem três espécies de algodão, sendo a *Gossypium hirsutum*, *Gossypium arboreum* e *Gossypium barbadense* as mais importantes economicamente e responsáveis pela maioria da produção mundial de fibras comerciais (MENEZES 2009). A cadeia produtiva do algodão se destacou como um dos maiores casos de sucesso do agronegócio nos últimos anos, auxiliando fortemente para o desenvolvimento do Centro-Oeste e Nordeste do país, por movimentar as cidades, atividades de construção civil e comerciais (NEVES, 2016).

Se tratando da produção brasileira, Neves e Pinto (2017) caracterizam um amplo sistema de mecanização. A atuação de produtores tecnificados, o investimento do governo em pesquisas e do setor privado, fizeram com que a produção algodoeira aumentasse significativamente, especialmente no cerrado.

Com esse crescimento e desenvolvimento na produção, a cadeia produtiva do algodão contribuiu com a economia do país, favorecendo o Brasil com um dos maiores consumidores da pluma e para a sua ocupação como o quinto maior produtor no mundo, segundo os dados da ABRAPA (2023).

Nos dias atuais, a cultura passou a ser umas das principais *commodities* do país. Com o crescimento da produção no país, as projeções para algodão em pluma para a safra de 2025/26 é de 2,1 milhões de toneladas. Bangladesh é um país preferencial para a Associação Brasileira dos Produtores de Algodão (ABRAPA). O país trata-se do quarto maior mercado para o algodão brasileiro e destino de 12% de toda fibra embarcada pelo Brasil para o mundo (ABRAPA, 2023). Em 2028/29 o algodão do Brasil deve representar cerca de 23,8% do comércio mundial desse produto (MAPA, 2019).

2.3. Qualidade de sementes de algodão

O sucesso de uma lavoura depende principalmente de um bom estabelecimento de plântulas no campo, fator que está relacionado diretamente à qualidade das sementes. Sementes de baixa qualidade, originam estandes desuniformes, com falhas em sua emergência de plântulas, o que resulta na baixa produtividade e baixa qualidade do produto colhido. É considerada uma semente de qualidade, aquela que germina rapidamente, dando origem a uma plântula normal e sadia, livre de contaminações e com todas as estruturas essenciais desenvolvidas, como o sistema radicular e parte aérea (NASCIMENTO W. M., 2011).

A dificuldade de se encontrar sementes de algodão com alta qualidade é um dos fatores limitantes no sucesso da produção da cultura. Quando se fala em sementes de qualidade, vários fatores são considerados sendo eles: qualidade fisiológica, qualidade genética, qualidade sanitária e qualidade física. A qualidade de sementes é avaliada por quatro atributos sendo que a qualidade fisiológica está relacionada às propriedades do metabolismo das sementes e todos os processos que ocorrem no interior de suas células e sua ação é definida principalmente pelo ambiente onde a semente é formada e pelo seu manuseio, sendo assim, o atributo fisiológico mede a capacidade das sementes em ter uma emergência de qualidade nas plantas em campos, seu nível de qualidade é medido pelos parâmetros de viabilidade e vigor; a qualidade genética está relacionada a fatores específicos que indicam características fisiológicas e bioquímicas que interagem com

fatores externos como ambientes físico e biótico; qualidade sanitária que está relacionada à presença de agente patogênico ou patógeno, causal de doença, que está ligado pela semente como redução de qualidade em armazenamento, transmissão de patógenos, estabelecimento de estande e tratamento de sementes; e a qualidade física que é a pureza física de um lote de sementes, nesta análise são analisadas características como a estrutura, composição, formato, peso, tamanho, integridade e aspecto das sementes (REVISTA CULTIVAR, 2022).

Sendo assim, a qualidade de sementes trata-se da interação de seus constituintes, que, unidos determinam seus atributos. A progressão da qualidade de sementes ocorreu devido alguns fatores, sendo eles o desenvolvimento e adoção de técnicas de produção mais novas e otimizadas específicas para cada tipo de espécie; na área de controle de qualidade, com a realização de testes de qualidades para germinação, vigor, viabilidade e caracterização varietal mais desenvolvidos, além da implementação do sistema de qualidade (ISO 17025 e o 9001) (ABRATES, 2009).

A semente de algodão, devido à presença de línter, é um importante meio de disseminação de patógenos, que podem comprometer o sucesso da cultura, pois pode abrigar patógenos, favorecendo a presença de fungos saprófitos que podem dificultar a detecção de microrganismos importantes (SILVA, 2006). O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) proibiu a comercialização de sementes de algodão com línter em todo território nacional, por força da Portaria de nº 607, emitida em 14 de dezembro de 2001 (BRASIL, 2005).

Em condições de estresses abióticos, a germinação das sementes e o crescimento de plântulas são severamente afetados. A germinação de sementes é um dos processos mais importantes e mais complexos no ciclo de crescimento das plantas, pois afeta diretamente o desenvolvimento e, por consequência, afeta os índices de produção dessas culturas (GUARALDO, 2022).

2.4. Estresse Hídrico

Para seu crescimento as plantas necessitam de muitos recursos, dentre eles a água, que é um fator restritivo para a produtividade agrícola, por estar diretamente relacionado aos processos metabólicos das plantas, principalmente no estágio inicial de

desenvolvimento (SOUZA *et al.*, 2001). A água tem quatro principais funções nas plantas, podendo ser divididas em: estrutura, crescimento, transporte e metabolismo.

O déficit hídrico é definido como o resultado negativo do balanço hídrico, onde o total de água que entra no sistema de precipitação é menor que a quantidade total de água perdida pela evapotranspiração das plantas, segundo Duarte *et al* (2012). Já para Hay e Porter (2006), o déficit hídrico se trata do fator climático que mais interfere a produção agrícola mundial. Segundo eles, nas culturas que ocorrem a limitação hídrica, o acúmulo de biomassa passa a ser influenciado diretamente pela transpiração na planta.

Segundo Larcher (2000), a planta sob estresse passa por fases características, sendo elas a fase de resposta (reação de alarme), que é quando começa o estresse e ocorre um desvio da normalidade da planta, ou seja, ela sai de sua condição favorável, onde ocorre a perda da estabilidade das estruturas como proteínas biomembranas e de suas funções que mantêm as atividades vitais; fase de restituição (estágio de resistência) que corresponde os processos de adaptação, que se a intensidade do estressor não mudar, a restituição em sua forma de processos de reparo se inicia rapidamente, ocasionando uma fase de resistência, na qual sob estresse contínuo, a resistência aumenta, o qual é conhecido como rustificação. Após a ocorrência do distúrbio, a resistência pode permanecer elevada por mais algum tempo; na fase final (estágio de exaustão) pode ocorrer um estado de exaustão quando o tempo de estresse é longo ou se a intensidade do fator de estresse aumentar, fazendo com que a planta fique suscetível à infecções que ocorrem como consequência da redução das defesas, levando ao colapso prematuro; e na fase de regeneração é onde ocorre a regeneração completa ou de uma parte das funções fisiológicas quando o estressor é removido e o dano não tenha sido muito alto.

Para Massaci *et al* (2008), aproximadamente um terço da área cultivada de algodão mundial sofre repetidamente com a distribuição inadequada de água. O algodoeiro apresenta necessidades diferentes de disponibilidade de água em função dos estádios fenológicos. Sendo que nos estádios iniciais e finais há uma necessidade reduzida de água, enquanto no período de floração há uma necessidade máxima (CARVALHO *et al* 2013, e SOUZA 2015). A cultura do algodão precisa de maiores teores de umidade durante a floração e a formação das maçãs, considerado o período crítico da cultura. As plantas toleram um curto período de estresse nestas duas fases, impedido de afetar consideravelmente o rendimento final da cultura (ARAÚJO, 2006).

Se comparado a outras culturas como soja, milho e arroz, o algodoeiro apresenta tolerância relativamente alta à seca. Devido a sua capacidade de aprofundamento do sistema radicular em condições de déficit hídrico, o que permite que a planta absorva água em camadas mais profundas do solo (ROSOLEM, 2007).

Segundo Baldo *et al.*, (2009), as exigências hídricas do algodoeiro devem ser fornecidas pela água presente no solo, pelo contato do sistema radicular com ele. Na falta da água, quando ocorre o estresse, afeta negativamente o desenvolvimento da planta, ocasionando na queda de flores e frutos.

Quando o déficit hídrico ocorre por um período prolongado no algodoeiro, seu crescimento vegetativo é afetado, e com isso ocorre a redução na produção de foto assimilados, causando a queda de produtividade da cultura, assim como interfere na qualidade de suas fibras (EMRICH, 2018).

2.5. Condicionamento fisiológico e moléculas sinalizadoras

O condicionamento fisiológico é um instrumento significativo na melhoria da germinação de sementes e na tolerância de estresses. Esse método faz com que as sementes ativem os processos reparativos, diminuindo danos e o desempenho de sementes (BHANUPRAKASH *et al.*, 2016).

A técnica do condicionamento fisiológico foi desenvolvida com o intuito principal de reduzir o período de germinação e de emergência de plântulas e de alcançar mais uniformidade de sementes, principalmente quando expostas a condições ambientais adversas. Entende-se por condicionamento, a técnica de hidratação controlada das sementes até que elas atinjam nível suficiente para aumentar a atividade essencial à germinação, sem que ocorra a emergência da raiz primária. Sendo assim, a hidratação deve acontecer a uma velocidade que possibilita a reparação e reorganização das membranas, diminuindo riscos de problemas relacionados à rápida absorção de água (SANTOS, MENEZES, 2000).

Após o condicionamento, as sementes apresentam teor de água elevado e inadequado para conservação da qualidade fisiológica durante o armazenamento. Por esse motivo, é imprescindível que seja feita a secagem de forma adequada com finalidade de

reduzir a possibilidade de reversão dos efeitos positivos do tratamento (MARCOS FILHO, KIKUTI, 2008). A secagem também se faz necessária para evitar a exposição das sementes à riscos mecânicos causados por equipamentos de semeadura (BALBINO, LOPES, 2006).

A eficácia do tratamento com condicionadores fisiológicos foi testada e avaliada em diferentes sementes como pimentão (KIKUTI *et al.*, 2005), tomate, melão, melancia e berinjela (NASCIMENTO, 2005), couve-flor (MARCOS FILHO, KIKUTI, 2008) e cenoura (PEREIRA *et al.*, 2009).

Além do hidro condicionamento, foi exibido em muitos estudos a eficiência de moléculas sinalizadoras com finalidade de aumentar a tolerância ao estresse em sementes. Entre eles, as moléculas de mais destaque são a quitosana (CHOUHAN e MANDAL, 2021; HAMEED *et al.*, 2014), ácido indolacético (IAA) (ASHRAF *et al.*, 2006), melatonina (AKBARI *et al.*, 2020; ZHANG *et al.*, 2013), peróxido de hidrogênio (GAMMOUDI *et al.*, 2020; SADAK, 2022) e nitroprussiato de sódio (KAISER *et al.*, 2016; PIRES *et al.*, 2016).

Para Pongprayoon *et al.* (2013) e Yang *et al.* (2009) a quitosana é referida devido a sua estimulação antioxidante e estabilização de membrana na técnica de *priming*, porém, a quitosana é a molécula mais utilizada na agricultura além do *priming*, e se evidencia como molécula de alto potencial para a agricultura (PANDEY *et al.*, 2018). Na agricultura, a quitosana tem desempenhado diversas funções, como a proteção das plantas contra pragas e doenças antes e após a colheita; melhoria da ação de microrganismos antagonistas e controles biológicos; melhorar as interações benéficas entre plantas e microrganismos simbióticos; e regular o crescimento e desenvolvimento das plantas (RAMPIREZ *et al.*, 2010).

O peróxido de hidrogênio inicialmente foi definido como uma espécie reativa de oxigênio (ERO's), ele trata-se de uma molécula de importante interesse na técnica de *priming* (HABIB *et al.*, 2021; WOJTYLA *et al.*, 2016). No entanto, essa molécula atua na indução de enzimas antioxidantes e na melhor estabilização na membrana se aplicado na dosagem correta (BHATTACHARJEE, 2012; SANTHY *et al.*, 2014).

Dentre todas as moléculas, o nitroprussiato de sódio (SNP) foi a molécula mais testada para *priming*, devido ao seu potencial (NEJADALIMORADI *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2022, 2021). Há relatos também de sua eficiência em espécies florestais

(PEREIRA *et al.*, 2020). O nitroprussiato tem funções principais como concesso de óxido nítrico (NO), que se trata de uma molécula de indução a estímulos enzimáticos elevados, que causam o aumento da absorção de macronutrientes (SADAK, 2022; UCHIDA *et al.*, 2002).

Embora os mecanismos de respostas, durante a germinação de sementes, sob estresses abióticos já tenham sido investigados, o mecanismo pelo qual o peróxido de hidrogênio, o nitroprussiato e a quitosana, aplicada de forma exógena, via condicionamento fisiológico, influencia o controle osmótico e, portanto, o processo de germinação de sementes e crescimento de plântulas de algodão sob restrição hídrica são ainda pouco conhecidos (GUARALDO, 2022). Mesmo com muitos relatos comprovando a eficiência dessas moléculas, se faz necessário o teste delas em experimentos de campo em culturas diferentes, pelo fato de não existir um método condicionante universal, ou seja, o que pode ser bom para uma determinada cultura, pode não ser bom para outra.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material genético e local de condução

Foram utilizadas sementes de algodão da variedade DP 1536 BRF produzidas na safra 2018/2019, fornecidas pela Cooperativa de Produtores Rurais de Catuti, localizada na cidade de Catuti, região norte do estado de Minas Gerais. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação do laboratório Central de Pesquisas Sementes (LCPS) do Departamento de Agricultura, da Universidade Federal de Lavras (UFLA) - MG.

3.2. Descrição dos tratamentos

As sementes foram condicionadas a uma temperatura de 20° em soluções aeradas com as doses de 0,006 g nitroprussiato (100 µM), 0,0159 g quitosana (0,75 mM) e 1,94 ml peróxido de hidrogênio H₂O₂ (Mm) por 24 horas. Sementes condicionadas com água foram utilizadas como tratamento de controle. Foram semeadas 5 sementes por vasos contendo solo argiloso e adubação de plantio na proporção de nitrogênio (10-15 kg/ha),

fósforo em dose total em vasos com capacidade de 8 litros. Após germinação e desenvolvimento das plantas, ocorreu o desbaste, permanecendo apenas a planta mais desenvolvida em cada vaso (GUARALDO, 2022).

3.3. Aplicação de inseticida

Foram feitas duas aplicações do inseticida Engeo Pleno sobre as folhas das plantas com uso de um borrifador a uma dosagem de 0,3 ml de produto comercial em 2 litros de água devido ataque de pulgão (*Rhopalosiphum maidis*) e tripes (*Thysanoptera*). A primeira aplicação ocorreu 46 dias após a emergência das plantas (planta já desenvolvida) e a segunda 54 dias após a emergência, ou seja, a segunda aplicação de inseticida foi feita 7 dias após a primeira aplicação.

3.4. Aplicação de adubo de cobertura

Para restabelecimento das plantas por já estarem na fase B1, após a aplicação do inseticida, foi feita a adubação de cobertura com o produto 20-00-20 (20% nitrogênio, 0% fósforo, 20% potássio) 10 dias após a segunda aplicação de inseticida, a uma dosagem de 12 gramas por vaso. O produto foi aplicado no vaso sobre o solo a uma distância de 2 cm da planta.

3.5. Processo de indução ao estresse hídrico (Trocar a palavra teste por experimento)

Foram montados 3 blocos com 48 vasos, sendo 6 repetições por tratamento em cada bloco, em casa de vegetação. Foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento por 103 dias, com irrigações programadas para 4 vezes por dia, sendo duas irrigações no período da manhã e duas no período da tarde. Para a indução do estresse, 3 plantas de cada repetição foram submetidas à condição de restrição hídrica, onde foi retirada totalmente a água, 93 dias após emergir já na fase de botão floral da planta (B2). As medidas de altura de plantas, inserção da primeira folha, número de folhas e peso da matéria fresca da parte aérea e raiz foram realizadas 7 dias após a retirada da irrigação.

3.6. Altura das plantas (Colocar estágio fenológico ao invés de colocar dias após...)

Aos 112 dias após a semeadura, na fase B2 foi avaliado a altura das plantas. Para esta avaliação foi usada uma trena para medir a parte aérea de todos os vasos contendo uma planta. A medição foi feita 7 dias após a retirada da irrigação das plantas induzidas ao estresse hídrico. Os resultados são expressos na diferença de crescimento das plantas com e sem estresse hídrico.

3.7. Altura da inserção da primeira folha

Após a avaliação da altura das plantas, também foi avaliado a altura da inserção da primeira folha de todas as plantas dos vasos. Para esta avaliação foi usada uma trena em todos os vasos, 7 dias após a retirada da irrigação das plantas induzidas ao estresse hídrico. Os resultados são expressos em relação ao tipo de condicionante usado antes da semeadura da planta.

3.8. Número de folhas por planta

Também foi avaliado no mesmo dia, o número de folhas de todas as plantas dos 144 vasos. A avaliação foi feita através de contagem manual. Os resultados são expressos na diferença da quantidade de folhas por planta após a planta ser exposta ao estresse hídrico.

3.9. Matéria fresca e matéria seca da parte aérea

Uma hora após medir a altura das plantas, altura da inserção de primeira folha e a contagem do número de folhas por planta, três plantas por tratamento foram retiradas dos vasos e separadas da raiz e posteriormente levadas para o laboratório onde foi feita a pesagem do material com o uso da balança de precisão, obtendo-se assim o valor da matéria fresca da parte aérea.

Em seguida, essas amostras foram armazenadas em sacos de papel e colocadas na estufa de circulação de ar a uma temperatura de 60°C durante 96 horas. Ao final desse período as amostras foram novamente pesadas, obtendo-se então o valor de matéria seca da parte aérea.

3.10. Matéria fresca e matéria seca de raiz

Uma hora após medir a altura das plantas, altura da inserção de primeira folha e a contagem do número de folhas por planta, três raízes por tratamento que foram retiradas dos vasos e separadas da parte aérea foram levadas para o laboratório onde foi feita a pesagem do material com o uso da balança de precisão, obtendo-se assim o valor da matéria fresca da raiz.

Em seguida, essas amostras foram armazenadas em sacos de papel e colocadas na estufa de circulação de ar a uma temperatura de 60°C durante 96 horas. Ao final desse período as amostras foram novamente pesadas, obtendo-se então o valor de matéria seca da parte raiz.

3.11. Análise bioquímica das folhas (Explicar que foi descartado a planta do vaso que sobrou)

Para análise fisiológica, foi utilizado delineamento em blocos inteiramente casualizado, com um planejamento fatorial 2 (condições de estresse, com e sem estresse) x 4 (condicionantes). Para cada tratamento foram usadas duas repetições biológicas, cuja atividade enzimática foi avaliada em triplicata.

A partir de experimentos fisiológicos, as folhas foram colhidas 112 dias após a semeadura e armazenadas em freezer a -80°C, até a análise bioquímica conforme descrito abaixo. As folhas restantes que não foram utilizadas para análise bioquímica, seguem armazenadas em freezer a - 80° C. Das amostras, 200 mg foram coletados e homogeneizados com 1,25 mL de ácido tricloroacético (TCA) a 0,1% e do decil de sódio a 1% sulfato (SDS). O material foi centrifugado a 12.000 rpm por 15 min, e 300 µL de sobrenadante foram coletados e misturados com 1 mL de ácido tricloroacético (TCA) a 20% e ácido tiobarbitúrico (TBA) a 0,5%. A solução foi aquecida a 95 °C por 30 min e imediatamente resfriado em gelo. A absorbância a 532 nm foi medida e o conteúdo de MDA calculado usando um coeficiente de extinção de 155 mM⁻¹ cm⁻¹ (BARYLA *et al.*, 2000).

Para superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e extração da enzima catalase (CAT), 200 mg de material foi macerado e homogeneizado com 1,5 mL de solução composta por fosfato de potássio 100 mM pH 7,8; EDTA 0,1 mM; 10 mM de ácido ascórbico e centrifugado a 12.000 rpm por 10 min a 4°C. O sobrenadante foi

coletado e armazenado a - 80 °C até a análise da atividade enzimática (BIEMELT *et al*, 1998).

A atividade da superóxido dismutase foi determinada através da capacidade de inibir a redução fotoquímica do azul nitro de tetrazólio (NBT) (GIANNOPOLITS, RIES, 1977). Dez microlitros de extrato foram combinados com 190 µL de solução composta por fosfato de potássio 50 mM pH 7,8; melatonina 14 mM; EDTA 0,1 µM; 75 µM nitro azul tetrazólio (NBT); e 2 µM de riboflavina. Os tubos foram mantidos sob luz fluorescente de 20W por 7 min, e as leituras foram realizadas a 560 nm. Uma unidade SOD é definida como a quantidade de enzima necessária para inibir 50% da taxa de redução do NBT.

A atividade de CAT foi determinada pela diminuição na absorbância de 240 nm a cada 15 s por 3 min, monitorando o consumo de peróxido de hidrogênio (HAVIR e MCHALE, 1987). Para isso, 10 µL de extrato enzimático foram misturados com 162 µL de solução composta por fosfato de potássio 100 mM e 9 µL de peróxido de hidrogênio 240 mM. A atividade da catalase é definida como a quantidade de enzima necessária para decompor 1 µM.min⁻¹ de peróxido de hidrogênio.

A peroxidase de ascorbato (APX) foi determinada pela redução na absorbância de ascorbato ($\epsilon = 2,8 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) a 290 nm a cada 15 s por 3 min (NAKANO, ASADA, 1981). Para isso, 9 µL de extrato foram adicionados ao 162 µL de solução composta por fosfato de potássio 100 mM; e 0,5 ácido ascórbico mM. Esta solução (antes da adição ao extrato enzimático) foi pré-aquecida a 30 °C. Depois de misturar as duas soluções anteriores, 9 µL. Foi adicionado peróxido de hidrogênio 2 mM e as leituras foram realizadas. A unidade APX é definida como a quantidade de enzima que oxida 1 µmol/min ácido ascórbico. O conteúdo de prolina foi medido misturando 0,2 g de matéria fresca com 10 mL de ácido sulfosalicílico a 3%, vórtex e centrifugado a 15.000 RPM por 10 min. A partir disso, 2 mL de sobrenadante foram coletados e adicionados a 2 mL de ninidrina ácida e 2 mL de ácido acético. O material foi aquecido a 95 °C por uma hora e resfriado com gelo. A absorbância foi medida a 520 nm, e os resultados foram comparados com uma curva padrão de prolina, com os resultados expressos em micromoles de prolina/g de matéria fresca.

3.12. Análise estatística

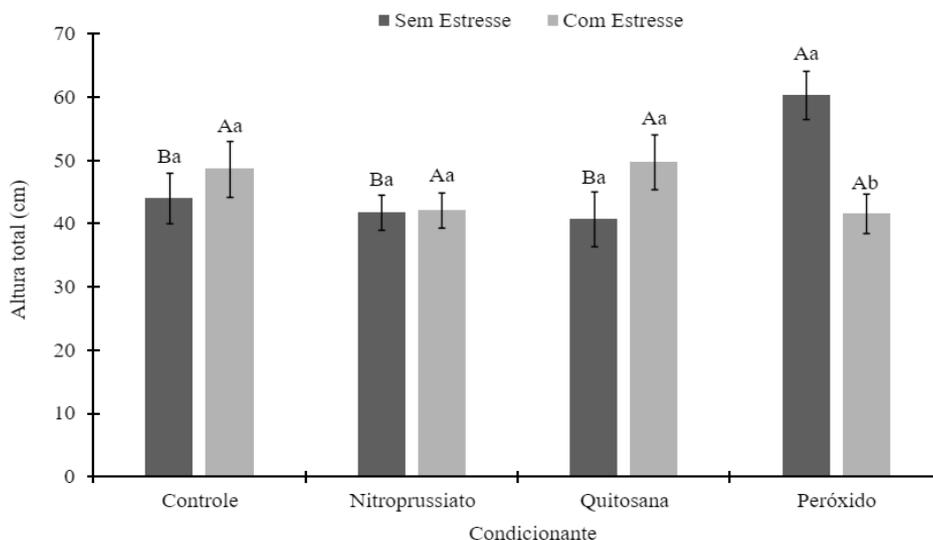
O experimento foi estabelecido em delineamento em blocos casualizados, com esquema fatorial de 4 (condicionantes) x 2 (condições de estresse). Os dados foram compilados em planilhas no Microsoft Office Excel. E analisados por meio de análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey a 5% de probabilidade quando observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos ($p < 0,05$). Todas as análises foram conduzidas pelo software R for Windows (R CORE TEAM, 2021; MENDIBURU, 2021).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise da altura total das plantas (FIGURA 1) foi observado que nas plantas condicionadas com peróxido o resultado foi menor para o crescimento da planta em condição de estresse hídrico do que nas plantas sem estresse. No entanto, na condição sem estresse o peróxido apresentou resultado maior que os outros condicionantes que foram iguais entre si.

O efeito menor do peróxido de hidrogênio em condições de estresse hídrico para o crescimento da planta pode ser explicado no trabalho dos autores Silva *et al* (2020) que explicam que a ausência de disponibilidade hídrica, causa a redução na taxa de crescimento das plântulas, por afetar diversos processos metabólicos como o fechamento estomático, redução da condutância estomática, redução da fotossíntese e transpiração. Ocorre também a diminuição da expansão e alongamento celular devido a redução da turgescência (MOTERLE *et al.*, 2006).

Figura 1. Efeito do condicionamento fisiológico sobre a altura total em plantas de algodão submetidas e não submetidas à estresse por déficit hídrico



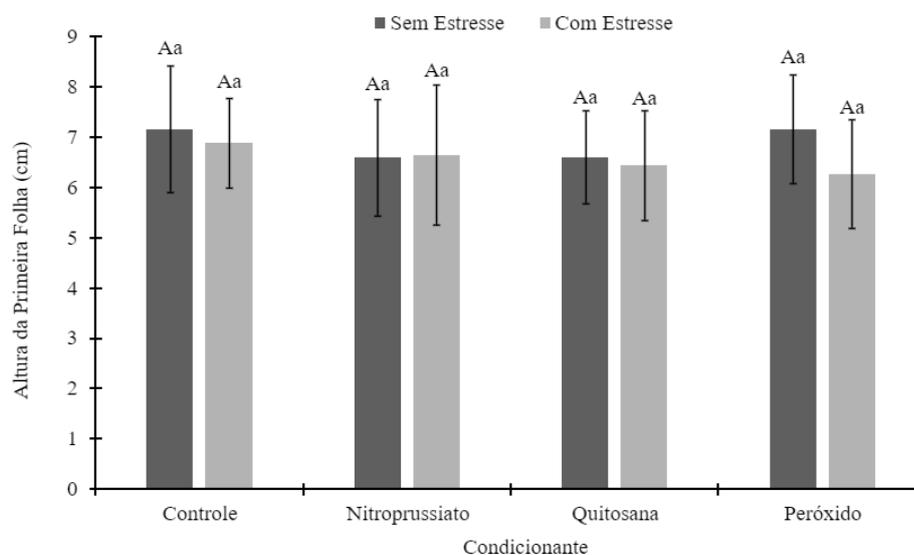
Legenda: Letras iguais, maiúsculas comparando os condicionantes em cada estresse e minúsculas comparando os estresses em cada condicionante.

Fonte: Da autora (2023)

Na análise da altura da primeira folha (FIGURA 2) não foi observado nenhuma diferença significativa no efeito do condicionante e nem do estresse hídrico nas plantas de algodão. Isso pode ter acontecido pois nenhuma planta encontrava-se sob restrição hídrica no momento da inserção da primeira folha, com isso o crescimento das plantas foi igual, os condicionantes não tiveram efeito em plantas em condições favoráveis.

Sendo assim, pode -se dizer que o uso de condicionantes em relação à altura de inserção da primeira folha em plantas sob restrição hídrica não mostrou diferenças positivas para seu uso.

Figura 2. Efeito do condicionamento fisiológico sobre a altura de inserção da primeira folha em plantas de algodão submetidas e não submetidas à estresse por déficit hídrico.



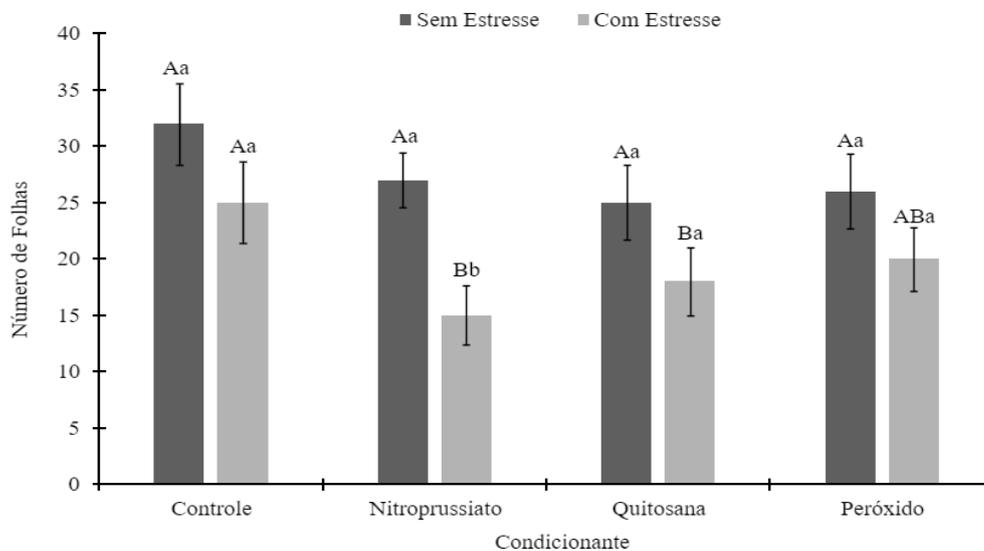
Legenda: Letras iguais, maiúsculas comparando os condicionantes em cada estresse e minúsculas comparando os estresses em cada condicionante

Fonte: Da autora (2023)

Na análise do número de folhas por planta (FIGURA 3) foi observado o efeito do estresse nas plantas submetidas à restrição hídrica. Os condicionantes quitosana e nitroprussiato apresentaram os menores valores, sendo iguais entre si, produzindo menos folhas em condições estressantes. O nitroprussiato apresentou diferenças nas condições com e sem estresse, no qual, nesta última condição seu valor foi superior. Sendo assim, pode -se dizer que o uso de condicionantes em relação ao número de folhas em plantas sob restrição hídrica não foi positivo.

Com relação a diferença no número de folhas das plantas com e sem estresse, cujas sementes foram condicionadas com nitroprussiato, pode ser justificada levando em consideração que uma das alterações fisiológicas em relação ao estresse é a maior produção endógena de hormônios, como o ácido abscísico e o etileno, com isso, na presença desses compostos há uma maior senescência e abscisão de folhas (LARCHER, 2000).

Figura 3. Efeito do condicionamento fisiológico sobre o número de folhas em plantas de algodão submetidas e não submetidas à estresse por déficit hídrico.



Legenda: Letras iguais, maiúsculas comparando os condicionantes em cada estresse e minúsculas comparando os estresses em cada condicionante.

Fonte: Da autora (2023)

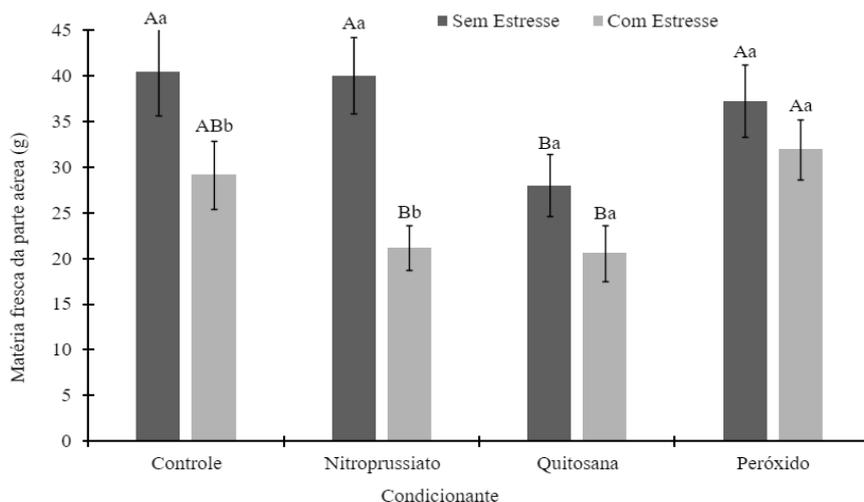
Na análise de matéria fresca da parte aérea (FIGURA 4) foi observado o efeito do estresse nas plantas submetidas à restrição hídrica. Os condicionantes quitosana e nitroprussiato apresentaram os menores valores, sendo iguais entre si, quando submetidos a estresse hídrico. O condicionante peróxido de hidrogênio demonstrou maior valor que os demais na condição com estresse hídrico. O nitroprussiato, assim como a quitosana, apresentaram menores valores quando submetidos a restrição hídrica. Na condição sem estresse, o nitroprussiato, peróxido e as plantas condicionadas em água obtiveram maior resultado, sendo iguais entre si. A quitosana obteve o menor resultado em condições sem estresse. O uso de peróxido de hidrogênio para plantas submetidas ao estresse hídrico é positivo em relação ao crescimento da parte aérea da planta.

Conforme Taiz & Zeiger (2004), a resposta mais relevante das maiorias das plantas com restrição hídrica, constitui-se na redução da produção da área foliar, do fechamento dos estômatos, da aceleração da senescência e da abscisão das folhas. Quando as plantas são submetidas à deficiência hídrica, estas exibem com frequência respostas fisiológicas que resultam de forma indireta, na conservação da água no solo, gerando assim a economia de água para períodos posteriores, fazendo com que ocorra a redução

da superfície transpiratória, causando a perda de folhas, ou no simples fato de parar o crescimento foliar, reduzindo a área foliar e mantendo o peso da parte aérea.

Outra maneira de diminuir a área foliar é através da diminuição do número de folhas, pois o estresse hídrico reduz o número e a taxa de crescimento dos ramos (KER BAUY, 2004).

Figura 4. Efeito do condicionamento fisiológico sobre o peso da matéria fresca da parte aérea em plantas de algodão submetidas e não submetidas à estresse por déficit hídrico.

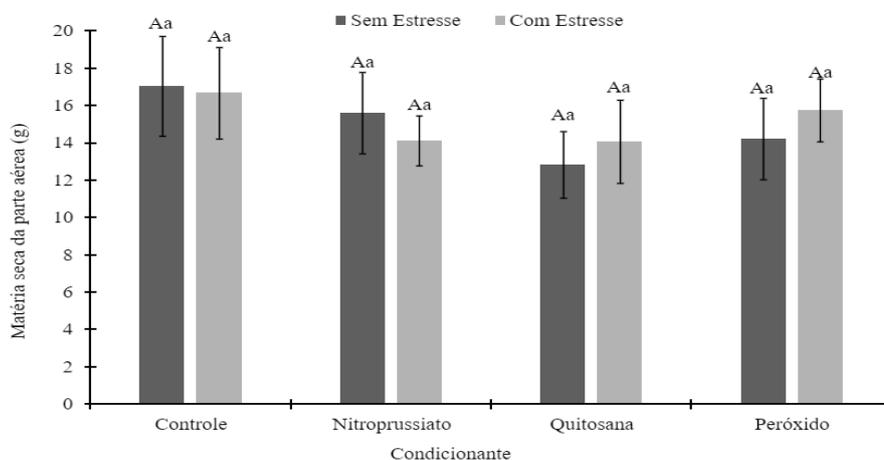


Legenda: Letras iguais, maiúsculas comparando os condicionantes em cada estresse e minúsculas comparando os estresses em cada condicionante.

Fonte: Da autora (2023)

Na análise de matéria seca da parte aérea (FIGURA 5) não houve diferença significativa para nenhum tratamento. Essa diferença de resultado em relação ao da massa fresca da parte aérea foi em função da água que havia no corpo das plantas sem estresse. Assim, quando elas foram submetidas à secagem em estufa, seu valor em relação às plantas com estresse foram os mesmos. O acúmulo de matéria seca é o mesmo para todas as plantas com estresse ou não.

Figura 5. Efeito do condicionamento fisiológico sobre o peso da matéria seca da parte aérea em plantas de algodão submetidas e não submetidas à estresse por déficit hídrico.

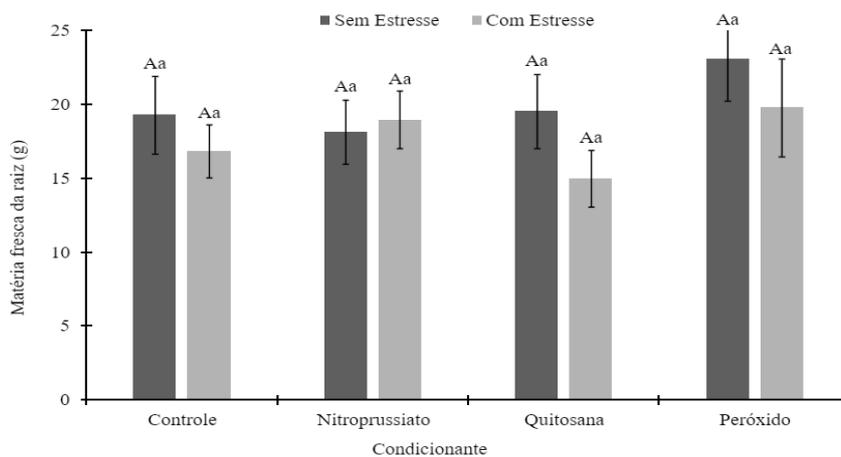


Legenda: Letras iguais, maiúsculas comparando os condicionantes em cada estresse e minúsculas comparando os estresses em cada condicionante.

Fonte: Da autora (2023)

Na análise de matéria fresca da raiz (FIGURA 6) foi observado que não houve diferenças significativas independente do tratamento e estresse, ou seja, o condicionante e estresse não tiveram interferência no crescimento da raiz.

Figura 6. Efeito do condicionamento fisiológico sobre o peso da matéria fresca da raiz em plantas de algodão submetidas e não submetidas à estresse por déficit hídrico.



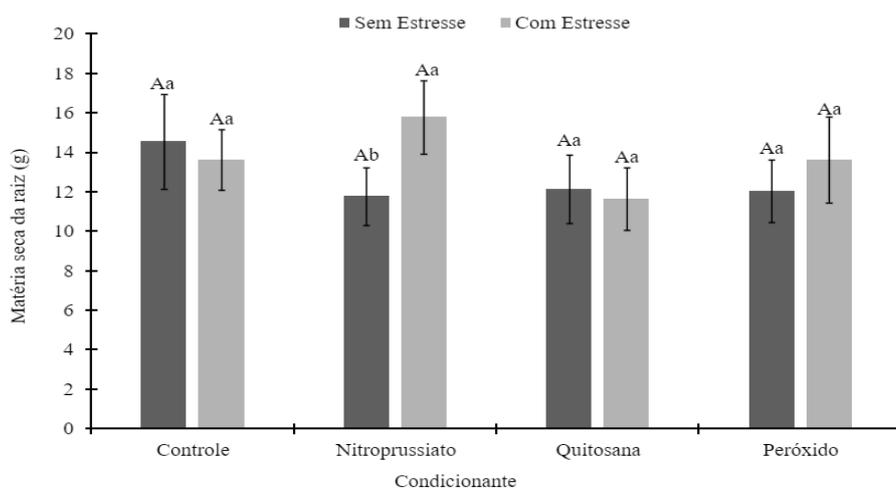
Legenda: Letras iguais, maiúsculas comparando os condicionantes em cada estresse e minúsculas comparando os estresses em cada condicionante.

Fonte: Da autora (2023)

Na análise de matéria seca da raiz (FIGURA 7) foi observado que nas plantas condicionadas com nitroprussiato submetidas a estresse, tiveram maior crescimento de raiz se comparado a condição sem estresse, ou seja, o uso de nitroprussiato para condições de estresse hídrico é positivo, onde é capaz de produzir raízes mais longas, para que estas sejam capazes de se movimentar mais no solo em camadas mais profundas em busca de água. Nos demais condicionantes e no controle não apresentaram diferenças significativas. Esse resultado é importante, pois se pensar em uma produção de algodão em larga escala em localidades onde não há uma distribuição de chuva eficiente, como uso do nitroprussiato no condicionamento das sementes, é capaz de manter o desenvolvimento e crescimento da planta, até que a mesma obtenha disponibilidade hídrica, com isso não causa perda na qualidade das plantas e sucessivamente não causa perda de produtividade.

Uma das propriedades do nitroprussiato de sódio é a de fornecer óxido nítrico (ON), que aumenta a tolerância da semente a diferentes estresses abióticos, como estresse hídrico e salino (SILVA *et al.*, 2015; KAISER *et al.*, 2016; PIRES *et al.*, 2016) além de possuir propriedades antioxidantes (SILVA *et al.*, 2015; PIRES *et al.*, 2016).

Figura 7. Efeito do condicionamento fisiológico sobre o peso da matéria seca da raiz em plantas de algodão submetidas e não submetidas à estresse por déficit hídrico.



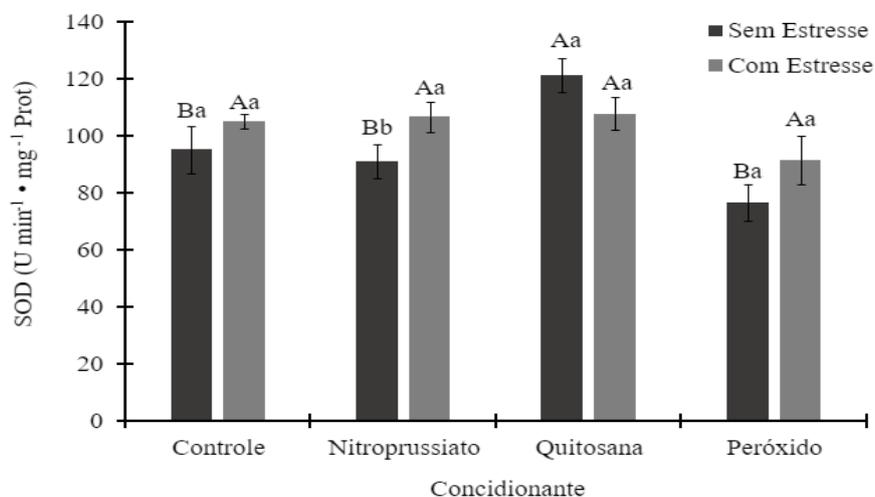
Legenda: Letras iguais, maiúsculas comparando os condicionantes em cada estresse e minúsculas comparando os estresses em cada condicionante.

Fonte: Da autora (2023)

Para análise de Superóxido Dismutase (SOD) (FIGURA 8) em plantas de algodão sob estresse hídrico, foi observado que os tratamentos não apresentaram diferenças significativas entre si. As plantas condicionadas com quitosana, em condições sem estresse apresentaram maiores valores. O nitroprussiato sob condição de estresse hídrico apresentou maior valor de atividade da SOD em relação à condição sem estresse. Esse resultado é importante, pois as plantas condicionadas com essa enzima podem tolerar melhor as adversidades ambientais quando as mesmas forem plantadas em campo e não possuir disponibilidade hídrica por um período de tempo. Com isso, as plantas são capazes de continuar seu desenvolvimento mesmo em condições estressantes.

Para Mullineaux e Rausch (2005) as plantas com elevada atividade de SOD detém maior proteção celular. Isso se dá, devido esta enzima ser a primeira via de competição aos efeitos nocivos do acúmulo de radicais livres nas células. Ela tem a função de dar início ao processo de desintoxicação através da redução do radical superóxido em peróxido de hidrogênio (DAS E ROYCHOUDHURY, 2014). Sendo assim, o aumento da atividade de SOD em plantas em condições de restrição hídrica, mostra-se um sinal favorável em função da capacidade da planta em tolerar adversidades ambientais (LI *et al.*, 2013).

Figura 8. Efeito do SOD sobre as plantas de algodão submetidas e não submetidas à estresse por déficit hídrico.



Legenda: Letras iguais, maiúsculas comparando os condicionantes em cada estresse e minúsculas comparando os estresses em cada condicionante. Dados estatísticos obtidos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2023)

Para a análise da Catalase (CAT) (FIGURA 9) em plantas de algodão sob estresse hídrico, foram observadas diferenças significativas entre todos os condicionantes. As plantas condicionadas com peróxido de hidrogênio sob estresse mostraram os maiores resultados da atividade de CAT em relação aos demais condicionantes, com um valor de atividade mais alto e com diferença bastante significativa quando em condições de estresse, onde seu valor também foi maior do que na condição sem estresse. As plantas condicionadas com nitroprussiato e as condicionadas em água também demonstraram atividade de CAT maior quando expostas ao estresse, porém com valor abaixo do que as condicionadas com o peróxido. Plantas condicionadas com a quitosana, apresentaram um valor extremamente baixo sob condição de estresse.

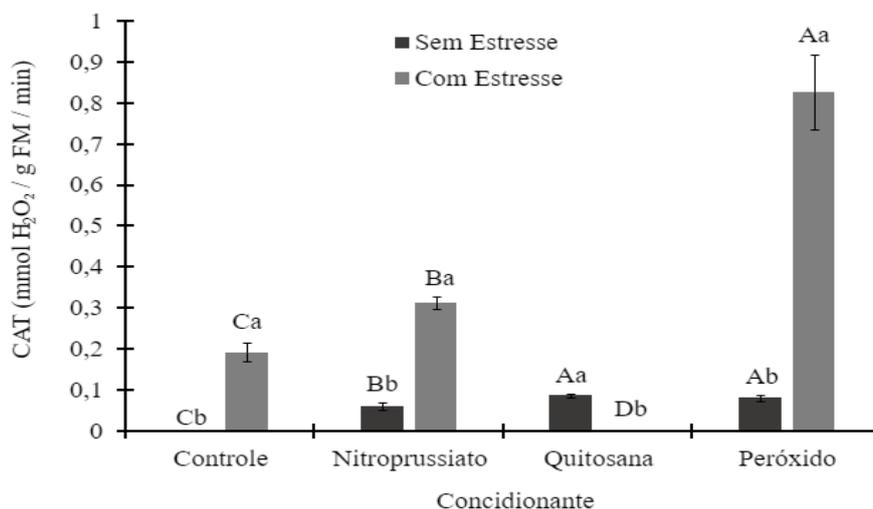
Na condição sem estresse os condicionantes apresentaram diferenças significativas, onde a quitosana e o peróxido de hidrogênio apresentaram valores iguais, com maior valor de atividade da CAT, e os demais apresentaram valores iguais. Sendo assim, pode-se dizer que é indicado o uso de nitroprussiato e peróxido de hidrogênio para a melhor atividade da catalase nas plantas sob estresse. Pois, os níveis elevados de H₂O₂

são tóxicos para a planta e a catalase são enzimas indispensáveis para a desintoxicação das células das plantas em condições de estresses, pois elas são responsáveis pela dismutação direta de H_2O_2 em H_2O e O_2 , removendo o peróxido que foi gerado nos peroxissomos por oxidases envolvidos na oxidação de ácidos graxos, fotorrespiração e catabolismo de purinas (GILL & TUTEJA, 2010).

Os resultados foram semelhantes ao trabalho apresentado por Akcay *et al.* (2010), em que foi analisada a atividade da CAT em *Arachis hypogaea* L., no qual foi verificado o aumento acentuado da enzima em condições de estresse hídrico. Os autores concluíram que a CAT se trata de uma enzima mais eficaz na defesa contra processos oxidativos. Sendo assim, as plantas condicionadas com nitroprussiato e peróxido em condições de estresse representam uma melhor capacidade de aclimação da espécie.

A maior atividade da CAT nas plantas sob restrição hídrica é importante, pois essa enzima é capaz de manter os níveis de H_2O_2 adequado nas plantas. A maior atividade desta em condições de estresse, indica uma maior tolerância à estresses, fazendo com que as plantas continuem seu ciclo de desenvolvimento.

Figura 9. Efeito da catalase sobre as plantas de algodão submetidas e não submetidas à estresse por déficit hídrico.



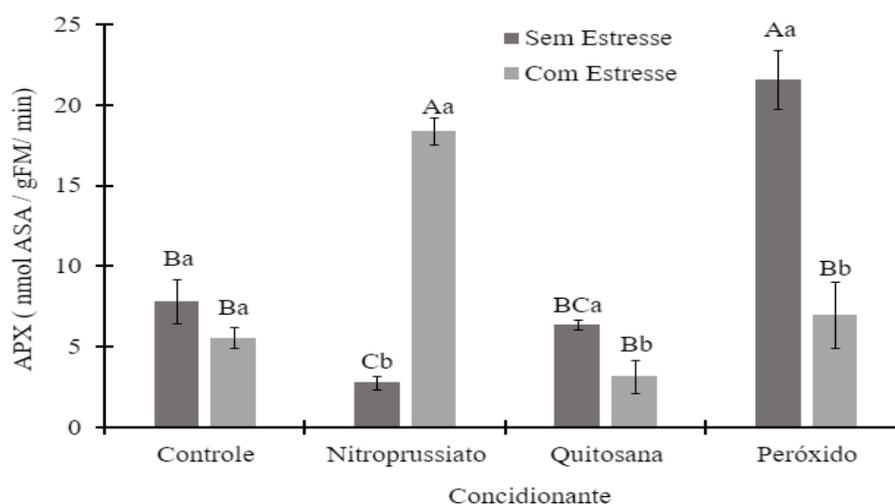
Legenda: Letras iguais, maiúsculas comparando os condicionantes em cada estresse e minúsculas comparando os estresses em cada condicionante.

Fonte: Da autora (2023)

Na análise de Ascorbato Peroxidase (APX) (FIGURA 10) em plantas de algodão sob estresse hídrico, o nitroprussiato apresentou diferença significativa dos demais condicionantes, obtendo o maior valor. A quitosana e peróxido de hidrogênio obtiveram resultados menores que o nitroprussiato, porém iguais entre si na condição sob estresse. Em condições sem estresse hídrico o peróxido obteve o maior valor, seguido pela quitosana e controle. O nitroprussiato obteve o menor valor na condição sem estresse. O nitroprussiato e controle apresentaram os maiores valores de atividade da CAT em condições de estresse hídrico, o nitroprussiato apresentou maior atividade da CAT em condição com estresse do que sem estresse. Desta forma, pode-se dizer que o uso de nitroprussiato nas plantas em condições de estresse hídrico é positivo pois assim como no caso da SOD, a atividade do APX é responsável por diminuir o conteúdo de H_2O_2 no interior da célula, melhorando a tolerância da planta em condições de estresse.

Para Vieira *et al.*, (2013), a APX trata-se de uma enzima envolvida na detoxificação de peróxido de hidrogênio com função de proteger as células sob condições de estresse. A expressão gênica diferencial do APX pode fazer parte da primeira linha de defesa do sistema antioxidante enzimático, onde é expressa com mais rapidez nos períodos iniciais de estresse.

Figura 10. Efeito do Ascorbato Peroxidase sobre as plantas de algodão submetidas e não submetidas à estresse por déficit hídrico.



Legenda: Letras iguais, maiúsculas comparando os condicionantes em cada estresse e minúsculas comparando os estresses em cada condicionante.

5. CONCLUSÃO

O uso de peróxido de hidrogênio protege as plantas já desenvolvidas dos efeitos de restrição hídrica e induz a formação da enzima de proteção oxidativa CAT em condição de estresse. O uso de nitroprussiato de sódio, induz no crescimento de raiz em condições de restrição hídrica e na formação das enzimas de proteção oxidativa APX, CAT e SOD em condições de restrição hídrica. A quitosana não apresentou resultados positivos quanto a seu uso em condições de estresse.

REFERÊNCIAS

- ABRAPA. Algodão no Mundo. Disponível em: <<http://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/algodao-no-mundo.aspx>> Acesso em: 22 de jul. 2023.
- ABRAPA. A cadeia do algodão brasileiro: Desafios e estratégias. Brasília: **ABRAPA**, 2022-2023. Disponível em: <<https://www.abrapa.com.br/Paginas/Dados/Algod%C3%A3o%20no%20Brasil.aspx>> Acesso em: 22 de jul. 2023.
- ABRAPA. Cooperação com Bangladesh deve impulsionar mercado nacional de algodão. Disponível em: <<https://www.abrapa.com.br/Paginas/Not%C3%ADcias%20Abrapa.aspx?noticia=1307>> Acesso em: 18 de jun. 2023.
- ABRAPA. Dados — Números de produção e comercialização — algodão no Brasil. Brasília, DF: **ABRAPA**. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/Dados/Algod%C3%A3o%20no%20Brasil.asp>. Acesso em: 10 set. 2021.
- AGÊNCIA SAFRAS – Valor bruto da produção do algodão para 2023 tem aumento expressivo em Mato Grosso – **IMEA**. Disponível em: <<https://safras.com.br/valor-bruto-da-producao-do-algodao-para-2023-tem-aumento-expressivo-em-mato-grosso-imea/>> Acesso em: 22 jul. 2023.
- ARAÚJO, A. E. de; SOFIATTI, V. Cultura do algodão no cerrado: introdução. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaoalf6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=7718&p_r_p_-996514994_topicoId=7985 Acesso em 27 jun 2023.
- ARAÚJO, A. E. et al. EMBRAPA: Cultivo do algodão irrigado. Sistemas de produção. Setembro de 2006.
- AKCAY, U. C.; ERCAN, O.; KAVAS, M.; YILDIZ, L.; YLMAZ, C.; OKTEM, H. A.; YUCEL, M. Drought-induced oxidative damage and antioxidant responses in peanut (*Arachis hygaeae* L.) seedling. **Plant Growth Regulation**, v. 61, p. 21-28, 2010.
- AKBARI, G.A., HESHMATI, S. SOLTANI, E., AMINI DEHAGHI, M., 2020. Influence of seed priming on seed yield, oil content and fatty acid composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit. **Int. J. Plant Prod.** 14, 245–258. <https://doi.org/10.1007/s42106-019-00081-5>.
- ALMEIDA, E. S. A. B de. Produção e qualidade da fibra do algodoeiro herbáceo submetido a déficits hídricos nas fases fenológicas. 2016. 42 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2016.
- ALVES, L. R. A. et al. Cadeia agroindustrial e transmissão de preços do algodão ao consumidor brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 59, 2021.
- AMPA. Historia do algodão. Disponível em: <http://www.sincti.com/clientes/ampa/site/qs_historia.php> Acesso em: 18 de jun. 2023.

AZEVEDO, P.V.D.; SILVA, F.D.D.S. Risco climático para o cultivo do algodoeiro na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 3, p. 408-416, 2007

BALBINO, E.; LOPES, H.M. Efeitos do condicionamento fisiológico e da secagem na germinação e vigor de sementes de cenoura. **Revista Brasileira de Sementes**, v.28, n.1, p.1-8, 2006

BALDO, R.; SCALON, S. P. Q.; ROSA, Y. B. C. J.; MUSSRY, R. M.; BETONI, R.; BARRETO, W. S. Comportamento do algodoeiro cultivar delta opal sob estresse hídrico com e sem aplicação de bioestimulante. **Ciências e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, Ed. especial, p.1804-1812, 2009.

BHANUPRAKASH, K., YOGEESEA, H. S., 2016. Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. In: *Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops*. Springer, New Delhi, pp. 103–117. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2725-0_6.

BHATTACHARIEE, S., 2012. An inductive pulse of hydrogen peroxide pretreatment restores redox-homeostasis and oxidative membrane damage under extremes of temperature in two rice cultivars. **Plant Growth Regul.** 68, 395–410. <https://doi.org/10.1007/s10725-012-9728-9>.

BRASIL (2005). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº. 25, de 16 de dezembro de 2005. Estabelecer normas específicas e os padrões de identidade e qualidade para produção e comercialização de sementes de algodão, arroz, aveia, azevém, feijão, girassol, mamona, milho, soja, sorgo, trevo vermelho, trigo, trigo duro, triticale e feijão caupi. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 2005. https://www.normasbrasil.com.br/norma/instrucao-normativa-25-2005_75583.html.

MAPA, 2007. Cadeia produtiva do algodão/ Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Política Agrícola, Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura; Antônio Leite. - Brasília: IICA: MAPA/SPA, 2007. 108 p. - (Agronegócios; v 4).

CARVALHO, IVAN RICARDO, et al. "Demanda hídrica das culturas de interesse agrônomo." **Enciclopédia Biosfera** 9.17 (2013).

CHOUHAN, D., MANDAL, P., 2021. Applications of chitosan and chitosan based metallic nanoparticles in agrosociences-a review. **Int. J. Biol. Macromol.** 166, 1554–1569. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.11.035>.

COELHO, ALEXANDRE BRAGANÇA. A cultura do algodão e a questão da integração entre preços internos e externos. 2002. Dissertação (Mestrado em Teoria Econômica) -**Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo**, 2002. Acesso em: 18/06/2023

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2020/21, 7º levantamento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 10 abr. 2021.

CORDÃO, MAILSON ARAUJO, et al. "Cultivares de algodoeiro herbáceo sob déficit hídrico aplicado em fases fenológicas." **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável** 13.3 (2018): 313-321.

DAS, K.; ROYCHOUDHURY, A. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. **Frontiers in Environmental Science**, v. 2, p. 53, 2014.

DUARTE, J. M. de L; LIMA, A. D; NASCIMENTO, R. S; VIANA, T. V. de A; SARAIVA, K. R; AZEVEDO, B. M. de. Eficiência do uso da água na produção de óleo do girassol (*helliantusannuus* L.), sob suspensão hídrica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.6, nº.3, p. 166 - 175, 2012.

EDUARDO BUCSAN EMRICH, MÁRCIO JOSÉ DA ROCHA LUPPI, CAROLINA BELEI SALDANHA. Fitotecnia: algodão e mandioca. – Londrina : **Editora e Distribuidora Educacional S.A.**, 2018

EMBRAPA ALGODÃO. Algodão : o produtor pergunta, a Embrapa responde / editores técnicos, NAPOLEÃO ESBERARD DE MACÊDO BELTRÃO, ALDERI EMÍDIO DE ARAÚJO, **Embrapa Algodão**. – Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 265p. : il. Color. ; – (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

FELIPE DE MENDIBURU, 2021. agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.3-5. URL <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>

FILHO, H. G. Deslintador mecânico-químico de sementes de algodão: Desenvolvimento e avaliação do deslintador.

GAMMOUDI, N., KARMOUS, I., ZERRIA, K., LOUMEREM, M., FERCHICHI, A., NAGAZ, K., 2020. Efficiency of pepper seed invigoration through hydrogen peroxide priming to improve in vitro salt and drought stress tolerance. **Hortic. Environ. Biotechnol.** 61, 703–714. <https://doi.org/10.1007/s13580-020-00260-8>.

GASQUES, J. G.; SILVA e SOUZA, G de; BASTOS, E.T. BRASIL: Tendências do Agronegócio 2017-2030. **Plano de Estado – Brasil 2030**. (Livro no prelo a ser publicado pela (Cátedra Luiz de Queiros, ESALQ, 2018)

GASQUES, J. G. VALOR BRUTO DA PRODUÇÃO – Lavouras e pecuária – BRASIL. **MAPA**.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, p. 909-930, 2010.

GUARALDO, MARÍLIA MENDES DOS SANTOS. Indução de tolerância à salinidade e restrição hídrica em sementes de algodão por meio de moléculas sinalizadoras / Marília Mendes dos Santos Guaraldo. - 2022. 53 p.

GUARALDO, M. M. dos S. *et al.* Priming with sodium nitroprusside and hydrogen peroxide increases cotton seed tolerance to salinity and water deficit during seed germination and seedling development. **Environmental and Experimental Botany**, [S.l.], v. 209, May 2023.

HABIB, N., ALI, Q., ALI, S., HAIDER, M.Z., JAVED, M.T., KHALID, M., PERVEEN, R., ALSAHLI, A. A., ALVEMENI, M.N., 2021. Seed priming with sodium nitroprusside and H₂O₂ confers better yield in wheat under salinity: water relations, antioxidative defense mechanism and ion homeostasis. **J. Plant Growth Regul.** 1–21. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10378-3>.

HAMEED, A., SHEIKH, M. A., HAMEED, A., FAROOQ, T., BASRA, S.M.S., JAMIL, A., 2014. Chitosan seed priming improves seed germination and seedling growth in wheat (*Triticum aestivum* L.) under osmotic stress induced by polyethylene glycol. **Philipp. Agric. Sci.** 97, 294–299.

ASHRAF, M. Y., AZHAR, N., HUSSAIN, M., 2006. Indole acetic acid (IAA) induced changes in growth, relative water contents and gas exchange attributes of barley (*Hordeum vulgare* L.)

grown under water stress conditions. **Plant Growth Regul.** 50, 85–90. <https://doi.org/10.1007/s10725-006-9130-6>.

HAY, R.; PORTER, J. The physiology of crop yield. Ames: **Blackwell**, 2006

KAISER, I. S., MACHADO, L. C., LOPES, J. C., MENGARDA, L. H. G., 2016. Efeito de liberadores de óxido nítrico na qualidade fisiológica de sementes de repolho sob salinidade. **Rev. Ceres** 63, 39–45. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201663010006>.

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

KIKUTI, A.L.P.; KIKUTI, H.; MINAMI, K. Condicionamento fisiológico em sementes de pimentão. **Revista Ciência Agronômica**, v.36, n.2, p.243-248, 2005.

KUBALA, S. *et al.* Enhanced expression of the proline synthesis gene P5CSA in relation to seed osmopriming improvement of Brassica napus germination under salinity stress. **Journal of Plant Physiology**, v. 183, p. 1-12, 2015.

LARCHER, W. Ecologia vegetal, São Carlos: **RiMa Artes e Textos**, 2000. 531p.

MAPA. Projeções do Agronegócio. Brasil 2018/2019 a 2028/29 Projeções de longo prazo. Brasília: **MAPA** 2019.

MARCOS FILHO, J.; KIKUTI, A.L.P. Condicionamento fisiológico de sementes de couve-flor e desempenho das plantas em campo. **Horticultura Brasileira**, v.26, n.2, p.165-169, 2008.

MARQUES FILHO, A. C.; RUSCONI, L. H.; SILVA, P. R. A. Plantabilidade e distribuição longitudinal de sementes de algodão com diferentes conjuntos disco-anel em dosador mecânico. **Energia na agricultura**, v. 35, n. 4, p. 476-483, 2020.

MASSACCI, A. S. M.; NABIEV, L.; PETROSANTI, S. K.; NEMATOV, T. N.; CHERNIKOVA, K.; THOR, and J. LEIPNER. Response of the photosynthetic apparatus of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) to the onset of drought stress under field conditions studied by gas-exchange analysis and chlorophyll fluorescence imaging. **Plant Physiol. Biochem.**v.46 p.189-195, 2008.

MELO FILHO, G.A; RICHETTI, A. Cadeia produtiva do algodão de Mato Grosso do Sul: Eficiência e competitividade. Dourados: **Embrapa**, 2003.

MENEZES, I. (2009). Caracterização in situ e diversidade genética de algodoeiros mocós (*Gossypium hirsutum* raça mari e galante) da região nordeste do Brasil. 2009. 91f. Dissertação (Mestrado em Genética e Biologia Molecular) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal

MOTERLE, L. M. et al. Germinação de sementes e crescimento de plântulas de cultivares de milho-pipoca submetidas ao estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, p. 169-176, 2006.

MULLINEAUX, P. M.; RAUSCH, T. Glutathione, photosynthesis and the redox regulation of stress-responsive gene expression. **Photosynthesis research**, v. 86, n. 3, p.459-474, 2005.

NASCIMENTO, W. M.; DIAS D. C. F. D. S.; SILVA P. P. D. Qualidade fisiológica da semente e estabelecimento de plantas de hortaliças no campo. XI Curso sobre Tecnologia de Produção de

Sementes de Hortaliças. **Embrapa Hortaliças.**
Acesso em: 21/06/2023

NEJADALIMORADI, H., NASIBI, F., KALANTARI, K, M., ZANGANEH, R., 2014. Effect of seed priming with L-arginine and sodium nitroprusside on some physiological parameters and antioxidant enzymes of sunflower plants exposed to salt stress. **Agric. Commun.** 2, 23–30.

NEVES, M.F; PINTO, M.J.A. (Org.) A cadeia do algodão brasileiro. Brasília: **ABRAPA**, 2016/2017

OLIVEIRA, T. F., SANTOS, H. O., DOS, RIBEIRO, J. B., PEREIRA, W. V. S., PEREIRA, A. A. S., DA CUNHA NETO, A. R., 2022. Priming *Urochloa ruziziensis* (R.Germ. & Evrard) seeds with signalling molecules improves germination. **J. Seed Sci.** 44, e202244044 <https://doi.org/10.1590/2317-1545v44262484>.

PANDEY, P., KUMAR VERMA, M., DE, N., 2018. Chitosan in agricultural context-a review. **Bull. Environ. Pharmacol. Life Sci.** 7, 87–96.

PEREIRA, M.D.; DIAS, D.C.F.S.; DIAS, L.A.S.; ARAÚJO, E.F. Primed carrot seeds performance under water and temperature stress. **Scientia Agricola**, v.66, n.2, p.174-179, 2009.

PEREIRA, T.M., DOS SANTOS, H.O., DA CUNHA NETO, A.R., PELISSARI, F., PEREIRA, W.V., DE MELO, L.A., 2020. Does nitric oxide protect *Eucalyptus urophylla* seeds under salt stress conditions?. **J. Seed Sci.** 42, 1–10. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v42236272>

PIRES, R. M. DE O. et al. Action of nitric oxide in sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) submitted to stress by cadmium. **Journal of Seed Science**, v. 38, n. 1, p. 22–29, 4 abr. 2016.

PONGPRAYOON, W., ROYTRAKUL, S., PICHAYANGKURA, R., CHADCHAWAN, S., 2013. The role of hydrogen peroxide in chitosan-induced resistance to osmotic stress in rice (*Oryza sativa* L.). **Plant Growth Regul.** 70, 159–173. <https://doi.org/10.1007/s10725-013-9789-4>.

RADMAN R, SAEZ T, BUCKE C, KESHAVARZ T. Elicitation of plants and microbial cell systems. **Biotechnology and Applied Biochemistry**, v. 37, p. 91-102, 2003.

RAMÍREZ, M. Á, RODRÍGUEZ, A. T., ALFONSO, L., & PENICHE, C. (2010). Quitina e seus derivados como biopolímeros com potenciais aplicações agrícolas. **Biotecnología Aplicada**, 27 (4), 270-276. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S102728522010000400002&lng=es&tlng=en.

R CORE TEAM, 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT, v. 11, n. 10, e 298111031730, 2022.

REVISTA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS. ISSN (on line): 1981-0997; (impresso): 1981-1160 v.5, n.3, p.358-363, jul.-set., 2010.

REVISTA CULTIVAR. O que você precisa saber sobre qualidade de sementes. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/o-que-voce-precisa-saber-sobre-qualidade-de-sementes>> Acesso em: 19 de jun. 2023.

ROSOLEM, C. A. Produtividade máxima da soja. Rondonópolis: **Fundação MT**, 2007. p.237-244. (Boletim de Pesquisa de Soja).

SADAK, M.S., 2022. Nitric oxide and hydrogen peroxide as signalling molecules for better growth and yield of wheat plant exposed to water deficiency. **Egypt. J. Chem.** 65, 209–223. <https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2022.117465.5297>.

SANTOS CMR; MENEZES NL. 2000. Tratamentos pré-germinativos em sementes de alface. **Revista Brasileira de Sementes** 22: 253-258.

SILVA, A. L. D. et al. Effect of sodium nitroprusside (SNP) on the germination of *Senna macranthera* seeds (DC. ex Collad.) HS Irwin & Baneby under salt stress. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 37, n. 4, p. 236-243, 2015.

SILVA, J. C. *et al.* Desempenho de sementes de algodão após o processamento e armazenamento. **Rev. bras. sementes, Pelotas**, v. 28, n. 1, p. 79-85, Apr. 2006.

SILVA, R. C. et al. Desenvolvimento Inicial de *Euterpe oleracea Mart* (Açaí) Sob Estresse Hídrico, Gurupi-TO. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 4, 2020.

SILVA, I.P.F.; JUNIOR, J.F.S.; ARALDI, R.; TANAKA, A.A.; GIROTTO, M.; BOSQUE, G.G.; LIMA, F.C.C. Estudo das fases fenológicas do algodão (*Gossypium hirsutum* L.) **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 10, n. 20, p. 1-10, 2011.

SOUSA, J. V. R. Algodoeiro fertirrigado por gotejamento sob doses de nitrogênio, lâminas de água e espaçamentos de plantio. 2015. 79p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT, Rondonópolis. 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3. ed. Porto Alegre: **Artmed**, 2004. 719 p.

TAIZ, L. et al. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. **Artmed Editora**, 2017.

UCHIDA, A., JAGENDORF, A.T., HIBINO, T., TAKABE, TERUHIRO, TAKABE, TETSUKO, 2002. Effects of hydrogen peroxide and nitric oxide on both salt and heat stress tolerance in rice. **Plant Sci.** 163, 515–523. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00159-0](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00159-0).

Universidade Federal da Paraíba - Informativo
<https://www.abcm.org.br/anais/conem/2010/PDF/CON10-0450.pdf>.

USDA. Agricultural Projections to 2027. United States Department of Agriculture, feb.2018. Disponível em: <https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/87459/occe-2018-1.pdf?v=43146>> Acesso em: 21/06/2023

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Production, Supply and Distribution (PSD) on line. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads>. Acesso em: 07 abr. 2021.

VIEIRA, N.G., CARNEIRO, F.A., SUJII, P.S., ALEKCEVETCH, J.C., FREIRE, L.P., VINECKY, F., ELBELT, S., SILVA, V.A., DAMATTA, F.M., FERRÃO, M.A.G., MARRACCINI, P., ANDRADE, A.C., 2013. Different Molecular Mechanisms Account for Drought Tolerance in *Coffea Canephora var. Conilon*. **Trop. Plant Biol.**

WELLS, R.; STEWART, A.M. Morphological alterations in response to management and environment. In: STEWART, J.M. et al. (eds.). Physiology of Cotton. **Dordrecht: Springer**, p. 24-32, 2010.

YANG, W., Fu, J., WANG, T., HE, N., 2009. Chitosan/sodium tripolyphosphate nanoparticles: preparation, characterization and application as drug carrier. **J. Biomed. Nanotechnol.** 5, 591–595. <https://doi.org/10.1166/jbn.2009.1067>.

ZHOU YG, YANG YD, QI YG, ZHANG ZM, WANG XJ, HU XJ. Effects of chitosan on some physiological activity in germinating seed of peanut. **Journal of Peanut Science** v. 31, p. 22-25, 2002.