

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
UBERLÂNDIA INSTITUTO DE CIÊNCIAS
AGRÁRIAS PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

AUMENTO DA TEMPERATURA DO AR NOTURNA E DO DÉFICIT HÍDRICO
EM GENÓTIPOS DE ALGODOEIRO

Marina Alves Clemente

2019

MARINA ALVES CLEMENTE

**AUMENTO DA TEMPERATURA DO AR NOTURNA E DO DÉFICIT
HÍDRICO EM GENÓTIPOS DE ALGODOEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Doutorado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Doutor”.

Orientador

Prof. Dr. Cláudio Ricardo da Silva

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS-BRASIL

2019

MARINA ALVES CLEMENTE

**AUMENTO DA TEMPERATURA DO AR NOTURNA E DO DÉFICIT
HÍDRICO EM GENÓTIPOS DE ALGODOEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Doutorado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Doutor”.

Aprovada em 29 de Março de 2019.

Prof. Dr. Sérgio Macedo Silva

Prof^a. Dra. Maria Cristina Sanches

Dra. Natália Ludmila Lins Lima Montelli

Dr. Valdiney José da Silva



Prof. Dr. Cláudio Ricardo da Silva

ICIAG-UFU

(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS-BRASIL

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
(CIP) Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

C626d
2019 Clemente, Marina Alves, 1989
 Aumento da temperatura do ar noturna e do déficit hídrico em
 genótipos de algodoeiro [recurso eletrônico] / Marina Alves Clemente. -
 2019.

 Orientador: Cláudio Ricardo da Silva.
 Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa
 de Pós-Graduação em Agronomia.

 Modo de acesso: Internet.

 Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2019.1249>

 Inclui bibliografia.

 Inclui ilustrações.

 1. Agronomia. 2. Algodão. 3. Mudanças climáticas. 4. Aquecimento
 global. I. Silva, Cláudio Ricardo da, 1972, (Orient.) II. Universidade
 Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III.
 Título.

CDU: 631

Angela Aparecida Vicentini Tzi Tziboy – CRB-6/947

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Ciências Agrárias e Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de realizar o doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa.

Ao meu orientador Cláudio Ricardo da Silva pela confiança, ensinamentos e exemplo.

Aos membros da banca Natália Ludmila Lins Lima Montelli, Maria Cristina Sanches, Sérgio Macedo Silva e Valdiney José da Silva pela disponibilidade de participarem da defesa.

Ao Guilherme, César, Victore ao Valdiney pela amizade e auxílio na condução do experimento.

Ao meu pai, Carlos Henrique Clemente, e ao meu irmão, Rodrigo Alves Clemente, pelo incentivo, apoio e paciência nesta jornada, e à minha mãe “In Memoriam”, Angela Maria Alves Clemente, pelo amor dedicado durante toda a minha vida.

Às minhas amigas Natália e Luciana, pela força, apoio e amizade.

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Mudanças climáticas	5
2.2 Temperatura do ar.....	6
2.3 Características econômicas e biológicas do algodoeiro brasileiro	10
2.4 Influência da temperatura do ar na cultura do algodoeiro	182
2.5 Influência do déficit hídrico no algodoeiro	5
REFERÊNCIAS	222
CAPÍTULO I.....	299
1. INTRODUÇÃO	311
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	322
2.1 Área de estudo	322
2.2 Dados meteorológicos	333
2.3 Estatística.....	33
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
CONCLUSÃO.....	3939
REFERÊNCIAS	400
CAPÍTULO II.....	422
1. INTRODUÇÃO.....	444
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	466
2.1 Local e instalação do experimento	466
2.2 Tratamentos	4848
2.3 Avaliações	51
2.4 Estatística.....	52
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
3.1 Respiração foliar.....	53
3.2 Potencial hídrico do xilema	54
3.3 Número de botões florais e flores.....	56
CONCLUSÃO.....	60
REFERÊNCIAS	61

RESUMO

CLEMENTE, MARINA ALVES. **Aumento da temperatura do ar noturna e do déficit hídrico em genótipos de algodoeiro. 2019. 70p.** Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

O aquecimento global tem provocado um aumento das temperaturas noturnas do ar e variações nas precipitações pluviais que podem interferir no desenvolvimento das culturas agrícolas. Objetivou-se no Capítulo I avaliar a temperatura do ar na cidade e na fazenda, em Uberlândia-MG. No Capítulo II, avaliar a influência do aumento da temperatura do ar noturna e do déficit hídrico na fisiologia do algodoeiro durante a fase reprodutiva em diferentes genótipos. Para o primeiro estudo, foram coletados dados de variáveis climáticas da Estação INMET Uberlândia e da Estação Meteorológica Capim Branco - UFU. Os dados de temperatura referentes aos anos de 2011, 2012, 2013, 2014 e 2017 foram submetidos à análise de variância pelo teste de Tukey a 0,05 de significância e à análise de regressão linear. O segundo estudo foi desenvolvido em casa de vegetação, na mesma fazenda experimental, de Setembro a Dezembro de 2017. Para a elevação da temperatura do ar noturna, utilizou-se manta térmica entre os vasos, com aumento da temperatura de 20h às 00h, durante duas semanas. A imposição do déficit hídrico foi a partir do florescimento e permaneceu por duas semanas, no mesmo momento do aumento da temperatura do ar. O experimento denotou-se de um delineamento em blocos casualizados, com três fatores - duas temperaturas (Ambiente e Ambiente acrescida de 1,5°C), dois níveis de irrigação (sem e com déficit hídrico) e cinco genótipos de algodão (UFUJP-E; UFUJP-M; UFUJP-Z; UFUJP-H e FM-966), com quatro blocos. A análise estatística foi realizada por meio de análise conjunta. As avaliações consistiram na medição do potencial hídrico do xilema (MPa), taxa de respiração celular ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e contagem de botões florais e flores. No primeiro estudo não foi observado aumento da temperatura diurna na fazenda. Ao contrário, houve aumento de 0,43°C na cidade. A temperatura noturna aumentou na fazenda em 0,08°C a cada ano, e na cidade não foi alterada. As médias de todas as temperaturas foram maiores na cidade quando comparadas com a fazenda. No segundo estudo, os genótipos de algodão não tiveram influência do aumento da temperatura noturna do ar e do déficit hídrico na taxa de respiração foliar. Em relação ao potencial hídrico do xilema, o genótipo UFUJP-E não sofreu influência do aumento de temperatura noturna nem do déficit hídrico. O genótipo UFUJP-H apresentou potencial hídrico mais negativo no tratamento com aumento da temperatura noturna do ar e sem déficit e o UFUJP-Z mostrou-se com potencial hídrico mais negativo sob temperatura normal e déficit hídrico. O déficit hídrico interferiu no pegamento de botões florais e flores para o genótipo UFUJP-H, com diferente comportamento para o genótipo UFUJP-Z, o que pode demonstrar que esse genótipo é mais tolerante quando submetido ao estresse hídrico.

Palavras-chave: adaptação, *Gossypium hirsutum*, mudanças climáticas, seca.

ABSTRACT

CLEMENTE, MARINA ALVES. **Impact of the increase of the nocturnal air temperature and of the water deficit in cotton genotypes. 2019. 70p. Thesis** (Doctorate in Agronomy/Phytotechnology) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

Global warming has led to an increase in nocturnal air temperatures and variations in rainfall that can interfere with the development of agricultural crops. However, many criticisms are made regarding the causes of this warming, if they are due to anthropogenic actions or natural variations. The aim of Chapter I was to evaluate the tendency of air temperature increase in the city and the farm, both in Uberlândia-MG. And in Chapter II, to evaluate the influence of the increase of the nocturnal air temperature and the water deficit in the physiology of the cotton during the reproductive phase of different genotypes. For the first study, data were collected on climatic variables of the INMET Uberlândia Station and the Capim Branco Meteorological Station - UFU. The temperature data analyzed were for the years 2011, 2012, 2013, 2014, and 2017, and were submitted to analysis of variance by the Tukey test at 0.05 significance and linear regression analysis. The second study was carried out in a greenhouse, in the same experimental farm, from September to December 2017. In order to increase the temperature of the night air, a thermal blanket was used between the vessels, increasing the temperature from 8 p.m. to 12 a.m., for two weeks. The placing of the water deficit began with the flowering and remained for two weeks, at the same time as the air temperature was increased. The experiment was a randomized block design with three factors: two temperatures, two irrigation levels and five cotton genotypes (UFUJP-E, UFUJP-M, UFUJP-Z, UFUJP-H, and FM-966) with four blocks. Statistical analysis was performed by means of joint evaluation. The analysis consisted of measuring the water potential of the xylem (MPa), cellular respiration rate ($\text{CO}_2 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) and counting flower buds and flowers. In the first study, no significant tendency was observed for the diurnal temperature at the farm. On the contrary, there was an increase of 0.43°C in the city. There was an increase of 0.07°C in each year in the daily average of the farm, different from the one observed in the city ($P > 0.05$). The nocturnal temperature tended to increase in the farm, 0.08°C each year, and in the city, it was not significant. The averages of all temperatures were higher in the city when compared to the farm. In the second study, the cotton genotypes were not influenced by the increase in the nocturnal air temperature and the water deficit in the foliar respiration rate. In relation to the water potential of the xylem, the UFUJP-E genotype was not influenced by the increase in night temperature or water deficit. The UFUJP-H genotype presented more negative water potential in the treatment with an increase in the nocturnal air temperature and no deficit, and the UFUJP-Z one showed the most negative water potential under normal temperature and water deficit. The water deficit interfered in the picking of flower buds and flowers for the UFUJP-H genotype, with different behavior for the UFUJP-Z genotype, which may demonstrate that this genotype is more tolerant when subjected to hydrous stress.

Keywords: adaptation, cotton, *Gossypium hirsutum*, climatic changes, drought.

1. INTRODUÇÃO GERAL

De todas as atividades econômicas, a agricultura é, naturalmente, a mais dependente do clima e, conseqüentemente, a mais sensível a sua mudança (Pereira et al., 2007). Pinto (2008) concluiu que o aquecimento global pode arriscar a produção de algodão no Brasil, se medidas mitigadoras ou ajustes não forem feitos. E, com a continuação das emissões de gases de efeito estufa, o aquecimento global pode-se tornar catastrófico e irreversível, onde se estima um aumento de temperatura do ar em cerca de 5°C (COP 21, 2015). O aumento das temperaturas globais e aparecimentos frequentes de extremos de temperatura será o maior desafio da agricultura neste século (Ainsworth & Ort, 2010).

No Brasil, as mudanças climáticas podem provocar impactos no regime de chuvas e de temperatura do ar, alterando os balanços hídricos e de energia em diversas regiões do país e as previsões para o futuro indicam que essas mudanças vão tornar a oferta de água cada vez menos previsível e confiável (Marengo, 2008).

A temperatura é um sinal ambiental chave que regula o crescimento e desenvolvimento das plantas. Pequenas mudanças na temperatura ambiente podem afetar uma ampla gama de processos no ciclo de vida da planta, desde a germinação de sementes, arquitetura, floração e desenvolvimento reprodutivo (Franklin & Wigge, 2014). De acordo com *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2018), modelos climáticos indicam que, além da elevação da temperatura do ar, provavelmente ocorrerá aumento dos déficits hídricos em diversas regiões.

Estudos mostram os efeitos negativos da elevação da temperatura noturna na produção do algodão: aumento significativo da taxa de respiração (Loka & Oosterhuis, 2010); redução do número de sementes por capulho e número de fibras por semente (Soliz et al., 2008); redução da biomassa e do comprimento das fibras (Lokhande & Reddy, 2014); além da esterilidade do pólen (Silvertooth, 1990).

Segundo Brown & Oosterhuis (2010), em estudo realizado em Arkansas, EUA, avaliando três diferentes temperaturas do ar, sobre duas cultivares modernas e duas antigas (desenvolvidas a mais de 30 anos), concluíram que as cultivares modernas tem uma melhoria das funções fisiológicas sob temperaturas ambientais ideais, porém são mais sensíveis quando submetidas a temperaturas elevadas.

O estresse por deficiência hídrica no algodoeiro também pode levar à diminuição do número de estruturas reprodutivas, da altura das plantas, do número de capulhos por plantas, rendimento de fibra e, conseqüentemente, na produtividade (Batista et al., 2010). Krieg (1997) relatou que o florescimento é o período de desenvolvimento mais crítico em termos de abastecimento de água, afetando o crescimento de algodão e, posteriormente, o rendimento e seus componentes.

Porém, muitas críticas são feitas em relação às causas do aquecimento global, se são devido às ações antropogênicas ou variações naturais. De acordo com Back (2001), as mudanças observadas no climaglobal não são ainda suficientemente grandes para serem atribuídas inequivocamente a causas antropogênicas. Karl et al. (1996), em estudo sobre dados climáticos dos Estados Unidos, concluíram que, apesar da temperatura ter apresentado incremento considerável, as alterações não são grandes, nem temporalmente consistentes para se rejeitar a hipótese de que as mudanças tenham ocorrido por variações aleatórias naturais.

A urbanização altera o balanço de radiação da superfície urbana provocando mudanças nos processos de absorção, transmissão e reflexão e, assim, as condições climáticas adquirem características locais próprias devido ao uso do solo (Vilanova & Maitelli, 2009). Portanto, tornam-se necessários estudos que isolem o efeito da urbanização a fim de comparar essa hipótese.

Objetivou-se com este estudo, primeiramente, avaliar a temperatura do ar no centro e na área suburbana da cidade de Uberlândia, Minas Gerais. Posteriormente, avaliar a influência do aumento da temperatura do ar noturna e do déficit hídrico na fisiologia do algodoeiro durante a fase reprodutiva de diferentes genótipos, a fim de determinar qual possui melhor adaptação nessas condições.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Mudanças climáticas

Mudanças climáticas podem ser observadas e sentidas com o passar dos anos. Segundo Silva et al. (2012), a ação antrópica, a qual se caracteriza pela emissão de gases na atmosfera devido ao uso de recursos naturais pelo homem, foi intensificada após a Revolução Industrial. Como consequência, há uma retenção maior de radiação, que resulta no aumento do efeito estufa, que eleva a temperatura média da superfície do planeta, a qual também provoca alterações nos padrões de distribuição e intensidade de ventos, chuvas e circulação dos oceanos.

O efeito estufa decorre do aumento da concentração de alguns gases na atmosfera terrestre, dentre eles se destacam o gás carbônico (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Esses compostos são conhecidos como gases de efeito estufa (GEE), pois permitem a passagem da luz solar e retêm o calor (IPCC, 2013).

De acordo com Liang et al. (2012), os impactos do aquecimento global sobre as variações climáticas regionais resultam na modificação da capacidade de produzir alimentos, fibras, rações e combustíveis.

Entre os estresses ambientais, a seca e a temperatura são os dois mais importantes que afetam a produção agrícola no mundo (Saini & Westgate, 2000; Franklin & Wigge, 2014).

O aumento da temperatura entre os períodos de 1850-1899 a 2001-2005 foi de 0,76°C (0,57 a 0,95), e onze dos doze últimos anos (1995–2006) estão entre os mais quentes desde que as temperaturas começaram a ser registradas (1850) (IPCC, 2013).

Refletindo a tendência de aquecimento a longo prazo desde os tempos pré-industriais, observou-se aumento da temperatura média global da superfície para a década de 2006 a 2015 de 0,87°C comparada com a média do período de 1850 a 1900. Estima-se ainda que o aquecimento antropogênico esteja aumentando aproximadamente 0,2°C por década devido a emissões passadas e contínuas (IPCC, 2018).

Não só o aumento da temperatura global de 0,8-1,0 °C até 2050, e maior até 2100, mas a variabilidade da temperatura vai aumentar com maior severidade durante os picos de crescimento e colheita das culturas, antes jamais visto (Franklin & Wigge, 2014).

Segundo Liang et al. (2012), as condições climáticas interagem com a água disponível no solo e afeta o estado da água nas plantas, a qual, por sua vez, influencia processos nas plantas que respondem a outros fatores ambientais como fotossíntese, fotorrespiração e transpiração, os quais são principais processos diretamente afetados pela alteração do CO₂ atmosférico.

O aumento da temperatura global, que tem sido previsto por vários modelos climáticos, afeta diretamente esses fatores. Hodges et al. (1993), também afirmam que o principal fator ambiental que afeta no desenvolvimento das culturas é a temperatura, porém ela é determinada por outros fatores, como comprimento do dia e presença ou ausência de água.

O aumento da temperatura ameaça o cultivo de várias plantas agrícolas e pode piorar o já grave problema da fome nas partes mais vulneráveis do planeta. A agricultura é uma atividade econômica que depende diretamente dos fatores climáticos (Silva et al., 2012).

A temperatura é um dos principais fatores que afeta a taxa de desenvolvimento da planta. Porém, seus efeitos são intensificados quando se tem déficit hídrico, demonstrando a importância de desenvolver estratégias agronômicas mais eficientes de adaptação aos eventos associados às mudanças climáticas (Hatfiels & Prueger, 2015).

Embora o algodoeiro seja uma planta de clima tropical e adaptada ao crescimento em climas quentes, não necessariamente o excelente crescimento se dá em temperaturas excessivamente elevadas (Brown et al., 2010).

2.2 Temperatura do ar

Uma das grandes preocupações da comunidade científica na última década diz respeito às alterações climáticas e suas consequências para a humanidade (Back, 2001). Conforme o 4º Relatório divulgado pelo IPCC (2007), a média do efeito global das atividades humanas desde 1750 têm sido de aquecimento. Além disso, foi constatado que a população e a industrialização no mundo aumentaram consideravelmente e, por consequência, os níveis de CO₂ na atmosfera vêm crescendo e influenciando na manutenção do efeito estufa.

Constatou-se também nesse relatório a tese de que as emissões naturais possivelmente não são a causa do aquecimento global e que a grande difusão observada do aquecimento da atmosfera e oceanos, juntamente com a perda de massa de gelo,

apoiam a conclusão de que é extremamente pouco provável que a mudança climática global nos últimos 50 anos possa ser explicada sem forças externas e muito provável que não seja devido apenas a causas naturais conhecidas.

Por outro lado, diferente dessas observações, pesquisadores como Lomborg(2002),Leroux (2007), Molion (2008), Maruyama (2009), Baptista (2009), afirmam que o aquecimento global não pode ser atribuído à ação antropogênica. Segundo esses autores, a grande quantidade de dióxido de carbono enviada à atmosfera pelas florestas em decomposição e pelos oceanos também contribui em muito nas mudanças climáticas.

Molion (2008) também critica a visão do IPCC e considera que o clima do planeta varia de maneira natural ao longo de sua existência, forçado por agentes externos como oscilações das atividades solar e vulcânica, e dos parâmetros orbitais terrestres; e internos como variação da temperatura de superfície dos oceanos e cobertura de nuvens. Além disso, afirma que o clima não se mostra estável e que nunca permaneceu em equilíbrio.

De acordo com Minuzzi (2010), o clima não é constante e nem sempre foi como hoje o conhecemos; provas desta afirmativa são os registros de mudanças climáticas globais e, em particular, os regionais, que mostram periodicidades de anos a séculos, durante os quais o clima foi sistematicamente variável. Ainda segundo esses autores, na escala regional, mudanças climáticas são muito divergentes e nem sempre acompanham a tendência global, principalmente em referência à temperatura.

Para Pereira et al. (2007), devido ao fato da Terra estar num período interglacial, com aumento natural da temperatura, é difícil separar quanto do aquecimento é devido à variabilidade natural e quanto é decorrente do efeito estufa originário de causas antropogênicas ou quanto houve de efeito contrário por atenuação da radiação solar por aerossóis de origem natural ou industrial.

Segundo esses autores, é difícil confirmar se atualmente está começando a ocorrer uma mudança climática para as próximas décadas por vários motivos, dentre eles: dificuldade de se ponderar o efeito da variabilidade natural no processo de aquecimento; problemas devido às modificações de técnicas de medida de temperatura ao longo dos últimos 100 anos, à distribuição inadequada dos pontos de medida e à urbanização intensa; dificuldade de se modelar o clima, sendo a modelagem físico-matemática a forma de estudo disponível para tal previsão e pela impossibilidade de se fazer experimentos controlados na atmosfera.

Karl et al. (1996), em estudo sobre dados climáticos dos Estados Unidos, concluíram que, apesar da temperatura ter apresentado incremento considerável, as alterações não são grandes, nem temporalmente consistentes para se rejeitar a hipótese de que as mudanças tenham ocorrido por variações aleatórias naturais.

De acordo com Back (2001), as mudanças observadas no clima global não são ainda suficientemente grandes para serem atribuídas inequivocadamente a causas antropogênicas de aumento do efeito estufa. Muitas tendências de aquecimento observadas nos registros meteorológicos expressam mais os efeitos urbanos locais do que o aquecimento global da atmosfera.

Schönwiese (1994) resume as alterações dos climas devido à urbanização: aumento dos efeitos da poluição atmosférica, aumento de temperatura no centro da cidade em relação ao ambiente, menor umidade relativa, mais chuvas anuais, menor velocidade do vento, maior quantidade de gases e partículas poluentes.

Segundo Gonçalves (1995), a urbanização denota-se processo mundial e irreversível, o qual acarreta uma produção espacial cada vez mais extensa e articulada na perspectiva dos espaços construídos em detrimento dos espaços naturais. De acordo com Vilanova & Maitelli (2009), essa transformação altera o balanço de radiação da superfície urbana provocando mudanças nos processos de absorção, transmissão e reflexão e, assim, as condições climáticas adquirem características locais próprias devido ao uso do solo.

A expansão das áreas urbanas tem modificado de maneira significativa a paisagem natural. A substituição da vegetação por construções e a impermeabilização generalizada da terra, associada às atividades humanas, proporcionam o aumento da temperatura nas cidades (Amorim & Dubreuil, 2017).

O desenvolvimento urbano geralmente dá origem a uma mudança drástica da superfície da Terra, devido à remoção da vegetação natural e sua substituição por superfícies como metal, asfalto e concreto. Essa alteração, inevitavelmente, resulta na redistribuição da energia da radiação solar e induz o contraste urbano-rural em relação à temperatura do ar (Weng, 2003).

Na cidade, a ação do homem se faz com intensidade máxima e o ritmo e a magnitude de produção e armazenamento de calor são profundamente alterados e diferenciados daqueles na zona rural (Neves et al., 2017). As características urbanas alteram a energia da superfície natural e balanços de radiação, tornando as cidades lugares relativamente quentes (Oke 1982; Lowry & Lowry 2001).

De acordo com Vilanova & Maitelli (2009), a estocagem de energia é aumentada devido aos componentes do tecido urbano, o que contribui para manter o ar aquecido por mais tempo, enquanto que a remoção da vegetação e a redução de superfícies líquidas diminuem as taxas de evapotranspiração.

Em estudo avaliando maior aumento da temperatura mínima, Óbregon & Marengo (2007) utilizaram dados diários de temperatura do ar das estações de Curitiba e Paranaguá do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e encontraram elevação significativa no período de 1961 a 2000 em ambas as localidades. Marengo et al. (2010) também observaram aumento expressivo das noites quentes nos últimos anos, principalmente sobre o sudeste da América do Sul.

Segundo Marengo (2006), uma tendência de aquecimento em todo o mundo, especialmente nas temperaturas mínimas, em grandes cidades do Brasil como São Paulo e Rio de Janeiro, pode ser agravada pela urbanização. Conforme Chung & Yoon (2000) em estudo realizado na Coreia, entre 1974 a 1997 a temperatura média anual nos grandes centros urbanos aumentou em torno de 1,50 °C, enquanto nas estações marinhas e localizadas na zona rural os aumentos foram em torno de 0,58 °C.

Em áreas urbanas cercadas por vegetação, contrastes aparecem porque a radiação solar no meio rural é consumida principalmente pela evaporação da água, enquanto que, nas cidades, a energia é empregada principalmente para estruturas de calor, que, por sua vez, é liberada para atmosfera à noite (Tejeda-Martínez & Jáuregui, 2004).

Silva et al. (2015) também encontraram indicadores relacionados à temperatura mínima com um sinal de tendência de elevação mais significativo do que os indicadores associados à temperatura máxima, em estudo de análise das tendências de extremos climáticos baseado em indicadores calculados a partir de séries de dados observacionais diários de temperatura e de precipitação durante 35 anos em 20 estações meteorológicas do IAPAR, no Estado do Paraná.

Em relação à cidade de Uberlândia-MG, Petrucci (2018), analisou o comportamento das variáveis climáticas de temperatura, precipitação e umidade relativa de uma série histórica de 1981 a 2015, e concluiu que a temperatura máxima, teve uma elevação dos valores absolutos anuais, sendo que, nos primeiros anos de análise, as máximas absolutas não chegavam à marca de 36°C, evoluindo para 37°C nos fins dos anos 1990 até o final dos anos 2000 e, atingiu valores superiores a 38°C nos últimos

anos de análise (ano 2010), sendo verificado no ano de 2015 o recorde de máxima absoluta, com 39,2°C, ocorrido em outubro.

Para as temperaturas mínimas, houve uma elevada variação interanual até o início dos anos 2000. O recorde de mínimo absoluto ocorreu em julho de 1981, quando foi registrado exato 1°C. A partir de 2002, foi verificada forte tendência de aumento nos valores de temperatura mínima, sendo que, a partir desse ano, não foi registrado nenhum mínimo absoluto abaixo dos 7°C, com destaque para os anos de 2014 e 2015 que, respectivamente, registraram 10,2°C e 12,8°C de temperatura mínima, valores esses, muito acima da média do período analisado, que é de 7,3°C.

As alterações climáticas, em especial o aquecimento global, têm sido motivo de grandes preocupações da comunidade científica, embora vários estudos comprovem que muitas tendências de aquecimento observadas nos registros meteorológicos expressam mais os efeitos urbanos locais que o aquecimento global da atmosfera (Back, 2001). Desta forma, de acordo com Silva et al., 2008, torna-se importante detectar se o aumento nos registros reflete um aquecimento significativo ou uma variação aleatória natural.

Um dos problemas relacionados com a ilha de calor é a sua possível contribuição para o recente aumento de temperaturas a nível global (Pereira & Morais, 2007). Porém, de acordo com Parker (2004) a questão ainda não é consensual e mostraram que a temperatura noturna subiu tanto em noites calmas quanto em noites de vento, indicando que o aquecimento global não é consequência do desenvolvimento urbano.

Assim, é importante avaliar se o aumento da temperatura observado atualmente é devido à ação do homem (ambiente urbano) ou se é um efeito generalizado e também observado no ambiente rural.

2.2. Características econômicas e biológicas do algodoeiro brasileiro

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) mostra-se de grande importância econômica no Brasil devido a sua multiplicidade. É a fibra têxtil natural mais utilizada pelo homem e se caracteriza por ser uma celulose na sua forma quase pura (Silva et al., 2012). É uma importante *commodity*, sendo, também, combustível para diversas indústrias e com potencial uso para biocombustível (Thorp et al., 2014).

Além disso, possui semente rica em óleo e bagaço que pode ser aproveitado na alimentação animal. Depois da soja, o algodão é a segunda oleaginosa mais importante no mundo e é considerado um produto agrícola utilizado na fabricação de mais de 1000 grandes produtos (Gul et al., 2014).

É imprescindível destacar que a importância do algodão não se resume unicamente nas suas diversas formas de utilização, mas também na geração de divisas. O Brasil teve uma área plantada, na safra 2017/18, de 1,1 milhões de hectares, com produtividade média de caroço de 4142 kg.ha⁻¹ e de pluma na ordem de 1677 kg.ha⁻¹ (ABRAPA, 2018). No Brasil, o algodão é produzido principalmente nos Estados de Mato Grosso, Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Maranhão (CONAB, 2015).

Segundo Alves (2006), até a primeira metade da década de 1990, a produção nacional de algodão ocorria majoritariamente nas Regiões Sul e Sudeste do país, as quais se caracterizavam com cultivo tradicional e uso intensivo de mão-de-obra. Com a reestruturação do sistema produtivo, sua abrangência se estendeu principalmente para a região Centro-Oeste do país, mas avançando para algumas outras regiões, como a Sudeste (Minas Gerais) e Nordeste (Bahia).

Esse avanço também foi em função do desenvolvimento de novas cultivares, sendo que a cotonicultura de alta tecnologia pôde se difundir nas diferentes regiões dos estados de Mato Grosso, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Piauí, Tocantins e Maranhão. Nas regiões de cerrado, o cultivo do algodão passou a ser realizado por grandes produtores de grãos, altamente tecnificados (Silva et al., 2012).

O avanço para a região Centro-Oeste foi devido às condições favoráveis para o desenvolvimento da cultura e, principalmente, a grandes investimentos em pesquisa, no melhoramento genético, a fim de obter variedades adaptadas, com arquitetura de planta adequada à colheita mecanizada, resistentes a pragas e doenças, com alta adaptação às condições edafoclimáticas do cerrado, alta produtividade tanto em sementes quanto em fibra, aliadas às modernas técnicas de cultivo (Silva et al., 2012).

O algodão é uma planta lenhosa, anual, com crescimento indeterminado e fotossíntese do tipo C₃, (Beltrão, 2005). É cultivada em climas quentes e em alguns climas temperados, suas sementes possuem alto teor de proteína e óleo (Steduto et al., 2012).

Para obter sucesso de produção, a interação genótipo e fatores ambientais favoráveis mostram-se imprescindíveis. Ainda segundo esses autores, a umidade

suficiente, dias ensolarados e temperatura crescente são favoráveis para o período de florescimento e maturação (Silva et al., 2011).

De acordo com Steduto et al. (2014), o cultivo bem-sucedido do algodoeiro requer um longo período sem geadas, muita luz solar, temperaturas amenas e chuvas moderadas ou irrigação, normalmente 600 a 1200 mm. Por causa da tolerância à salinidade e à seca, o algodão se encaixa bem em regiões áridas e semiáridas. Embora a produção de sequeiro mostra-se perfeitamente possível, os ótimos rendimentos são obtidos com irrigação. A exigência em água pela cultura é de aproximadamente 4 a 8 mm por dia, de acordo com o desenvolvimento da área foliar (Silva et al., 2011).

O crescimento do algodão, a produção, a composição e a qualidade são influenciados por vários fatores, como o genótipo, o ambiente e práticas agronômicas (Ullah et al., 2015). Segundo Silva et al. (2011), os principais fatores abióticos responsáveis por causar danos à cultura são a deficiência hídrica, falta de luminosidade e altas temperaturas. Sendo que o desempenho reprodutivo do algodoeiro é determinado principalmente pela produção de frutos, fixação e peso dos capulhos (Lokhande & Reddy, 2014).

A cultura do algodão é sensível às variações das condições ambientais, como disponibilidade de água, temperatura e radiação solar, sendo que cada fase de seu desenvolvimento apresenta uma determinada exigência climática e, condições adversas em qualquer momento podem levar a estresses, alterando o metabolismo.

Segundo Rosolem et al. (2014), a grande diferença no sistema de cultivo do algodão no Brasil, quando comparado com outros países, é o ciclo de produção mais longo. Por exemplo, nos EUA, devido às estações climáticas serem bem definidas, o período de florescimento e frutificação é todo concentrado em um único mês (julho, no Delta do Mississipi), enquanto que, no Brasil, esse período varia entre 40 e 70 dias. Esse fator permite ao algodão plantado no Brasil, uma janela maior de oportunidade de compensação e recuperação de qualquer fator de estresse ambiental que possa ter ocorrido durante a fase de floração.

2.3 Influência da temperatura do ar na cultura do algodoeiro

A temperatura do ar exerce influência sobre vários aspectos da produtividade vegetal, estando relacionada com o crescimento e desenvolvimento das plantas. Devido

ao seu efeito na velocidade das reações químicas e dos processos internos de transporte, essas funções ocorrem de forma adequada somente entre certos limites térmicos (Pereira et al., 2007). Ainda segundo esses autores, a tolerância aos níveis de temperatura é variável entre espécies e variedades. Plantas de clima tropical são sensíveis à baixa temperatura, enquanto plantas de clima temperado necessitam, no período de repouso, de temperaturas baixas para produzirem bem.

A temperatura também afeta uma série de outros processos nas plantas, como a respiração de manutenção, a transpiração, o repouso vegetativo, a duração das fases fenológicas das culturas, a indução ao florescimento, o conteúdo de óleo em grãos, a taxa de germinação de sementes, dentre outros (Pereira et al., 2002; Mavi & Tupper, 2004).

O impacto do aumento da temperatura difere entre as culturas e também entre os genótipos dentro das espécies. O efeito da elevação da temperatura nos processos fisiológicos e no rendimento da cultura depende da intensidade, da taxa de crescimento, e da duração da exposição da planta à alta temperatura (Franklin & Wigge, 2014). Segundo Yeates (2014), o período até o primeiro botão floral, a primeira flor, o desenvolvimento de maçãs individuais e a taxa de produção de nós até o florescimento são determinados pela temperatura.

Segundo Franklin & Wigge (2014), existem muitos estudos sobre as épocas de floração das espécies de plantas selvagens no Reino Unido ao longo de várias décadas, nos quais mostram que estes eventos fenológicos estão significativamente relacionados à temperatura ambiente. Dessa forma, eles esperam uma menor quantidade de dias, 5 a 25, para as espécies florescerem de acordo com os modelos de mudança climática, que preveem um aumento da temperatura média de 2,5 °C.

Silva et al. (2011) afirmam que sob temperaturas acima de 30°C observa-se decréscimo na eficiência fotossintética das plantas e aumento na taxa de respiração, com consequente diminuição da fotossíntese líquida; e temperaturas altas tendem a desbalancear o equilíbrio entre crescimento reprodutivo e vegetativo da planta, em favor do desenvolvimento vegetativo.

A fotossíntese e a respiração são inibidas sob altas temperaturas, mas com o aumento da temperatura, as taxas fotossintéticas caem antes das taxas respiratórias, sendo que a fotossíntese não consegue repor o carbono usado como substrato para respiração, reduzindo reserva de carboidrato com consequente queda de produtividade,

essas consequências são consideradas as principais razões do efeito deletério de altas temperaturas (Taiz & Zaiger, 2006).

Os efeitos de temperaturas elevadas no processo de fotossíntese será um dos determinantes mais importantes do impacto do aquecimento global sobre o rendimento das culturas, as reações catalisadas pela ribulose-1,5-bifosfato carboxilase oxigenase (Rubisco) são diretamente afetadas pela temperatura, ocorrendo um aumento da solubilidade do oxigênio em relação ao CO₂ com o aumento da temperatura, inibindo a fotossíntese líquida em plantas C3 devido ao aumento da fotorrespiração (Ainsworth & Ort, 2010).

A solubilidade do CO₂ diminui mais rapidamente com o aumento da temperatura em relação ao O₂, resultando numa proporção CO₂/O₂ menor no estroma do cloroplasto. O aumento da oxigenação da ribulose-1,5-bifosfato em condições de calor leva ao aumento da fotorrespiração. Estes efeitos adicionados resultam numa diminuição substancial da fotossíntese líquida (Franklin & Wigge, 2014), com consequente queda de produtividade.

Como todas as espécies de plantas, existe uma faixa de temperatura ideal para o crescimento do algodão, acima e abaixo da qual o crescimento é deprimido (Pettigrew, 2008), que se encontra entre 23,5 e 32 °C (Burke et al., 1988). No entanto, é comum o algodoeiro ser cultivado em regiões com temperaturas abaixo de 15°C (ex. EUA - período de emergência) e acima de 40°C (ex. Índia) (Rosolem et al., 2014).

Altas temperaturas (>35 °C) são comuns em todas as estações de crescimento do algodão em muitas regiões do mundo, o que afeta negativamente o crescimento e desenvolvimento da cultura, limitando o desempenho da planta (Abro et al., 2015).

O estresse por calor no algodoeiro afeta o rendimento, a qualidade da fibra e influencia o crescimento das mudas, raízes, partes vegetativas e também a floração e formação dos frutos (Singh et al., 2007; Silva et al., 2011).

Segundo Brown & Oosterhuis (2010), em estudo realizado em Arkansas, EUA, avaliando três diferentes temperaturas do ar durante o dia (30, 34 e 38°C) e constante à noite (20°C), sobre quatro cultivares (duas modernas e duas antigas – desenvolvidas a mais de 30 anos), observaram que as cultivares modernas apresentaram melhor função fisiológica sob 30 e 34°C, sendo que as cultivares mais antigas foram melhores quando submetidas à 38°C, onde concluíram que as cultivares modernas tem uma melhoria dessas funções sob temperaturas ambientais ideais, porém as cultivares antigas são menos sensíveis a temperaturas extremas.

Liu et al. (2006),inferiram que temperaturas elevadas afetam diversas fases do processo reprodutivo, tais como a formação e germinação do pólen e subsequente fertilização, bem como a longevidade do óvulo, resultando em queda do capulho e redução de rendimento. Tais constatações foram obtidas em experimento realizado na China, onde estudaram 14 cultivares de algodão submetidas a temperaturas variando de 10 à 50°C em intervalo de 5°C.Cada cultivar apresentou diferentes respostas sob cada temperatura, onde os autores classificaram cada uma como tolerante, moderadamente tolerante, moderadamente suscetíveis e suscetíveis a altas temperaturas.

Em Stoneville (EUA), Pettigrew (2008) mostrou que temperaturas em 1°C acima da ambiente, a partir do florescimento até o enchimento do capulho afetou a produtividade e parâmetros de qualidade da fibra, tais como comprimento, força, finura, e micronaire de dois genótipos de algodão.

Temperaturas baixas e altas em geral inibem a taxa de síntese de celulose e, assim, a maturidade da fibra, resultando em má qualidade (Roberts et al., 1992). Silva et al. (2012), para identificar os riscos climáticos associados ao algodão herbáceo no Nordeste do Brasil, avaliaram o aumento da temperatura média do ar entre 1,5 a 5,0 °C; na qual constataram sensibilidade da cultura à variabilidade climática, o que afeta as características fisiológicas da planta quando submetida a altas temperaturas. A razão disto é que as plantas possuem uma faixa ideal para o seu desenvolvimento e que aumento na temperatura acentuará, dentre muitos outros efeitos, o abortamento de flores, que é fator restritivo à manutenção da produtividade do algodoeiro.

Segundo Reddy et al. (1996), o aumento da temperatura acelera a sequência de fases de reprodução, ou seja, o tempo necessário para a primeira flor e primeiro capulho maduro a abrirem é menor, o que foi observado em experimento realizado em Mississipi, EUA, através da imposição de cinco tratamentos com diferentes temperaturas desde o plantio até a maturidade da planta. Farooq et al. (2015) também observaram que os processos reprodutivos antes e durante a floração são significativamente influenciados pelo estresse de alta temperatura que leva ao declínio da frutificação.

Em relação às temperaturas noturnas, essas são muitas vezes mais fáceis de associarem com a produtividade das culturas porque temperaturas elevadas à noite podem ser separadas de períodos de alta radiação solar (Pettigrew, 2008). De acordo com Alward et al. (1999), esse aumento mais rápido da temperatura noturna comparado com a temperatura diurna é devido a menor perda de ondas de calor provocado pelo

aumento da nebulosidade. O aquecimento assimétrico provoca uma redução a longo prazo na diferença de temperatura entre o dia e a noite e tem sido encontrado nos EUA, América do Sul e Austrália (Easterling et al., 1997; Boyles & Raman 2003).

Segundo Franklin & Wigge (2014), modelos climáticos globais preveem que é esperada uma taxa mais rápida do aumento das temperaturas noturnas do que das temperaturas diurnas. Conforme os autores, alta temperatura noturna demonstra um efeito negativo mais pronunciado que as temperaturas diurnas na produção de arroz, com uma redução de 10% no rendimento a cada aumento de 1 °C na temperatura noturna.

Silva et al. (2015), em estudo de tendências climáticas no Estado do Paraná, concluíram que os indicadores relacionados à temperatura mínima exibem um sinal de tendência de elevação mais significativo do que os indicadores associados à temperatura máxima.

Loka & Oosterhuis (2010), em estudos para determinar o efeito de altas temperaturas noturnas sobre a respiração do algodão, realizaram dois experimentos com a cultivar (DP444BG/RR), em Arkansas (EUA). O primeiro experimento foi sobre o efeito de curto prazo (2h) de temperaturas noturnas elevadas, com as plantas cultivadas sob temperaturas normais de dia/noite (30/20°C) até o estágio cabeça de alfinete, após o qual foram impostas temperaturas de 24, 27 e 30°C durante a noite com intervalos de 2h entre cada regime de temperatura. Os resultados mostraram que ambos os regimes de temperatura elevada (27 e 30°C) causaram aumento significativo na taxa de respiração em 49% e 56%, respectivamente, em comparação com os de controle (24°C). O segundo experimento, de que trata do efeito de longo prazo de temperatura noturna elevada (quatro semanas), com tratamentos consistindo de temperatura dia/noite normal (30/20 °C) e alta temperatura noturna (30/28 °C) durante quatro semanas, detectaram um aumento significativo na respiração na segunda e na quarta semana (39% e 21%, respectivamente) e uma diminuição nos níveis de ATP (38% e 37%, respectivamente) das plantas sob alta temperatura noturna.

Franklin & Wigge (2014), afirmam que quando as temperaturas do ar excedem a faixa que normalmente ocorre em habitat natural da planta, a relação respiração/fotossíntese pode aumentar drasticamente, obtendo consequências negativas para o equilíbrio de carbono nas plantas.

Soliz et al. (2008) também realizaram três experimentos (2002, 2003 e 2004) em Arkansas, a fim de observar os efeitos causados pelo aumento da temperatura noturna

em plantas de algodão. Os tratamentos consistiram na elevação da temperatura de 6 até 9°C acima da temperatura ambiente, e uma temperatura noturna de controle. A temperatura noturna era elevada diariamente por quatro horas durante o florescimento e desenvolvimento do capulho. Eles observaram que altas temperaturas noturnas proporcionam baixa produção de sementes, redução do número de sementes por capulho e número de fibras por sementes.

Durante o florescimento, a demanda por carboidrato para enchimento dos capulhos é elevada, porém, altas temperaturas noturnas provocam o dreno de hidratos de carbono para realização da respiração, provocando menor produção de sementes por capulho e queda de capulhos menores, além disso, outro efeito negativo da permanência de temperaturas noturnas elevadas é a esterilidade do pólen (Silvertooth, 1990). Ainda segundo esse autor, grande parte da confusão em relação à alta temperatura e seu efeito sobre o crescimento do algodão deriva dos muitos fatores que determinam a quantidade de calor que o tecido da planta recebe. O algodão tenta manter sua temperatura entre 23 e 32°C, na faixa ótima para o crescimento e fotossíntese, através da abertura dos estômatos nas folhas permitindo que a água evapore quando a temperatura do ar e a radiação solar aquece a planta.

Propriedades da fibra que são dependentes da deposição de produtos da fotossíntese em paredes celulares são sensíveis a alterações no ambiente de crescimento (Lokhande & Reddy, 2014). Em experimento conduzido por esses autores em Mississippi, EUA, onde variaram temperaturas dia/noite (22/14, 26/18, 30/22 e 34/26°C), impostas durante a floração, sob a cultivar TM-1, observaram que a temperatura ótima para produção de biomassa foi entre 18,1 e 21,5 °C, sendo que houve diminuição da biomassa sob temperaturas mais elevadas, de 10% a 25,5 °C e 19% em 29,5 °C. Além disso, obtiveram maior quantidade de capulhos à temperatura de 25,5 °C, porém diminuiu drasticamente em 29,5 °C. Também inferiram que o comprimento das fibras aumentou linearmente de 18 a 22 °C, e diminuiu a temperaturas mais elevadas.

Nas Filipinas, Penget al. (2004) observaram que, num período de 25 anos (1979-2003), o aumento da temperatura máxima média anual foi de 0,35°C, enquanto que o da mínima média anual foi de 1,13°C, ou seja, o aumento da temperatura mínima foi 3,2 vezes maior que o aumento da temperatura máxima. Esses autores mostraram que houve forte relação linear negativa entre a temperatura mínima do ar e a produção de matéria seca e outros componentes da produtividade do arroz e concluíram que a produção de grãos decresceu, no mínimo 10%, para cada incremento de 1°C na temperatura mínima.

É importante ressaltar que o desenvolvimento reprodutivo é possivelmente a fase mais sensível ao estresse térmico (Snider & Oosterhuis, 2012). Porém, pouco se sabe sobre os efeitos fisiológicos do aumento da temperatura noturna nas culturas suscetíveis a essa variável (Glaubitz et al., 2014).

Dessa forma, compreender os efeitos do estresse térmico sobre as culturas é extremamente importante, devido às grandes variações de temperaturas que podem ocorrer de um dia para o outro ou até entre períodos de um mesmo dia (Rosolem et al., 2014). Aliado a isso, as mudanças nas condições meteorológicas terão substancial impacto na produção e produtividade agrícola. A interação entre alterações ambientais, tais como temperatura e seca podem intensificar a taxa e direção de fatores de estresses climáticos individuais e seus efeitos sobre o rendimento das culturas e qualidade dos produtos (Lokhande & Reddy, 2014).

Apesar da cultura do algodoeiro possuir mecanismos de termotolerância (Farooq et al., 2015), as cultivares atuais estão perdendo esse mecanismo (Brown & Oosterhuis, 2004) devido às diversas alterações gênicas provocadas pelo melhoramento.

O melhoramento para variedades de culturas tolerantes ao calor se deve concentrar na melhoria de compostos que contribuem para a adaptação e aclimatação a alta temperatura, assim, compreender os mecanismos fisiológicos é essencial para garantir e melhorar a produção de alimentos no futuro e prever e mitigar os efeitos do aquecimento global (Franklin & Wigge, 2014).

Dessa forma, o melhoramento no sentido de adaptação da planta de algodão ao aumento da temperatura mostra-se de grande importância no cenário onde se observam mudanças climáticas, principalmente o aumento da temperatura do ar.

2.4 Influência do déficit hídrico no algodoeiro

Estresse hídrico, no contexto agrônomico, é a quantidade de água disponível para a planta que leva a uma redução no retorno econômico da cultura (Echer, 2014). A diminuição da evapotranspiração por falta de água no ambiente limita o desenvolvimento da cultura através de diversas alterações fisiológicas (Yeates, 2014).

O déficit hídrico denota-se do resultado negativo do balanço hídrico, em que o total de água que entra no sistema via precipitação mostra-se menor que a quantidade total de água perdida pela evapotranspiração das plantas (Duarte et al., 2012).

Segundo Salamoni (2008), o estresse na planta pode ser entendido como qualquer fator externo que exerce influência desvantajosa sobre a planta, induzindo respostas reversíveis ou permanentes em todos os níveis do organismo.

Segundo Baldo et al.(2009), quando as plantas são expostas a situações de deficiência de água, exibem frequentemente, respostas fisiológicas que resultam, de modo indireto, na conservação da água no solo. Elas diminuem a superfície transpiratória, no caso de perdas de folha, ou no simples fato de para o crescimento, reduzindo a área foliar e mantendo o peso da parte aérea, o que gera economia de água para períodos posteriores. As respostas das células ao estresse hídrico incluem mudanças no ciclo e divisões celulares, mudanças no sistema de endomembranas e vacuolização, bem como alterações na arquitetura da parede celular (Baldo et al., 2009).

A demanda hídrica das culturas depende de vários aspectos, dentre eles do tipo de cultura e de suas características fisiológicas. No algodão herbáceo, a exigência de água para altas produtividades é baixa até o aparecimento dos primeiros botões florais, normalmente menos que 2,0 mm (Oliveira et al., 2013), chegando a mais de 8,0 mm por dia na fase de pleno florescimento (Rosolem, 2001).

Segundo Brito et al.(2011), sabe-se que a quantidade e a qualidade de fibra produzidas em plantas de algodão são diretamente relacionadas com a disponibilidade de água durante as diferentes fases fenológicas de desenvolvimento. Em geral, as culturas são mais sensíveis ao déficit hídrico durante a emergência, a floração, e a fase inicial da frutificação, do que durante o período de crescimento vegetativo e a maturação (Pereira et al., 2007).

A disponibilidade de água de irrigação tem sido identificada como um dos principais fatores limitantes da produtividade do algodão. Essa cultura mostra-se muito sensível ao estresse hídrico durante as várias fases de seu crescimento e desenvolvimento, com o uso diário de água sendo maior durante o período de floração até a formação dos capulhos (Argyrokastritis et al., 2015).

Loka & Oosterhus (2012) afirmaram que as flores brancas de algodão dificilmente sofrem abscisão, e sustentam sua expansão mesmo em condições extremas de déficit hídrico. Entretanto, reduções significativas na produtividade são observadas quando o estresse hídrico ocorre durante a fase de abertura de flores.

Segundo Steduto et al.(2012) a cultura do algodão se destaca entre as outras pela dependência da relação entre crescimento reprodutivo/vegetativo em relação a condição hídrica da planta. Um status de água elevado promove o crescimento vegetativo e

suprime o estágio reprodutivo. Ainda segundo esses autores, a disponibilidade de água adequada é essencial para o crescimento antes e durante a formação de botões florais. Por outro lado, o excesso de água durante a floração, crescimento dos capulhos e desenvolvimento de fibras resultará em um crescimento vegetativo rápido e contínuo e queda rápida das flores precoces e dos capulhos jovens. De acordo com Echer (2014), quando a disponibilidade de água é ideal, o crescimento do algodoeiro fica equilibrado entre crescimento vegetativo e reprodutivo.

Krieg (2000) observou que se o estresse hídrico ocorrer depois do florescimento, frutos jovens são mais prováveis de serem abortados devido ao suprimento reduzido de carbono e nitrogênio e a perturbações no metabolismo hormonal.

McMichael et al. (1973) avaliaram os efeitos do potencial hídrico foliar em decorrência do estresse hídrico entre -1 e -2,6 MPa sobre a abscisão de folhas e frutos, onde verificaram aumento da abscisão de ambos com redução do potencial. Determinou-se o potencial de -0,8 MPa como valor crítico, abaixo do qual o estresse hídrico induz a abscisão. Para cada 0,1 MPa reduzido pelo estresse hídrico, houve aumento percentual de 4,1 e 3,5 vezes na quantidade de frutos e folhas que sofreram abscisão, respectivamente.

Zonta et al. (2015), também observaram declínio na produtividade do algodão em caroço e na percentagem e qualidade da fibra, quando submetido à rega com déficit (70 e 40% ETc) em estudo para avaliar a produtividade, o rendimento e a qualidade de fibras de cultivares de algodoeiro herbáceo submetidas a diferentes lâminas de irrigação (130, 100, 70 e 40% da evapotranspiração da cultura - ETc) e quatro cultivares de algodoeiro (FiberMax 993, BRS 286, BRS 336 e BRS 335).

Silva et al. (1998) avaliaram os efeitos provocados pelo déficit hídrico em variáveis fenológicas e características tecnológicas da fibra do algodoeiro herbáceo e observaram que a cultivar CNPA 6H no tratamento controle apresentou superioridade em altura de planta, índice de área foliar e fitomassa aérea verde e seca, em relação ao tratamento que sofreu deficiência hídrica. O que também foi observado por Dagdelen et al. (2009), em avaliações conduzidas para observar os efeitos de diferentes regimes de irrigação por gotejamento (75, 50 e 25% do valor recebido pelo tratamento T100%) na eficiência de uso de água (EUA) e parâmetros de qualidade da fibra em variedades de algodão na região do mar Egeu da Turquia durante 2004 e 2005.

Onder et al. (2009), desenvolveram experimento afim de testar diferentes níveis de água (25, 50, 75% do tratamento completo com irrigação 100%) em algodão irrigado

por gotejamento, no rendimento dos componentes do algodoeiro, em AmikPlain na região do Mediterrâneo Oriental da Turquia. Eles observaram que a produção total de sementes, peso de capulho e porcentagem de fibra, sob déficit hídrico – 25, 50 e 75% - a produção total de sementes de algodão, peso de capulho, porcentagem de fibra, número de ramificações simpodiais e índice de área foliar diminuíram, enquanto alguns parâmetros como peso e número de capulhos abertos aumentaram, sob déficit hídrico, concluindo que o algodão mostrou alta capacidade de adaptação.

Alguns pesquisadores demonstraram que o algodoeiro é caracterizado quanto a sua tolerância ao déficit hídrico e a altas temperaturas devido a sua variabilidade genética (Quisenberry et al., 1982). Porém, segundo Brito et al.(2011),a maioria das cultivares de algodoeiro modernas foram desenvolvidas sob condições de irrigação e melhoramento para aumentar o rendimento e a qualidade da fibra, bem como triagem para obter os genótipos mais adequados para colheita mecanizada e processamento, reduzindo essa tolerância.

Dessa forma, o estudo de diferentes cultivares de algodoeiro com diferentes lâminas de irrigação mostra-se importante por ser possível encontrar aquelas que apresentem respostas diferentes quando submetidas ao déficit hídrico. Segundo Brito et al.(2011), atualmente, a disponibilidade de água para uso na agricultura é cada vez mais limitado e oneroso, criando ímpeto para projetos de pesquisa que podem identificar genótipos que tenham uma maior tolerância às condições de déficit hídrico.

REFERÊNCIAS

- ABRO, S.; RAJPUT, M. T.; KHAN, M. A.; SIAL, M. A.; TAHIR, S. S. Screening of cotton (*Gossypium hirsutum L.*) genotypes for heat tolerance. **Pakistan Journal of Botany**, Faisalabad, v. 47, n. 6, p. 2085-2091, 2015.
- ALVES, L. R. A. **A reestruturação da cotonicultura no Brasil**: fatores econômicos, institucionais e tecnológicos. 2006. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- AINSWORTH, E. A.; ORT, D. R. How do we improve crop production in a warming world? **American Society of Plant Biologists**. v. 154, n. 2, p. 526–530, 2010. <https://doi.org/10.1104/pp.110.161349>
- ALWARD, R. D.; DETLING, J. K.; MILCHUNAS, D. G. Grassland vegetating changes and nocturnal global warming. **Science**, v. 283, p. 229-231, 1999. <https://doi.org/10.1126/science.283.5399.229>
- AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V. A interferência da precipitação na intensidade e na distribuição espacial das ilhas de calor de superfície nas estações do ano em ambiente tropical. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., 2017, Santos. **Anais [...]**. Santos: INPE, 2017. Disponível em: https://proceedings.science/proceedings/59/_papers/59558/download/abstract_file1?lang=en. Acesso em: 12 jun. 2019.
- ARGYROKASTRITIS, I. G.; PAPASTYLIANOU, P. T.; ALEXANDRIS, S. Leaf water potential and crop water stress index variation for full and deficit irrigated cotton in Mediterranean conditions. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**. V. 4, p. 463 – 470, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.054>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO. ABRAPA. BRASÍLIA, DF: ABRAPA, 2018. Disponível em: www.abrapa.com.br. Acesso em: 29 nov. 2018.
- BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 5, p. 717-726, maio 2001. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000500001>
- BALDO, R.; SCALON, S. P. Q.; ROSA, Y. B. C. J.; MUSSURY, R. M.; BETONI, R.; BARRETO, W. S. Comportamento do algodoeiro cultivar Delta Opal sob estresse hídrico com e sem aplicação de bioestimulante. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 33, p. 1804 -1812. 2009. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000700018>
- BAPTISTA, G. M. M. **Aquecimento global**: ciência ou religião? Brasília: Hinterlândia, 2009.
- BATISTA, C. H.; AQUINO L. A.; SILVA T. R.; SILVA, H. R. F. Crescimento e produtividade da cultura do algodão em resposta a aplicação de fósforo e métodos de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 4, n. 4, p. 197–206. 2010. <https://doi.org/10.7127/rbai.v4n400035>

BELTRÃO, N. E. M. Fisiologia do algodoeiro: Aspectos fisiológicos na produção e na qualidade da fibra do algodoeiro. **V Congresso Brasileiro de Algodão**. 2005.

BOYLES, R. P. & RAMAN, S. Analysis of climate trends in North Carolina (1949-1998). **Environment International**, v. 29, p. 263-275. 2003. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00185-X](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00185-X)

BRITO, G. G.; SOFIATTI, V.; LIMA, M. M. A.; CARVALHO, L. P.; FILHO, J. L. S. Physiological traits for drought phenotyping in cotton. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 33, n. 1, p. 117-125. 2011. <https://doi.org/10.4025/actasciagr.v33i1.9839>

BROWN, R.S.; OOSTERHUIS, D.M. High daytime temperature stress effects on the physiology of modern versus obsolete cotton cultivars. **The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology**, v. 4, p. 93-96. 2010.

BURKE, J.J.; MAHAN, J.R.; HATFIELD, J.L. Crop-specific thermal kinetic windows in relation to wheat and cotton biomass production. **Agronomy Journal**, v. 80, p. 553-556. 1988. <https://doi.org/10.2134/agronj1988.00021962008000040001x>

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). **Acompanhamento da safra brasileira**: grãos, v. 2 - Safra 2014/2015, n. 4 - Quarto levantamento. Brasília, DF: CONAB, 2015.

DAGDELEN, N.; BASAL, H.; YILMAZ, E. GURBUZ, T.; AKÇAY, S. Different drip irrigation regimes affect cotton yield, water use efficiency and fiber quality in western Turkey. **Agricultural water management**, v.96, p. 111-120.2009. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.07.003>

DUARTE, J. M. DE L.; LIMA, A. D.; NASCIMENTO, R. S.; VIANA, T. V. DE A.; SARAIVA, K. R.; AZEVEDO, B. M. Eficiência do uso da água na produção de óleo do girassol (*Helianthus annuus* L.), sob suspensão hídrica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 6, n. 3, p. 166 - 175. 2012. <https://doi.org/10.7127/rbai.v6n300081>

EASTERLING, D. R, PETERSON, T. C.; KARL, T. R. On the development and use of homogenized climate datasets. **Journal of Climate**, v. 9, p. 1429-1434. 1997. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1996\)009<1429:OTDAUO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1996)009<1429:OTDAUO>2.0.CO;2)

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

FAROOQ, J.; MAHMOOD, K.; AKRAM, M.W.; REHMAN, A.U.; JAVAID, M.I.; PETRESCU-MAG, I.V.; NAWAZ, B. High temperature stress in cotton *Gossypium hirsutum* L. **Extreme Life, Biospeology & Astrobiology**, v. 7, p. 34-44. 2015.

FRANKLIN, K. A. & WIGGE, P. A. **Temperature and Plant Development**. 2014. <https://doi.org/10.1002/9781118308240>

GLAUBITZ, U.; LIA, X.; KÖHL, K.I.; VAN DONGEN, J. T.; HINCHA, D. K.; ZUTHER, E. Differential physiological responses of different rice (*Oryza sativa*) cultivars to elevated night temperature during vegetative growth. **Functional Plant Biology**, v. 41, p. 437-448. 2014. <https://doi.org/10.1071/FP13132>

GONÇALVES, C.W. Formação sócio-espacial e questão ambiental no Brasil. *In*: Christofolletti, A. et al. (org.). **Geografia e Meio Ambiente no Brasil**. São Paulo: Hucitec, 1995.

GUL, S.; KHAN, N.U.; BATOOL, S.; BALOCH, M.J.; MUNIR, M.; SAJID, M.; KHAKWANI, A.A.; GHALOO, S.H.; SOOMRO, Z.A.; KAZMI, S. F. Genotype by environment interaction and association of morpho yield variables in upland cotton. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, v. 24, n. 1, p. 262-271. 2014.

HATFIELDS, J. L.; PRUEGER, J. H. Temperature extremes: effect on plant growth and development. **Weather and Climate Extremes**, v. 10, p. 4-10. 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001>

HODGES, H.F.; REDDY, K.R.; MCKINION, J.M.; REDDY, V.R. Temperature effects on cotton. **Bulletin 990**. 1993.

KARL, T. R.; KNIGHT, R. W.; EASTERLING, D. R.; QUAYLE, R. G. Indices of climate change for the United States. **American Meteorological Society Bulletin**, Boston, v. 77, n. 2, p. 279-292, Feb. 1996. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077<0279:IOCCFT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0279:IOCCFT>2.0.CO;2)

KRIEG, D. Genetic and environmental factors affecting productivity of cotton. *In*: **Proceedings of Beltwide Cotton Production-Mechanization Conference**. New Orleans, LA. p. 7–10. 1997.

LEROUX, M. **Aquecimento global: uma impostura científica**. Disponível em: http://www.resistir.info/climatologia/impostura_cientifica.html, acesso em 23 de fevereiro de 2019.

LIANG, X.; WEI GAO, M.X.; REDDY, K.J.; KUNKEL, K.; SCHMOLDT, D.L.; SAMEL, A.N. Physical Modeling of U.S. Cotton Yields and Climate Stresses during 1979 to 2005. **Agronomy Journal**, v. 104, 2012. <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0251>

LIU, Z.; YUAN, Y.; LIU, S.; YU, X.; RAO, L. Screening for high-temperature tolerant cotton cultivars by testing *In Vitro* pollen germination, pollen tube growth and boll retention. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 48, n. 6, p. 706-714. 2006.
<https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2006.00276.x>

LOKA, D.A.; OOSTERHUIS, D.M. Effect of high night temperatures on cotton respiration, ATP levels and carbohydrate content. **Environmental and Experimental Botany**, v. 68, p. 258–263. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.01.006>

LOKA, D.A.; OOSTERHUIS, D.M. **Sensitivity of Cotton to Water-Deficit Stress**. 2012.

LOKHANDE, S.; REDDY, R. Quantifying temperature effects on cotton reproductive efficiency and fiber quality. **Agronomy Journal**, v. 106. 2014. <https://doi.org/10.2134/agronj13.0531>

LOWRY, W. P.; P. P. LOWRY II. **Fundamentals of Biometeorology: Interactions of organisms and the atmosphere, The physical environment**. Peavine. 2001.

- MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA. 2006.
- MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, v. 63, p. 83-96. 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200006>
- MARENGO, J. A.; RUSTICUCCI, M.; PENALBA, O.; RENOM, M. An inter comparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: part 2: Historical Trends. **Climatic Change**, v. 98, p. 509–529. 2010. doi: 10.1007/s10584-009-9743-7. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9743-7>
- MARUYAMA, S. **Aquecimento Global?** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- MAVI, H.S.; TUPPER, G.J. **Agrometeorology** – Principles and application of climate studies in agriculture. New York: Food Products Press. 2004. <https://doi.org/10.1201/9781482277999>
- McMICHAEL, B. L.; JORDAN, R.W.; POWELL, R. D. Abscission processes in cotton: induction by plant water deficit. **Agronomy Journal**, v. 65, p. 202--204. 1973. <https://doi.org/10.2134/agronj1973.00021962006500020005x>
- MINUZZI, R. B. Tendências na variabilidade climática de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.12, p.1288–1293. 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010001200006>
- MOLION, L. C. B. Aquecimento global, manchas solares, El Niños e oscilação decadal do Pacífico; desmistificando o aquecimento global. **Intergeo**, v. 5, p. 13-20. 2008.
- NAÇÕES UNIDAS BRASIL. COP 21: Conferência das Nações Unidas sobre mudanças climáticas. In.: NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Nações Unidas Brasil**. Disponível em: www.nacoesunidas.org/cop21/. Acesso em: 12 jun. 2019.
- NEVES, G. Z. F.; FELÍCIO, R.A.; MACEDO, S. S.; GALLARDO, N. P.; VECCHIA, F. A. S. Espaços livres e temperatura de superfície em uma cidade de porte médio do Brasil. **Revista de Geografia**. Juiz de Fora, v.7, n. 2, p.137-148.2017.
- OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal Royal Meteorological Society**, v.108, p. 1–24. 1982. <https://doi.org/10.1256/smsqj.45501>
- OLIVEIRA, S. R. M.; JÚNIOR, A. S. A.; RIBEIRO, J. L.; BARROS, M. A. Coeficientes de cultura do algodão herbáceo e do feijão-caupi em sistemas monocultivo e consorciado. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.7, n. 3, p. 191 – 200.2013. <https://doi.org/10.7127/rbai.v7n300015>
- ONDER, D.; AKISCAN, Y.; ONDER, S.; MERT, M. Effect of different irrigation water level on cotton yield and yield components. **African Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 8, p. 1536-1544, 20 April. 2009.
- PARKER, D. E. Large-scale warming is not urban. **Nature**, v. 432, p. 290. 2004. <https://doi.org/10.1038/432290a>

- PENG, S.; HUANG, J.; SHEEHY, J. E.; LAZA, R. C.; VISPERAS, R. M.; ZHONG, X.; CENTENO, G. S.; KHUSH, G. S.; CASSMAN, K. G. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. **National Academy of Sciences of the USA**, Washington, D.C., v.101, n. 27, p. 9971-9975, jul. 2004. <https://doi.org/10.1073/pnas.0403720101>
- PEREIRA, A.R; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia – fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Ed. Agropecuária. p. 478. 2002.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Meteorologia Agrícola 306. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, SP. 2007.
- PEREIRA, P.; MORAIS, L. Clima urbano e evolução da temperatura estival em Lisboa no século XX. Tendência, número de noites quentes e amplitude térmica diária. **Finisterra**, **XLII**, v. 83, p. 109-126. 2007.
- PETRUCCI, E. **Características do clima de Uberlândia-MG**: análise da temperatura, precipitação e umidade relativa. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia. 2018.
- PETTIGREW, W.T. The Effect of higher temperatures on cotton lint yield production and fiber quality. **Crop Science**, v. 48. 2008. <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.05.0261>
- PINTO, H.S. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. Campinas: Unicamp; Brasília: Embrapa, p. 82. . 2008
- QUISENBERRY, J. E.; JORDAN, W. R.; ROARK, B. A.; FRYREAR, D. W. Exotic cottons as genetic sources for drought ter sistance. **Crop Science**, v. 21, p. 889-895. 1982. <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060022x>
- REDDY V.R.; HODGES H.F.; MCCARTY, W.H.; MCKINNON, J.M. Weather and cotton growth: present and future. **Mississippi Agricultural and Forestry Experimet Station**, Starkeville, 1996.
- ROBERTS, E.M.; RAO, N.R.; HUANG, J.Y.; TROLINDER, N.L.; HAIGLER, C.H. Effects of cycling temperatures on fiber metabolism in cultured cotton ovules. **Plant Physiololy**. v. 100, p. 979–986. 1992. <https://doi.org/10.1104/pp.100.2.979>
- ROSOLEM, C. A. Ecofisiologia e manejo da cultura do algodoeiro. UNESP. Botucatu-SP. 2001.
- ROSOLEM, C.A.; KAWAKAMI, E.M.; CHIAVEGATO, E.J.; ECHER, F.R.; BRITO, G.G.; CARVALHO, H.R.; SNIDER, J.L.; BOGIANI, J.C.; BERNARDES, M.S.; YEATES, S. O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes. **Boletim de P&D**, n. 1. 2014.
- SALAMONI, A. T. Apostila de aulas teóricas de Fiosiologia Vegetal. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria. sem.2, 2008.

- SAINI, H.S.; WESTGATE, M.E. Reproductive development in grain crops during drought. **Advances in Agronomy**. v. 68, p. 59–96. 2000. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60843-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60843-3)
- SCHÖNWIESE, C. D. **Klimatologie**. Uelmer. p. 350.1994.
- SILVA, B. B.; SOUZA, C. B.; RAO, T. V. R.; AZEVEDO, P. V.; SOBRINHO, J. E. Efeitos do déficit hídrico sobre a fenometria e a tecnologia de fibra do algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 2, p. 42-46. 1998. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v02n01p42-46>
- SILVA, I. P. F.; JUNIOR, J. F. S.; ARALDI, R.; TANAKA, A. A.; GIROTTO, M.; BOSQUÊ, G. G.; LIMA, F. C. C. Estudo das fases fenológicas do algodão (*Gossypium hirsutum*L.). **Revista científica eletrônica de agronomia**. 2011.
- SILVA, M. T.; DA SILVA, V.P.R.; AZEVEDO, P.V. O cultivo do algodão herbáceo no sistema de sequeiro no Nordeste do Brasil, no cenário de mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 1, p. 80-91. 2012. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000100011>
- SILVA, W. L.;DERECZYNSKI, C.; CHANG, M.; FREITAS, M.; MACHADO, B. J.; TRISTÃO, L.; RUGGERI, J. Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 2, 181 – 194.2015. <https://doi.org/10.1590/0102-778620130622>
- SILVERTOOTH, J. Physiology today newsletter of the cotton physiology education program. **National cotton council**, v.1, p. 10.1990.
- SINGH R.P.; VARA, P.P.V.; SUNITA, K.; GIRI, S.N.; REDDY, K.R. Influence of high temperature and breeding for heat tolerance in cotton: A review. **Advances in Agronomy**, v. 93, p. 313-386. 2007. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(06\)93006-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(06)93006-5)
- SNIDER, J.L.; OOSTERHUIS, D.M. Heat stress and pollen-pistil interactions. *In*: OOSTERHUIS, D.M.; COTHREN, J. T. (ed.) Flowering and fruiting in cotton. Publ. **Cotton Foundation**, p. 59-78, Memphis. 2012.
- SOLIZ, L.M.A.; OOSTERHUIS, D.M.; COKER, D.L.; BROWN, R.S. Physiological response of cotton to high night temperatures. **The americas journal oh plant science and biotechnology**, v. 2, n. 2, p. 63-68. 2008.
- STEDUTO, P.; HSIAO, T.C.; FERERES, E.; RAES, D. Crop yeld response to water.irrigation and drainage paper. **United Nations FAO**, Rome. 2012.
- STEDUTO, P.; HSIAO, T.C.; FERERES, E.; RAES, D. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. **Estudio FAO: Riego y Drenaje**. 2014
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed. 2006.
- TEJEDA-MARTÍNEZ, A.; JÁUREGUI-OSTOS, E. Surface energy balance measurements in the México City region: a review. **Atmósfera**, p. 1-23. 2004.

THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE IPCC AR4/SPM. Contribution of Working Group I for the Fourth Assessment Report (AR4), Summary for Policy Makers (SPM), WMO/UNEP, Geneva:2007.

THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. IPCC. Mudanças do clima: Principais conclusões do 5º relatório do IPCC. Juras, I. A. G. M. Nota técnica.2013.

THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Global warming of 1.5°C.Summary for Policymakers. Disponível em: www.ipcc.ch. 2018. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511546013.003>

THORP, K.R.; ALE, S.; BANGE, M.P.; BARNES, E.M.; HOOGENBOOM, G.; LASCANO, R. J.; MCCARTHY, A.C.; NAIR, S.; PAZ, J.O.; RAJAN, N.; REDDY, K.R.; WALL, G.W.; WHITE, J.W. Development and application of process-based simulation models for cotton production: a review of past, present, and future directions. **The Journal of Cotton Science**, v. 18, p. 10–47. 2014.

ULLAH, K.; KHAN, N.; USMAN, Z.; ULLAH, R.; SALEEM, F.Y.; SHAH, S.A.I.; SALMAN, M. Impact of temperature on yield and related traits in cotton genotypes. **Journal of Integrative Agriculture Advance Online Publication**. 2015. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61088-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61088-7)

VILANOVA, S. R. F.; MAITELLI, G. T. A importância da conservação de áreas verdes remanescentes no centro político administrativo de Cuiabá –MT. **UNICiências**, v.13.2009.

WENG, Q. Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 69, p. 555-566. 2003. <https://doi.org/10.14358/PERS.69.5.555>

YEATES, S. Efeitos do estresse hídrico na fisiologia do algodoeiro. *In*: ECHER, F. R. (ed.). **O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes**. Cuiabá: Instituto Mato-Grossense do Algodão - IMAmt, 2014. chapter 3, p. 63-79. 2014.

ZONTA, J. H.; BEZERRA, J. R. C.; SOFIATTI, V.; FARIAS, F. J. C.; CARVALHO, L. P. Efeito da irrigação no rendimento e qualidade de fibras em cultivares de algodoeiro herbáceo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 4, p. 43 – 52. 2015. <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n405rc>

CAPÍTULO I

RESUMO

CLEMENTE, MARINA ALVES. **Tendências da temperatura do ar na área urbana e suburbana de Uberlândia-MG. 2019. 70p. Tese** (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

O aumento da temperatura do ar apresenta consequências para as culturas agrícolas. Objetivou-se com este estudo avaliar a tendência da temperatura do ar no centro da cidade e em uma área suburbana no município de Uberlândia, Minas Gerais. Os dados das variáveis climáticas analisados foram provenientes da Estação INMET Uberlândia, que está localizada próximo ao centro urbano da cidade, e da Estação Meteorológica da Fazenda Capim Branco – Laboratório de Climatologia Ambiental – Clima – UFU. Os dados de temperatura foram referentes aos anos de 2011, 2012, 2013, 2014 e 2017 e foram submetidos à análise de variância pelo teste de Tukey a 0,05 de significância e à análise de regressão linear. As médias de temperatura diurna na fazenda não apresentaram tendência de aumento ($P > 0,05$). Ao contrário, houve aumento de $0,43^{\circ}\text{C}$ na cidade, durante o tempo avaliado com aumento de $0,06^{\circ}\text{C}$ a cada ano estudado. Para a temperatura média diária na fazenda, houve aumento significativo de $0,07^{\circ}\text{C}$ a cada ano ($P < 0,05$) e, na cidade, não foi observada nenhuma tendência estatística ($P > 0,05$). A média da temperatura noturna também apresentou comportamento diferente em ambos os lugares, com tendência de aumento apenas na fazenda ($P < 0,05$) de $0,08^{\circ}\text{C}$ a cada ano. As médias de todas as temperaturas foram maiores na cidade quando comparadas com a fazenda.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, aquecimento, urbanização.

ABSTRACT

CLEMENTE, MARINA ALVES. **Impact of the increase of the nocturnal air temperature and of the water deficit in cotton genotypes. 2019. 70p. Thesis (Doctorate in Agronomy/Phytotechnology) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.**

The increase in air temperature has consequences for agricultural crops. However, many criticisms are made regarding the causes of global warming if they are due to anthropogenic actions or natural variations. Thus, the objective of this study was to evaluate the tendency of increasing air temperature in the city and in the farm area of the city of Uberlândia, Minas Gerais. The study areas cover the municipality of Uberlândia-MG and the Capim Branco Experimental Farm - UFU. The data of the climatic variables analyzed came from the INMET Uberlândia Station, which is located near the urban center of the city, and the Meteorological Station of Capim Branco Farm - Laboratory of Environmental Climatology - Climate - UFU. The temperature data were related to the years 2011, 2012, 2013, 2014 and 2017, and were subjected to analysis of variance by Tukey's test at 0.05 significance and linear regression analysis. When performing the regression analysis of the average diurnal temperatures on the farm, from 2011 to 2017, no significant tendency was observed for this variable ($P>0.05$). On the contrary, there was an increase of 0.43°C in the city during the evaluated period, with an increase of 0.06°C in each year studied. For the average diurnal temperature at the farm, there was a significant increase of 0.07°C each year ($P<0.05$) and, in the city, no statistical tendency was observed ($P>0.05$). The average night temperature also showed different behavior in both places, with a significant tendency of increase in the farm ($P<0.05$), 0.08°C in each year, and in the city, no significance was observed ($P>0.05$). The averages of all temperatures were higher in the city when compared to the farm.

Keywords: Climate change, climatic tendency, urbanization.

1. INTRODUÇÃO

A possibilidade de aumento na temperatura média do planeta entre 1,0 e 5,8°C nos próximos cem anos, em decorrência das mudanças climáticas globais, despertou o interesse de pesquisadores brasileiros a investigar as consequências dessas mudanças nas atividades agrícolas (Silva, 2009).

Pesquisas mostram as consequências do aquecimento global na agricultura, como observado pelos autores Siqueira et al. (2000); Siqueira et al. (2001); Cunha et al. (2004) que preveem reduções na ordem de 31% na produção de trigo, e 16% na produção de milho, no Brasil. Usando uma série histórica de dados de rendimento do arroz, Peng et al., (2004) mostraram que para cada grau de aumento da temperatura noturna (temperatura mínima) o rendimento do arroz caiu em 10%.

Segundo Silva (2009), no Brasil já são apontados mudanças consideráveis na produção das culturas como café, soja, milho, etc. por motivos da redução das áreas aptas ao cultivo das mesmas, além de mudanças inevitáveis nas áreas florestais. Porém, de acordo com Silva et al. (2008), torna-se importante detectar se o aumento nos registros reflete um aquecimento devido a uma variação aleatória natural ou consequências dos efeitos da urbanização e ações antrópicas.

De acordo com Pereira et al. (2007), devido ao fato da Terra estar num período interglacial, com aumento natural da temperatura, é difícil separar quanto do aquecimento é devido à variabilidade natural e quanto é decorrente do efeito estufa originário de causas antropogênicas. Segundo esses autores, é difícil confirmar se atualmente está começando a ocorrer uma mudança climática para as próximas décadas.

As alterações climáticas, em especial o aquecimento global, têm sido motivo de grandes preocupações da comunidade científica. Porém, vários estudos comprovam que muitas tendências de aquecimento observadas nos registros meteorológicos expressam mais os efeitos urbanos locais que o aquecimento global da atmosfera (Back, 2001).

O desenvolvimento urbano geralmente dá origem a uma mudança da superfície da Terra e essas alterações inevitavelmente resultam na redistribuição da energia da radiação solar, o que induz o contraste da temperatura do ar urbano-rural (Weng, 2003).

Outra consequência importante dos centros urbanos no clima é a diminuição da amplitude térmica diária, que está relacionada com a maior absorção de calor pelos materiais pétreos da cidade. Observa-se que o aumento da temperatura média mínima é mais acentuado que o da temperatura média máxima (Pereira & Morais, 2007).

Vilanova & Maitelli (2009), corroboram com esses autores, em que afirmam que essa transformação provocada pela urbanização altera o balanço de radiação da superfície urbana provocando mudanças nos processos de absorção, transmissão e reflexão e, assim, as condições climáticas adquirem características locais próprias devido ao uso do solo.

Em relação à cidade de Uberlândia-MG, Petrucci (2018) reportou aumento na temperatura máxima e mínima ao avaliar uma série histórica de 1981 a 2015. Porém, um fato a analisar é se esses aumentos de temperatura do ar ocorrem também no meio rural com magnitude semelhante, relacionando-se mais à variabilidade natural, ou com padrões distintos expressando principalmente consequências dos efeitos da urbanização e ações antrópicas. Nesse sentido, objetivou-se com este estudo, avaliar se as temperaturas média, diurna e noturna do ar registradas no centro da cidade possuem mesma tendência na Fazenda Experimental Capim Branco localizada em uma área suburbana de Uberlândia, Minas Gerais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

As áreas de estudo abrangeram o município de Uberlândia-MG (18°55'08"S, 48°16'37"W, 865 m de altitude). Foram coletados dados da temperatura do ar de duas estações meteorológicas, uma localizada no centro de Uberlândia (18°55'45"S, 48°15'36"W, 875m de altitude), pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia e outra na Fazenda Experimental Capim Branco (18,88° S, 48,34° W, 900 m de altitude), pertencente à Universidade Federal de Uberlândia.

A cidade de Uberlândia conta com uma população estimada em 683.247, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018), com uma extensão de 44.115 km², sendo que 135,3 km² estão em perímetro urbano constituindo-se em uma cidade pólo para a região.

O município localiza-se na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, na porção sudoeste do estado de Minas Gerais. Cavalcanti et. al., (2009) descrevem sobre a transicionalidade climática da região Sudeste, limitando-se entre os climas equatoriais ao norte e subtropicais ao sul, sendo influenciada por sistemas atmosféricos oriundos de latitudes médias e tropicais (Abreu, 1998).

A classificação climática sobre a área de estudo, segundo Köppen (1936), é do tipo Aw, megatérmico, tropical com verão chuvoso e inverno seco.

2.2 Dados meteorológicos

Os dados das variáveis climáticas analisadas foram provenientes da Estação INMET Uberlândia, que está localizada próximo ao centro urbano da cidade, e da Estação Meteorológica da Fazenda Capim Branco – Laboratório de Climatologia Ambiental – CliMA – UFU.

Os dados de temperatura do ar analisados foram referentes aos anos de 2011, 2012, 2013, 2014 e 2017, totalizando 3.630 dados, sendo 1.807 da fazenda e 1.823 da cidade de Uberlândia. Os anos de 2015 e 2016 não foram incluídos devido à falta destes dados.

A temperatura do ar noturna foi calculada a partir da média da temperatura mínima diária e a amplitude térmica, através da diferença entre a temperatura máxima e mínima diária.

2.3 Estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade e homogeneidade, posteriormente, à análise de variância pelo teste de Tukey a 0,05 de significância e análise de regressão linear para avaliar a tendência de mudança de temperatura do ar.

A análise de regressão pode ser utilizada para indicar alterações climáticas por meio do teste de significância do coeficiente angular (Back, 2001). Considerando a equação da reta do tipo:

$Y = a + bX$, em que:

Y = variável dependente (temperatura diurna, noturna, média e amplitude térmica).

a = interceptação da reta com o eixo vertical

b = coeficiente angular

X = variável independente (anos 2011, 2012, 2013, 2014 e 2017).

3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao realizar a análise de regressão das médias de temperatura diurna na fazenda, do ano de 2011 a 2017, não foi observada tendência significativa para essa variável ($P>0,05$; Tabela 1). Ao contrário, houve aumento de $0,43^{\circ}\text{C}$ na cidade, durante o tempo avaliado com aumento de $0,06^{\circ}\text{C}$ a cada ano estudado (Tabela 1).

TABELA 1: Equação da análise de regressão das médias de temperatura do ar e amplitude térmica ($^{\circ}\text{C}$) dos anos 2011, 2012, 2013, 2014 e 2017 da Fazenda Capim Branco – UFU e da Cidade de Uberlândia – MG.

	Equação	Pr>F
	Temperatura Diurna	
Fazenda	$Y = 0,05x + 27,84$	0,1238
Cidade	$Y = 0,06x + 27,9$	0,0312
	Temperatura Noturna	
Fazenda	$Y = 0,08x + 15,81$	0,0127
Cidade	$Y = 0,0006x + 17,99$	0,9846
	Temperatura Média Diária	
Fazenda	$Y = 0,07x + 21,14$	0,0097
Cidade	$Y = 0,02x + 22,42$	0,2854
	Amplitude Térmica	
Fazenda	$Y = -0,03x + 12,02$	0,3492
Cidade	$Y = 0,06x + 9,91$	0,0326

A média da temperatura noturna também apresentou comportamento diferente em ambos os lugares, com tendência de aumento na fazenda ($P<0,05$), $0,08^{\circ}\text{C}$ a cada ano, e na cidade, não foi observada significância para esta variável ($P>0,05$; Tabela 1).

Esperava-se comportamento semelhante da temperatura noturna da cidade em relação à da fazenda. Porém, devido à anormalidade observada no ano de 2014 (Figura 1), pode ter havido uma interferência na significância dessa variável, uma vez que, entre os anos avaliados, 2014 foi o que obteve menor temperatura noturna na cidade.

Ao contrário do que foi verificado no presente estudo, onde a noturna da cidade não apresentou mesmo comportamento, Silva et al. (2015) encontraram indicadores relacionados à temperatura noturna com um sinal de tendência à elevação superior aos indicadores associados à diurna, em estudo de análise das tendências de extremos climáticos baseado em indicadores calculados a partir de séries de dados

observacionais diários durante 35 anos em 20 estações meteorológicas do IAPAR, no Estado do Paraná.

Minuzzi (2010) encontrou tendência para temperatura noturna em Santa Catarina, e mostraram que essa tendência tem sido mais abrupta quando comparada com a temperatura diurna. Porém, afirmam que, apesar das tendências citadas dos extremos da temperatura do ar, não se pode afirmar, categoricamente, que elas são uma resposta ao comportamento do clima em razão do número de séries consideradas estatisticamente heterogêneas, sobretudo da temperatura noturna.

Para a temperatura média diária na fazenda, houve aumento de $0,07^{\circ}\text{C}$ a cada ano avaliado ($P < 0,05$) e, na cidade, não foi observada nenhuma tendência estatística ($P > 0,05$; Tabela 1).

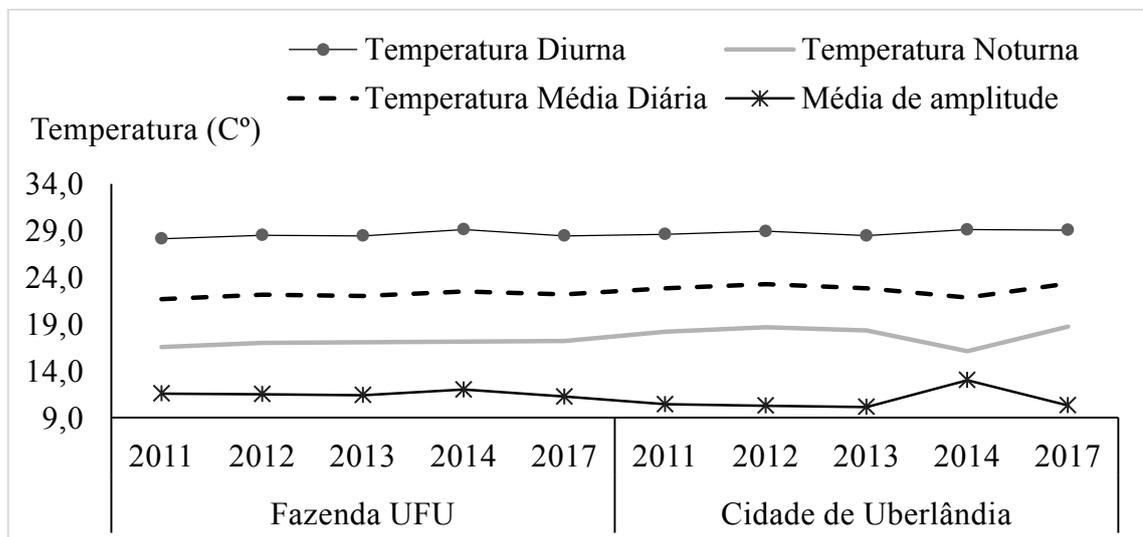


FIGURA 1. Médias de temperatura do ar e amplitude térmica ($^{\circ}\text{C}$) dos anos 2011, 2012, 2013, 2014 e 2017 da Fazenda Capim Branco – UFU e da Cidade de Uberlândia – MG.

A tendência de aumento da temperatura média diária na fazenda, provavelmente, é uma resposta ao comportamento da temperatura noturna, não só pela tendência significativa de aumento, mas, também, pelos maiores coeficientes angulares ($0,08^{\circ}\text{C}$ para noturna e $0,07^{\circ}\text{C}$ para a média anual).

Apesar da falta de dados dos anos 2015 e 2016 e do menor número de tendências significativas, os sinais foram unânimes em indicar aumento das médias de temperaturas diurna na cidade e noturna e média diária na fazenda, nos sete anos avaliados.

No contexto geral, não se pode aferir com exatidão se os aumentos encontrados nas temperaturas diurnas para a cidade e noturna e média diária para a fazenda (Figura 1), foram uma resposta ao comportamento do tempo e clima ou por influências não naturais. Isto porque houve situações de descontinuidade, como o caso da grande queda da temperatura noturna na cidade de Uberlândia no ano de 2014.

Chmielewski et al. (2004) encontraram tendência de aumento linear na temperatura média anual de $0,04^{\circ}\text{C}$ na Alemanha ao avaliar o período de 1961-1990. No presente estudo, houve uma tendência de aumento para temperatura média anual de $0,07^{\circ}\text{C}$, e apenas na fazenda, não encontrando o mesmo comportamento na cidade.

Segundo Jardim et al. (2017), a partir de meados da década de 1970, Ibirité-MG experimentou aumento gradual nas temperaturas máximas locais. Essa tendência, de certa forma, acompanhou o processo de modificação da paisagem natural, incluindo a urbanização, pelo qual passou o município na referida década. Os mesmos autores também reportaram fraca tendência de mudanças na temperatura noturna na cidade de Ibirité-MG, mesmo comportamento observado nesta pesquisa.

Assim como considerado por Jardim et al. (2017), a relativa escassez de dados climáticos oriundos de estações meteorológicas em superfície, não permitiu suficiente acúmulo de dados para registro de outros eventos dessa natureza e magnitude em tempos passados. E, ainda, permanece válido o questionamento sobre a validade do dado quantitativo relativo à temperatura máxima absoluta como indicador de tendência de variação temporal da temperatura do ar, uma vez que a sua natureza indica maior dispersão em relação às temperaturas mínimas, quando comparado a medidas de tendência central (valores médios), o que diminui sua eficácia como indicador de tendências.

Com relação à análise de regressão da amplitude térmica, não se observou tendência significativa na fazenda ($P > 0,05$). Ao contrário, a amplitude térmica na cidade aumentou no período avaliado ($P < 0,05$; Tabela 1). Esse fato pode estar relacionado à tendência significativa de aumento da temperatura diurna e estagnação da noturna, o que provocou maior amplitude térmica na cidade.

Ao contrário do observado no presente estudo, Pereira & Morais (2007) mostraram que as cidades apresentaram uma diminuição da amplitude térmica diária. Os autores relacionaram isso à maior absorção de calor pelos materiais pétreos da cidade, com aumento mais acentuado da média da temperatura noturna que o da média de temperatura diurna.

Ao se comparar as médias de temperatura diurna entre a cidade e a fazenda, observou-se diferença estatística ($P < 0,05$) para os anos de 2011, 2012 e 2017, sendo maiores na cidade que na fazenda (Tabela 2). Os anos de 2013 e 2014 não apresentaram diferença significativa ($P > 0,05$) para a média da temperatura diurna entre os dois lugares avaliados.

TABELA 2. Médias das temperaturas diurna, noturna e média diária da Fazenda Capim Branco – UFU e da cidade de Uberlândia – MG.

Ano	Fazenda	Cidade	Pr>F
Temperatura Diurna			
2011	28,12 B	28,61 A	<0,0001
2012	28,50 B	28,94 A	0,0388
2013	28,44 A	28,46 A	0,9249
2014	29,11 A	29,11 A	0,9837
2017	28,44 B	29,04 A	0,0056
Todos os anos	28,53 B	28,83 A	<0,0001
Temperatura Noturna			
2011	16,54 B	18,17 A	<0,0001
2012	17,00 B	18,66 A	<0,0001
2013	17,04 B	18,33 A	<0,0001
2014	17,11 A	16,11 B	<0,0001
2017	17,20 B	18,73 A	<0,0001
Todos os anos	16,98 B	18,00 A	<0,0001
Temperatura Média Diária			
2011	21,67 B	22,82 A	<0,0001
2012	22,14 B	23,26 A	<0,0001
2013	22,00 B	22,81 A	<0,0001
2014	22,50 A	21,83 B	<0,0001
2017	22,18 B	23,33 A	<0,0001
Todos os anos	22,10 B	22,81 A	<0,0001

Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

As médias de temperatura noturna foram menores na fazenda em comparação às da cidade, exceto no ano de 2014 ($P < 0,05$), como observado na Tabela 2. O fato das

médias de temperatura noturna terem sido menores na fazenda, na maioria dos anos avaliados, é devido ao fato da proximidade em relação a superfícies vegetadas de grande dimensão e sua zona de influência sugere modificações em favor de um menor saldo de energia disponível para condução do calor (Jardim et al., 2017).

De acordo com Jardim et al. (2017), a interceptação da radiação solar pelo dossel das plantas e utilização de parte do saldo energético nos processos metabólicos da planta e no mecanismo de evapotranspiração, convertem parte do calor sensível disponível para aquecer o ar (e todo o ambiente) em calor latente, e isso auxilia na diminuição da mínima na fazenda.

Em relação à temperatura média diária, foi observada significância ($P < 0,05$) em todos os anos, sendo menor na fazenda que na cidade, com exceção de 2014, em que a média da cidade foi menor (Tabela 2). Esses resultados corroboram com os encontrados por Chung & Yoon (2000) em estudo realizado na Coreia, entre 1974 a 1997, onde a temperatura média anual nos grandes centros urbanos foi maior quando comparada com as estações localizadas na zona rural.

O clima não é constante e nem sempre foi como hoje o conhecemos; provas desta afirmativa são os registros de mudanças climáticas globais e, em particular, os regionais, que mostram periodicidades de anos a séculos, durante os quais o clima foi sistematicamente variável, na escala regional, mudanças climáticas são muito divergentes e nem sempre acompanham a tendência global, principalmente em referência à temperatura (Minuzzi, 2010).

Em relação à amplitude térmica, que é a diferença entre a temperatura máxima e a mínima, observou-se diferença significativa ($P < 0,05$) entre a cidade e a fazenda para todos os anos, sendo maior na fazenda quando comparada com a cidade, com exceção do ano de 2014, quando essa variável foi maior na cidade (Tabela 3).

TABELA 3. Médias de amplitude térmica (°C) da Fazenda Capim Branco – UFU e da cidade de Uberlândia – MG.

	Fazenda	Cidade	Pr>F
Ano	Amplitude Térmica		
2011	11,57 A	10,43 B	<0,0001
2012	11,50 A	10,27 B	<0,0001
2013	11,39 A	10,13 B	<0,0001
2014	12,00 B	13,00 A	<0,0001
2017	11,24 A	10,31 B	<0,0001
Todos os anos	11,54 A	10,83 B	<0,0001

Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Pereira & Moraes (2007) atribuíram diminuição da amplitude térmica na cidade à maior absorção de calor pelos materiais pétreos em ambiente urbano, onde relatam a consequência importante dos centros urbanos no clima.

CONCLUSÃO

As temperaturas noturnas e médias do dia tendem a aumentar no ambiente de fazenda. Enquanto que, na cidade, apenas a temperatura diurna apresenta tendência de aumento.

Mesmo não havendo tendência de aumento de temperatura noturna e média diária na cidade, todas as médias mostram-se maiores na cidade quando comparadas com as da fazenda.

Finalmente, mesmo observando tendência de aumento das temperaturas nas duas localidades, cidade e fazenda, deve-se tomar cautela ao excluir o efeito antropogênico na tendência de aquecimento nestes ambientes, havendo necessidade de mais estudos com maiores séries climatológicas para confirmar tal efeito.

REFERÊNCIAS

ABREU, M. L. Climatologia da Estação Chuvosa de Minas Gerais: de Nímer (1977) à Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Revista Geonomos**, v. 4, n. 2. 1998. <https://doi.org/10.18285/geonomos.v6i2.166>

BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 5, p. 717-726, maio 2001. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000500001>

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; DIAS, M. A. F. S.; SILVA, M. G. A. J. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos. 2009.

CHMIELEWSKI, F. M.; MULLER, A.; BRUNS, E. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crop in Germany, 1961-2000. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.121, p. 69-78. 2004. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(03\)00161-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(03)00161-8)

CHUNG, Y. S. & YOON, M. B. Interpretation of recent temperature and precipitation trends observed in Korea. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 67, p. 171-180. 2000. <https://doi.org/10.1007/s007040070006>

CUNHA, G. R.; FERNANDES, J. M. C.; PIRES, J. L. F.; DEL PONTE, E.; PASSINATO, A. Construindo a nossa capacidade para lidar com as mudanças climáticas globais e seus possíveis impactos na agricultura e alimentação. **Informativo Fundação Pró-sementes & Apassul**, Passo Fundo, n. 11, p. 3 – 4. 2004.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE (2018). *In.*: www.ibge.gov.br

JARDIM, C. H.; SILVA, M. R. Extremos de temperatura do ar em Belo Horizonte: variabilidade natural e influência do clima urbano. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 83-9. 2017 <https://doi.org/10.11606/rdg.v01spe.118036>

MINUZZI, R. B. Tendências na variabilidade climática de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.12, p.1288–1293. 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010001200006>

PENG, S.; HUANG, J.; SHEEHY, J. E.; LAZA, R. C.; VISPERAS, R. M.; ZHONG, X.; CENTENO, G. S.; KHUSH, G. S.; CASSMAN, K. G. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. **National Academy of Sciences of the USA**, Washington, D.C., v.101, n. 27, p. 9971-9975, jul. 2004. <https://doi.org/10.1073/pnas.0403720101>

PEREIRA, P. MORAIS, L. Clima urbano e evolução da temperatura estival em Lisboa no século XX. Tendência, número de noites quentes e amplitude térmica diária. **Finisterra**, XLII, v. 83, p. 109-126. 2007.

PETRUCCI, E. **Características do clima de Uberlândia-MG**: análise da temperatura, precipitação e umidade relativa. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia. 2018.

SILVA, M. I. S.; GUIMARÃES, E. C.; TAVARES, M. Previsão da temperatura média mensal de Uberlândia, MG, com modelos de séries temporais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 2008.

SILVA, G. B. **Impacto das mudanças climáticas na produção das culturas de algodão e mamona e implicações na sustentabilidade do estado da Bahia**. 2009. Tese (Doutorado) - Campina Grande, 2009.

SILVA, W. L.;DERECZYNSKI, C.; CHANG, M.; FREITAS, M.; MACHADO, B. J.; TRISTÃO, L.; RUGGERI, J. Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 2, 181 – 194.2015. <https://doi.org/10.1590/0102-778620130622>

SIQUEIRA, O. J. W.; STEINMETZ, S.; FERREIRA, M. F.; COSTA, A. C.; WOZNIAK, M. A. Mudanças climáticas projetadas através dos modelos GISS e reflexos na produção agrícola brasileira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 311-320. 2000.

SIQUEIRA, O. J. Efeitos Potenciais das Mudanças Climáticas na Agricultura Brasileira e Estratégias Adaptativas para Algumas Culturas. *In*: LIMA, M. A. DE, CABRAL, O. M. R., MIGUEZ, J. D. G. (ed.). **Mudanças Climáticas Globais e a Agropecuária Brasileira**. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, 2001.

VILANOVA, S. R. F. & MAITELLI, G. T. A importância da conservação de áreas verdes remanescentes no centro político administrativo de Cuiabá –MT. *UNICIÊNCIAS*, v.13.2009.

WENG, Q. Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 69, p. 555-566. 2003. <https://doi.org/10.14358/PERS.69.5.555>

CAPÍTULO II

RESUMO

CLEMENTE, MARINA ALVES. **Aumento da temperatura do ar noturna e do déficit hídrico em genótipos de algodoeiro. 2019. 70p. Tese** (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

O aquecimento global tem provocado um aumento nas temperaturas do ar noturnas e variações nas precipitações pluviais. Essas modificações podem interferir no crescimento, desenvolvimento e produção das culturas agrícolas. O objetivo com este trabalho foi avaliar a influência do aumento da temperatura do ar noturna e do déficit hídrico na fisiologia do algodoeiro durante a fase reprodutiva de diferentes genótipos, a fim de determinar qual possui melhor adaptação. O experimento foi implantado em casa de vegetação na fazenda experimental Capim Branco da Universidade Federal de Uberlândia – UFU, de Setembro a Dezembro de 2017. Para a elevação da temperatura do ar noturna utilizou-se manta térmica entre os vasos, com aumento da temperatura de 20h às 00h, durante duas semanas. A imposição do déficit hídrico foi a partir do florescimento e permaneceu por duas semanas, no mesmo momento do aumento da temperatura do ar. O experimento denotou-se de um delineamento em blocos casualizados, com três fatores - duas temperaturas, dois níveis de irrigação e cinco genótipos de algodão (UFUJP-E; UFUJP-M; UFUJP-Z; UFUJP-H e FM-966), com quatro blocos. A análise estatística foi realizada por meio de análise conjunta. As avaliações consistiram na medição do potencial hídrico do xilema (MPa), taxa de respiração celular ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e contagem de botões florais e flores. Os genótipos de algodão não tiveram influência do aumento da temperatura do ar noturna e do déficit hídrico na taxa de respiração foliar. Em relação ao potencial hídrico do xilema, o genótipo UFUJP-E não sofreu influência do aumento de temperatura noturna nem do déficit hídrico. O genótipo UFUJP-H apresentou potencial hídrico mais negativo no tratamento com aumento da temperatura noturna e sem déficit e o UFUJP-Z mostrou-se com potencial hídrico mais negativo sob temperatura normal e déficit hídrico. O déficit hídrico interferiu no pegamento de botões florais e flores para o genótipo UFUJP-H, com diferente comportamento para o genótipo UFUJP-Z, o que pode demonstrar que esse genótipo é mais tolerante quando submetido ao estresse hídrico.

Palavras-chave: adaptação, *Gossypium hirsutum*, mudanças climáticas, seca.

ABSTRACT

CLEMENTE, MARINA ALVES. **Impact of the increase of the nocturnal air temperature and of the water deficit in cotton genotypes. 2019. 70p.** Thesis (Doctorate in Agronomy/Phytotechnology) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

Global warming has led to an increase in nocturnal air temperatures and variations in rainfall that can interfere with the growth, development, and production of agricultural crops. Thus, the objective of this work was to evaluate the influence of the increase of the nocturnal air temperature, and the water deficit in the physiology of the cotton during the reproductive phase of different genotypes in order to determine which one has the best adaptation in these conditions. The experiment was carried out in a greenhouse at the Capim Branco experimental farm of the Federal University of Uberlândia - UFU, from September to December 2017. For the increase of the nocturnal air temperature, a thermal blanket was used between the vessels, increasing the temperature from 8 p.m. to 12 a.m., for two weeks. The placing of the water deficit began with the flowering and remained for two weeks, at the same time as the air temperature was increased. The experiment was a randomized block design with three factors: two temperatures, two irrigation levels and five cotton genotypes (UFUJP-E, UFUJP-M, UFUJP-Z, UFUJP-H, and FM-966) with four blocks. Statistical analysis was performed by means of joint evaluation. The analysis consisted of measuring the water potential of the xylem (MPa), cellular respiration rate ($\text{CO}_2 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) and counting flower buds and flowers. The cotton genotypes were not influenced by the increase in the nocturnal air temperature and the water deficit in the foliar respiration rate. In relation to the water potential of the xylem, the UFUJP-E genotype was not influenced by the increase in nocturnal temperature or water deficit. The UFUJP-H genotype presented more negative water potential in the treatment with an increase in the nocturnal air temperature and no deficit, and the UFUJP-Z showed the most negative water potential under normal temperature and water deficit. The water deficit interfered in the picking of flower buds and flowers for the UFUJP-H genotype, with different behavior for the UFUJP-Z genotype, which may demonstrate that this genotype is more tolerant when subjected to hydrous stress.

Keywords: adaptation, cotton, *Gossypium hirsutum*, climatic changes, drought.

1. INTRODUÇÃO

De todas as atividades econômicas, a agricultura é, naturalmente, a mais dependente do clima e, conseqüentemente, a mais sensível a sua mudança (Sentelhas et al., 2007). Pinto (2008) concluiu que o aquecimento global pode arriscar a produção de algodão no Brasil, se medidas mitigadoras ou ajustes não forem feitos. Estima-se um aumento de temperatura do ar em cerca de 5°C (COP 21, 2015). O aumento das temperaturas globais e aparecimentos frequentes de extremos de temperatura será o maior desafio da agricultura neste século (Ainsworth & Ort, 2010).

A temperatura é um sinal ambiental chave que regula o crescimento e desenvolvimento das plantas. Pequenas mudanças na temperatura ambiente podem afetar uma ampla gama de processos no ciclo de vida da planta, desde a germinação de sementes e arquitetura até a floração e desenvolvimento reprodutivo (Franklin & Wigge, 2014).

No Brasil, as mudanças climáticas podem provocar impactos no regime de chuvas e temperatura, alterando os balanços hídricos e de energia em diversas regiões do país. Grande parte dos países já enfrentam períodos incertos e irregulares de chuvas e as previsões para o futuro indicam que as mudanças climáticas vão tornar a oferta de água cada vez menos previsível e confiável (Marengo, 2008).

Segundo Mollo (2009), a temperatura exerce grande influência em todas as atividades fisiológicas das plantas, por controlar as taxas das reações metabólicas nas células. O calor acelera o movimento das moléculas, enfraquece as ligações entre elas e tornam as camadas lipídicas das biomembranas mais fluidas. Temperaturas crescentes induzem ao aumento da taxa de fotossíntese. Porém, sob temperaturas muito elevadas essa relação inverte (Monteiro, 2009).

Segundo Franklin & Wigge (2014), modelos climáticos globais preveem que é esperada uma taxa mais rápida do aumento das temperaturas noturnas do que das diurnas. Eles observaram que a elevação da temperatura noturna provoca um efeito negativo mais pronunciado que as temperaturas diurnas na produção de arroz, com uma redução de 10% no rendimento a cada aumento de 1°C na temperatura noturna.

Estudos mostram os efeitos negativos da alta temperatura noturna na produção do algodão, com aumento significativo da taxa de respiração (Loka & Oosterhuis, 2010); baixa produção de sementes, redução do número de sementes por capulho e número de fibras por semente (Soliz et al., 2008); dreno de carboidratos para realização da

respiração, provocando menor produção de sementes por capulho e queda de capulhos menores, além da esterilidade do pólen (Silvertooth, 1990); redução da biomassa e do comprimento das fibras (Lokhande&Reddy, 2014).

O algodoeiro é uma cultura originalmente de áreas quentes (Riaz et al., 2013). As plantas de algodão possuem mecanismos de termotolerância podendo amortecer os efeitos do estresse provocados por curtos períodos de alta temperatura (Farooq et al., 2015). Porém, com o processo de melhoramento visando à produtividade, provocou a redução dessa tolerância (Brown & Oosterhuis, 2005).

Khan et al. (2014), em experimento para avaliar diferentes níveis de tolerância do algodão a temperaturas elevadas do ar, observaram que as setenta variedades avaliadas responderam diferentemente ao estresse de calor, o que serviria para o desenvolvimento de materiais tolerantes à alta temperatura através de melhoramento genético.

Alguns trabalhos apresentam o desenvolvimento reprodutivo possivelmente como a fase mais sensível ao estresse térmico. Snider et al. (2011) demonstraram que as estruturas reprodutivas podem apresentar temperaturas mais quentes que a do ambiente, o que pode agravar os impactos negativos da ocorrência de temperaturas altas durante a fase de frutificação do algodoeiro. Locklande & Reddy (2014) constataram redução do número e peso de semente com a elevação da temperatura do ar e Pettigrew (2008) obteve rendimento 10% inferior em temperaturas mais elevadas.

Segundo o último relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2018), modelos climáticos indicam que além do aquecimento global, provavelmente ocorrerá também alterações no regime pluviométrico em diversas regiões resultando na ocorrência de eventos extremos mais frequentes, como os déficits hídricos severos.

O estresse por deficiência hídrica no algodoeiro pode levar à diminuição do número de estruturas reprodutivas, da altura das plantas, do número de capulhos por plantas, rendimento de fibra, produtividade de algodão em caroço e, conseqüentemente, da produtividade (Batista, 2010). Krieg (1997) relatou que o florescimento é o período de desenvolvimento mais crítico em termos de abastecimento de água, afetando o crescimento de algodão e, posteriormente, o rendimento e seus componentes.

Nesse cenário, torna-se importante selecionar cultivares modernas adaptadas às mudanças das condições ambientais (FitzSimons & Oosterhuis, 2012), principalmente à elevação da temperatura noturna do ar e ao déficit hídrico, mostrando a importância de

realizar trabalhos para conhecer os genótipos com maior tolerância a esses efeitos. Assim, o objetivo com este trabalho foi avaliar a influência do aumento da temperatura noturna do ar e do déficit hídrico na fisiologia do algodoeiro durante a fase reprodutiva de diferentes genótipos, a fim de determinar qual possui melhor adaptação nessas condições.

2.MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local e instalação do experimento

O experimento foi implantado em casa de vegetação, localizada na fazenda experimental Capim Branco (18,88° S, 48,34° W, 900m de altitude), pertencente ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). A casa de vegetação possui 22 m de comprimento por 6 m de largura. No seu interior há cinco bancadas de 18 x 0,8 m com 1 m de altura.

Inicialmente, realizou-se análise do solo no Laboratório de Fertilidade da UFU. A análise química resultou em: pH 5,4; teor de fósforo = 0,8 mg dm⁻³; teor de potássio = 27 mg dm⁻³; teor de cálcio = 0,7 cmol_c dm⁻³; teor de magnésio = 0,2 cmol_c dm⁻³; saturação por bases 31%.

Os vasos foram preenchidos com uma mistura de terra e areia fina, na proporção de 8:2. Após a mistura, os vasos foram cheios com ajuda de pá e pesados para que todos contivessem a mesma massa de solo, com aproximadamente 8 kg cada um. A semeadura foi realizada em Setembro de 2017, diretamente em vasos plásticos com volume de 8,14 dm³, sendo cinco sementes por vaso (Figura 1), com posterior desbaste em Outubro de 2017, mantendo duas plantas por vaso. As práticas culturais, como controle de pragas, doenças e adubação foram feitas de acordo com o recomendado para a cultura do algodoeiro. O controle de ácaro foi feito com a aplicação de inseticida/acaricida (*abamectina*). As adubações de cobertura nos vasos foram feitas com o fertilizante NPK de formulação 20-05-20, na quantidade de 7g por vaso a cada decêndio, segundo Ribeiro (1999).



FIGURA 1. Vasos preenchidos com solo e plantas de algodão antes do desbaste.

Foram estudados cinco genótipos de algodão, quatro provenientes do Programa de Melhoramento Genético do Algodoeiro (PROMALG), da Universidade Federal de Uberlândia, sendo eles: UFUJP-E; UFUJP-M; UFUJP-Z e UFUJP-H, oriundos de duas espécies de algodoeiro; e o FM-966 pertencente à empresa Bayer.

Da sementeira até o início dos tratamentos, as irrigações foram realizadas de forma igual em todas as parcelas, de modo a garantir o pleno estabelecimento das plantas. O sistema de irrigação foi por gotejamento controlado eletronicamente (“*timer*”) que permite a automação dos horários das irrigações. Os gotejadores apresentaram vazão média de $7,2 \text{ L h}^{-1}$.

Para monitorar as irrigações, utilizou-se o método da tensiometria. Foram utilizados tensiômetros de 20 cm de comprimento em um vaso de cada repetição, para o acompanhamento da tensão de água no substrato. As leituras da tensão foram feitas diariamente, através de tensímetro.

2.3 Tratamentos

Os tratamentos (elevação da temperatura do ar noturna e déficit hídrico) foram impostos a partir do florescimento, em Novembro de 2017, quando 90% das plantas se encontravam na fase reprodutiva, e permaneceu por 15 dias.

Tratamento 1: Temperatura noturna elevada (temperatura ambiente + 1,5°C) (TN+1,5°C) e sem déficit hídrico (SDH).

Tratamento 2: Temperatura noturna ambiente (TN) e sem déficit hídrico (Controle).

Tratamento 3: Temperatura noturna ambiente (TN) com déficit hídrico (CDH).

Tratamento 4: Temperatura noturna elevada (temperatura ambiente + 1,5°C) (TN+1,5°C) e com déficit hídrico (CDH).

2.2.1 Elevação da temperatura do ar noturna

A elevação da temperatura do ar noturna iniciou-se no início do florescimento, das 20h às 00h, por 15 dias.

Para a manipulação da temperatura, utilizou-se manta térmica prensada elétrica (StyllusTerm, Styllus), com dimensões de 1,70 m x 1,80 m. O sistema resistivo da manta térmica é composto por fio de níquel cromo bobinado em fio de fibra sintética de aramida, revestido de uma camada isolante de silicone que pode suportar uma temperatura de, aproximadamente, 80°C, segundo o fabricante. O sistema possuía a proteção de um termostato, que desligaria o aparelho se a temperatura na resistência atingisse aproximadamente 80°C (correspondente a uma temperatura na superfície externa da manta de 55 a 60 °C). Essa proteção foi retirada e as mantas foram ligadas diretamente ao sistema coletor de dados – *datalogger* (CR 200X, Campbell Scientific). Esse coletor foi programado para acionar e desligar a manta quando a temperatura atingisse aproximadamente 1,5°C acima da temperatura ambiente.

As mantas térmicas foram colocadas enroladas entre os vasos, para que não houvesse sombreamento nas plantas (Figura 2). Para o monitoramento da temperatura, utilizaram-se três sensores (termopares), o primeiro colocado no ambiente, o segundo inserido no dossel da planta e o terceiro na manta térmica (Figuras 3 e 4). Dessa forma, o *datalogger* registrava a temperatura dos três sensores, mantendo a temperatura do dossel 1,5°C, aproximadamente, acima da temperatura ambiente (Figura 5).



FIGURA 2. Manta térmica entre os vasos.



FIGURA 3. Sensor de temperatura no dossel das plantas.



FIGURA 4. Sensor de temperatura instalado na manta térmica.

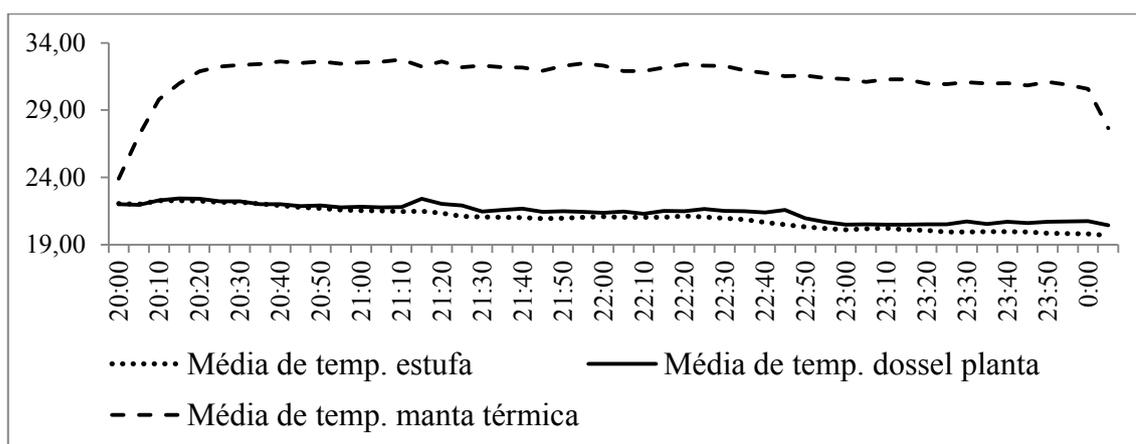


FIGURA 5. Médias das temperaturas (°C) registradas pelo *datalogger* no ambiente da casa de vegetação, no dossel da planta e na manta térmica, a cada cinco minutos durante os 15 dias de tratamento.

Foram utilizadas quatro mantas térmicas, duas em cada bancada. Cada manta forneceu temperatura a dez vasos (cinco de cada lado). Cada um desses cinco vasos correspondeu a um genótipo.

2.2.2 Déficit hídrico

O déficit hídrico (DH) foi induzido pela interrupção das irrigações na bancada com esse tratamento, baseados em avaliações de tensão de água no vaso, mantendo-se uma tensão de 30 a 50kPa para o tratamento controle. No tratamento com DH, a quantidade de água aplicada correspondeu à metade do nível controle.

2.3 Avaliações

As avaliações no decorrer do ensaio foram realizadas na fase reprodutiva (a partir do florescimento, até o enchimento dos capulhos) do algodoeiro e consistiram em determinar a taxa de respiração foliar noturna e potencial hídrico, o número de botões florais e número de flores. Os caracteres fisiológicos foram medidos mediante aparelhos específicos, sendo eles:

Potencial hídrico (Ψ): o potencial foi determinado antes do amanhecer (“*predawn*”) às $\pm 05:00$ h, na segunda semana durante a imposição dos tratamentos. Foi utilizado um pecíolo com quatro folhas completamente expandidas, retiradas aleatoriamente de duas plantas de cada tratamento, com posterior média, sendo medido por meio de uma bomba de pressão do tipo Scholander (model 3005F01; SoilMoistureEquipment Corporation, Santa Barbara, CA, USA).

Medição da taxa de respiração foliar noturna ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$): a taxa de respiração foliar foi medida com um analisador de gás infravermelho (modelo LCA-4, Analytical Development Co., Hoddesdon, Inglaterra) em uma folha do terço médio de cada repetição às 20h, em dois dias, na segunda semana com a imposição dos tratamentos.

Contagem de botões florais e flores: os botões florais e as flores foram contados a partir da segunda semana de imposição dos tratamentos. A contagem foi feita durante três semanas e três dias por semana, a fim de avaliar se houve queda dos mesmos no decorrer das semanas. A contagem foi feita em todas as plantas de cada tratamento, fazendo-se uma média posteriormente.

2.4 Análises estatísticas

O experimento denotou-se de um delineamento de blocos casualizados, com três fatores - duas temperaturas (temperatura noturna ambiente e temperatura noturna + 1,5°C), dois níveis de irrigação (com déficit hídrico e sem déficit hídrico) e cinco genótipos de algodão (UFUJP-E; UFUJP-M; UFUJP-Z; UFUJP-H e FM-966), com quatro blocos. Consistindo de vinte tratamentos e 80 parcelas. Cada parcela constituiu-se de um vaso.

Para a análise estatística, primeiramente fez-se uma análise conjunta dentro de cada regime hídrico, comparando os genótipos submetidos ao aumento da temperatura do ar noturna com aqueles em temperatura ambiente. Posteriormente, fixou-se os genótipos submetidos ao aumento de temperatura no regime de déficit hídrico e fez-se uma análise conjunta com os outros genótipos sem déficit hídrico.

Os dados de respiração foliar e potencial hídrico foram sujeitos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk e análise de variância pelo teste F e significância pelo teste de Tukey, sendo para isso utilizado o software SISVAR.

Para as variáveis número de botões florais e flores, utilizou-se coeficientes de correlação de Spearman que variam de -1 a 1. Valores mais próximos desses extremos indicam maior associação entre as variáveis. Foram estimadas correlações de Spearman utilizando o pacote estatístico do SAS 9.0 (SAS Inst. Inc., Cary, NC), sendo os resultados considerados estatisticamente significativos quando $P < 0,05$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Respiração foliar

A taxa de respiração foliar não diferiu entre os tratamentos, assim como para as suas interações ($P>0,05$) (Tabela 1).

TABELA 1. Médias da taxa de respiração foliar ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) dos diferentes genótipos de algodão submetidos a diferentes tratamentos hídricos e de temperatura do ar noturna.

Cultivares	TN+1,5°C/SDH	TN/SDH	TN/CDH	TN+1,5°C/CDH	Médias
UFUJP-M	-1,10	-1,86	-2,60	-1,98	-1,88 ^{ns}
UFUJP-H	-1,77	-1,44	-2,08	-1,65	-1,72 ^{ns}
UFUJP-Z	-1,64	-2,47	-2,03	-1,97	-2,03 ^{ns}
FM-966	-2,49	-2,12	-2,27	-1,86	-2,18 ^{ns}
UFUJP-E	-1,93	-1,49	-1,60	-1,84	-1,71 ^{ns}
Médias	-1,78 ^{ns}	-1,87 ^{ns}	-2,11 ^{ns}	-1,86 ^{ns}	

^{ns}Não significativo pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

TN+1,5°C/SDH: Temperatura noturna elevada (temperatura ambiente + 1,5°C) e sem déficit hídrico.

TN/SDH(Controle): Temperatura noturna ambiente e sem déficit hídrico.

TN/CDH: Temperatura noturna ambiente e com déficit hídrico.

TN+1,5°C/CDH: Temperatura noturna elevada (temperatura ambiente + 1,5°C) e com déficit hídrico.

A respiração de manutenção é o componente mais sensível às mudanças de temperatura (Xu et al., 2005). Segundo Farooq et al. (2015), o aquecimento noturno pode resultar um aumento da respiração foliar, de modo que o conteúdo dos carboidratos torna-se reduzido. E uma maior capacidade fotossintética está associada a menor concentração de carboidratos nas folhas no dia seguinte a noites mais quentes. Porém, de acordo com esses autores, as plantas de algodão possuem mecanismos de termotolerância podendo amortecer os efeitos do estresse provocados por curtos períodos de alta temperatura. Dessa forma, os genótipos estudados apresentaram-se mais tolerantes a essa temperatura e não houve muita diversidade genética entre eles.

Loka & Oosterhuis (2010), encontraram resultados semelhantes ao presente trabalho quando avaliaram o efeito do aumento de temperatura noturna na primeira semana de implantação dos tratamentos. Porém, quando avaliaram na segunda e na quarta semana observaram diferença em relação ao controle, sendo a taxa de respiração

maior sob altas temperaturas. Segundo esses autores, altas temperaturas noturnas são consideradas um dos principais fatores ambientais que contribuem para a redução do rendimento do algodão e isso foi atribuído a um efeito negativo na respiração e nos carboidratos acumulados.

Diferente do encontrado nesse trabalho, Glaubitz et al. (2014), observaram aumento da respiração em plantas de arroz sob altas temperaturas noturnas em comparação com as condições de controle, sendo que, após 41 dias sob temperaturas elevadas, essa taxa dobrou. Os autores afirmaram que o aumento da taxa de respiração nas cultivares sensíveis é a primeira consequência do efeito de temperaturas noturnas mais elevadas.

Frantz et al. (2004) encontraram maior taxa respiratória em alface, tomate e soja (2%; 2,7% e 4%, respectivamente) a cada aumento de 1°C na temperatura noturna do ar, após 13 dias de imposição dos tratamentos.

Outros trabalhos encontraram maiores taxas de respiração sob condições de temperatura noturna elevada, no arroz (Cheng et al. 2009; Kanno et al. 2009; Mohammed & Tarpley, 2009), girassol e sorgo (Manunta & Kirkham, 1996).

3.2 Potencial hídrico do xilema

Ao se avaliar o potencial hídrico do xilema, observou interação significativa entre os tratamentos e genótipos estudados ($P < 0,05$). Com exceção do UFUJP-E, com média de -0,62 MPa, que apresentou mesmo comportamento nos diferentes tratamentos estudados (Tabela 2). No tratamento apenas com déficit hídrico, os genótipos UFUJP-M e FM-966 obtiveram maior potencial (menos negativo), o que mostra que conseguiram manter o estado hídrico mesmo na condição de déficit.

TABELA 2. Potencial hídrico (MPa) dos diferentes genótipos de algodão submetidos a diferentes tratamentos hídricos e de temperatura do ar noturna.

Cultivares	TN+1,5°C/SDH	TN/SDH	TN/CDH	TN+1,5°C/CDH
UFUPJ-M	-0,80bA	-0,29 aA	-0,51 aA	-0,77bA
UFUJP-H	-1,24 cB	-0,46 aA	-0,72 bAB	-0,73 bA
UFUJP-Z	-0,60abA	-0,44 aA	-0,90cB	-0,70bcA
FM-966	-0,82 bA	-0,54 aA	-0,58 aA	-0,63 abA
UFUJP-E	-0,70aA	-0,51 aA	-0,67 aAB	-0,63 aA

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

TN+1,5°C/SDH: Temperatura noturna elevada (temperatura ambiente + 1,5°C) e sem déficit hídrico.

TN/SDH(Controle): Temperatura noturna ambiente e sem déficit hídrico.

TN/CDH: Temperatura noturna ambiente e com déficit hídrico.

TN+1,5°C/CDH: Temperatura noturna elevada (temperatura ambiente + 1,5°C) e com déficit hídrico.

Ao avaliar cada genótipo entre os tratamentos, o UFUJP-M mostrou maior sensibilidade à temperatura noturna elevada independente do déficit hídrico, -0,80 e -0,77 MPa, respectivamente. Os genótipos FM-966 e UFUJP-H apresentaram maior sensibilidade no tratamento com temperatura noturna elevada e sem déficit hídrico, -0,82 e -1,24 MPa, respectivamente. Já o genótipo UFUJP-Z foi mais sensível nos tratamentos com déficit hídrico, independente das temperaturas do ar, -0,90 e -0,70 MPa.

Argyrokastritis et al. (2015), em experimento para determinar o estado da água na cultura do algodão, observaram alta dependência do potencial hídrico das plantas aos regimes de irrigação testados. O potencial das plantas estressadas foi significativamente menor que o das plantas com irrigação normal, alcançando valores mínimos entre -2,18 e -2,31 MPa. O que também foi observado no presente estudo para o genótipo UFUJP-Z que apresentou maior sensibilidade nos tratamentos com déficit de irrigação.

O UFUJP-Z teve potencial 17% mais negativo no tratamento com elevação de temperatura noturna e com déficit hídrico em relação ao tratamento com mesma temperatura e sem déficit. Já nos tratamentos com temperatura noturna normal e diferentes níveis de irrigação, o potencial foi 104,5% mais negativo com déficit. Petigrew (2004), em experimento conduzido nos EUA a fim de avaliar o efeito do déficit hídrico na fisiologia do algodoeiro, encontrou potencial hídrico do xilema 36% mais negativo nas plantas submetidas ao déficit quando comparadas com aquelas sob irrigação normal.

Papastylianou & Argyroskastritis (2014) realizaram experimento em campo em Atenas durante dois anos para determinar o efeito do estresse hídrico na cultura do algodão e encontraram redução significativa do potencial hídrico do xilema em plantas submetidas a estresse hídrico. O que também se observou no comportamento dos genótipos UFUJP-Z e UFUJP-H.

Em experimento conduzido por Banon et al. (2003), onde avaliaram os efeitos do déficit hídrico e aumento de temperatura noturna em plantas de lotus, observaram decréscimo de potencial hídrico no tratamento com déficit e aumento de temperatura noturna. O mesmo comportamento foi observado nesse estudo para o genótipo UFUJP-M onde o potencial foi mais negativo nos ambientes com aumento de temperatura noturna.

Xu & Zhou (2005), em experimento a fim de avaliar os efeitos do déficit hídrico e aumento de temperatura noturna em *Leymus chinensis* (Centeio Chinês), observaram interação entre essas variáveis no conteúdo relativo de água na folha. Enquanto o estresse hídrico leve aumentou ligeiramente o conteúdo de água nas duas temperaturas avaliadas, o estresse hídrico moderado diminuiu esse teor em ambiente com aumento de temperatura noturna. Estresses hídricos severos e muito severos tiveram efeito negativo no conteúdo de água nas folhas a 30/25 °C em comparação com 30/20 °C.

O potencial hídrico do xilema é considerado um indicador confiável do balanço hídrico da planta (Karamanos, 2003). As interações entre temperatura noturna do ar e o teor de água do solo precisam ser entendidas para desenvolver uma adaptação efetiva das práticas agrônômicas em resposta às mudanças climáticas (Jerry & Prueger, 2015).

Ao se avaliar cada tratamento entre os genótipos, observou-se que, com o aumento da temperatura noturna do ar sem déficit hídrico, o genótipo UFUJP-H apresentou potencial hídrico mais negativo (-1,24 MPa). No tratamento com temperatura noturna normal com déficit hídrico, o genótipo UFUJP-Z mostrou potencial hídrico mais negativo (-0,90 MPa). Nos outros dois tratamentos não foram observadas diferenças de potencial entre os genótipos estudados.

3.3 Número de botões florais e flores

O número de botões florais e flores apresentou significância apenas para os genótipos UFUJP-Z e UFUJP-H.

Em relação aos efeitos dos tratamentos na formação de botões florais e flores, observou correlação negativa ($P < 0,05$) para o genótipo UFUJP-H na resposta da

quantidade de botões florais, na segunda semana de avaliação (Figura 6). À medida que o potencial hídrico do xilema se tornou mais negativo, menor foi a quantidade de botões florais.

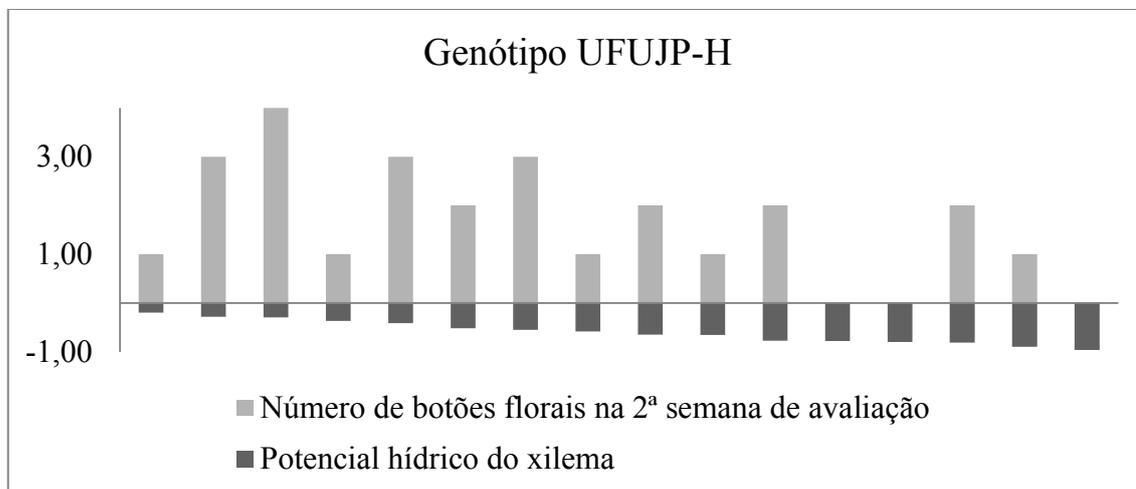


FIGURA 6. Correlação entre número de botões florais, na segunda semana de avaliação, e potencial hídrico do xilema (MPa).

Porém, notou-se comportamento diferente para o genótipo UFUJP-Z, sendo que, na primeira semana de avaliação, os botões florais aumentaram quando o potencial hídrico aumentou (Figura 7) e, na segunda e terceira semana de avaliação, a correlação não apresentou significância ($P > 0,05$), o que mostra que esse genótipo pode ser mais tolerante quando submetido ao déficit hídrico.

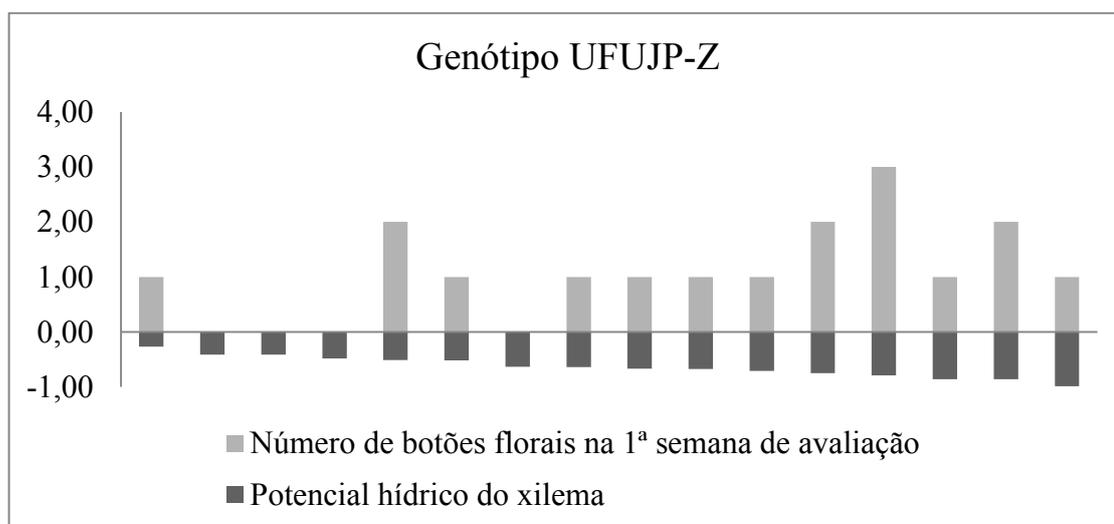


FIGURA 7. Correlação entre número de botões florais, na primeira semana de avaliação, e potencial hídrico do xilema (MPa).

No entanto, ao se avaliar o comportamento do genótipo UFUJP- Z, em relação ao aumento da respiração, observou decréscimo da quantidade de botões, no decorrer das semanas de avaliação (Figura 8).

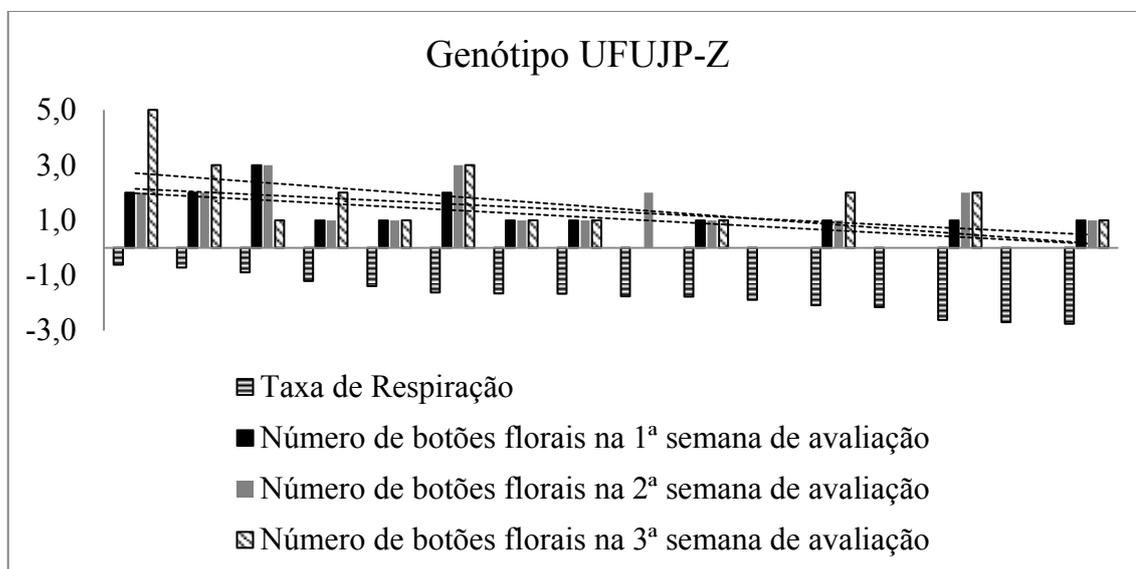


FIGURA 8. Correlação entre respiração foliar e número de botões florais, na terceira semana de avaliação.

Vários estudos referentes aos impactos da irrigação deficitária no crescimento e produção de algodão mostraram que 20 a 25% de desvio do nível de irrigação total não afetou significativamente o rendimento de algodão (Wanjura et al., 2002; Ertek&Kanber, 2003; Dağdelen et al., 2006; Karam et al., 2006; Kang et al., 2012).

Yeates et al. (2014), avaliaram a variação da temperatura noturna durante o período de florescimento do algodoeiro, em dois anos agrícolas na Austrália. Os autores observaram alta correlação quadrática, onde a elevação da temperatura noturna reduziu significativamente o abortamento de flores. Além disso, temperaturas inferiores reduziram a massa de maçãs em 15%. Como resultado final, os tratamentos com maiores temperaturas noturnas proporcionaram maior produtividade final de algodão em caroço.

Reddy et al. (1992), testaram cinco regimes de temperaturas controladas (20/12, 25/17, 30/22, 35/27 e 40/32°C), em experimento conduzido no Estado do Mississippi com uma cultivar de algodão. Observaram que, sob temperaturas mais elevadas, todos os botões florais foram abortados e a temperatura de 30/22°C foi a que promoveu maior quantidade de botões e capulhos fixados nas plantas.

Segundo Barlow et al. (2015) os efeitos negativos do choque térmico de altas temperaturas nas plantas de milho na definição de grãos e na duração do período de enchimento de grãos demonstram a necessidade da compreensão da variação dessa variável ambiental no desenvolvimento das culturas. Ainda de acordo com esses autores, a expectativa de maior ocorrência de extremos de temperatura continuará a ter impactos negativos crescentes na produção das plantas.

Os efeitos da interação da temperatura com o estado da água do solo sugerem que a variação na precipitação associada a temperaturas quentes aumentaria os efeitos negativos sobre a produção de grãos. O que sugere que mais pesquisas precisam ser conduzidas para quantificar interações entre temperatura e disponibilidade de água no solo através de germoplasma dentro de uma espécie e entre espécies para determinar potenciais estratégias de adaptação para efeitos negativos de eventos extremos de temperatura (Jerry & Prueger, 2015).

McDonald & Paulsen (1997), e Machado & Paulsen (2001) relataram que alta temperatura noturna poderia aumentar os efeitos do estresse hídrico, reduzindo a produção de fotoassimilados e limitando a capacidade das plantas de se ajustarem osmoticamente ao déficit hídrico.

Uma questão importante é que, de acordo com Franklin & Wigge (2014) o efeito da alta temperatura nos processos fisiológicos e no rendimento da cultura depende da intensidade, da taxa de crescimento, e da duração da exposição da planta à alta temperatura.

CONCLUSÃO

Apesar dos genótipos de algodão estudados não sofrerem influência do aumento da temperatura noturna e déficit hídrico para a taxa de respiração foliar, todos foram sensíveis em relação ao potencial hídrico do xilema e quantidade de estruturas florais, exceto o genótipo UFUJP-E, que pode ser considerado mais adaptado por não sofrer influência do aumento da temperatura noturna e déficit hídrico.

Os genótipos UFUJP-M, UFUJP-H e FM-966 mostram-se mais sensíveis à temperatura noturna elevada, enquanto o genótipo UFUJP-Z mostra-se mais sensível em relação ao déficit hídrico, todos esses em relação ao potencial hídrico.

Mesmo que o genótipo UFUJP-Z seja sensível ao déficit hídrico quanto ao potencial, ele mantém a quantidade de estruturas florais, o que sugere uma adaptação a

esses estresses, podendo, porém, trazer prejuízos na qualidade da fibra. Dessa forma, mais estudos são necessários para avaliar a implicação desses fatores no produto final do algodoeiro.

REFERÊNCIAS

- AINSWORTH, E. A.; ORT, D. R. How do we improve crop production in a warming world? **American Society of Plant Biologists**. v. 154, n. 2, p. 526–530, 2010. <https://doi.org/10.1104/pp.110.161349>
- ARGYROKASTRITIS, I. G.; PAPASTYLIANOU, P. T.; ALEXANDRIS, S. Leaf water potential and crop water stress index variation for full and deficit irrigated cotton in Mediterranean conditions. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 4, p. 463 – 470, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.054>
- BAÑÓN, S.; OCHOA, J.; FRANCO, J. A.; SÁNCHEZ-BLANCO, M. J.; ALARCON, J. J. Influence of water deficit and low air humidity in the nursery on survival of *Rhamnus alaternus* seedlings following planting. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v.78, n. 4, p. 518-522.2003. <https://doi.org/10.1080/14620316.2003.11511657>
- BARLOW, K. M.; CHRISTY, B. P.; O'LEARY, G.J.; RIFFKIN, P.A.; NUTTALL, J.G. Simulating the impact of extreme heat and frost events on wheat crop production: a review. **Field Crops Research**, v. 171, p. 109-119. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.11.010>
- BATISTA, C. H.; AQUINO L. A.; SILVA T. R.; SILVA, H. R. F. Crescimento e produtividade da cultura do algodão em resposta a aplicação de fósforo e métodos de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 4, n. 4, p. 197–206. 2010. <https://doi.org/10.7127/rbai.v4n400035>
- BROWN, R.S.; OOSTERHUIS, D.M. High daytime temperature stress effects on the physiology of modern versus obsolete cotton cultivars. **The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology**, v. 4, p. 93-96. 2010.
- CHENG, W.; SAKAI, H.; YAGI, K. Interactions of elevated [CO₂] and night temperature on rice growth and yield. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, p.51-58. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.07.006>
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**, v. 2 - Safra 2014/2015, n. 4 - Quarto levantamento. Brasília, DF: CONAB, 2015.
- DAĞDELEN, N.; YILMAZ, E.; SEZGIN, F.; GÜRBÜZ, T. Water-yield relation and water use efficiency of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and second crop corn (*Zea mays* L.) in western Turkey. **Agricultural Water Management**, v. 82, p.63–85. 2006. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.05.006>
- ERTEK, A.; KANBER, R. Effects of different drip irrigation programs on the boll number and shedding percentage and yield of cotton. **Agricultural Water Manage**, v. 60, p. 1–11. 2003.
- FAROOQ, J.; MAHMOOD, K.; AKRAM, M.W.; REHMAN, A.U.; JAVAID, M.I.; PETRESCU-MAG, I.V.; NAWAZ, B. High temperature stress in cotton *Gossypium hirsutum* L. **Extreme Life, Biospeology & Astrobiology**, v. 7, p. 34-44. 2015.

- FITZSIMONS, T.R.; OOSTERHUIS, D. M. Acclimatization of Cotton Exposed to High-Temperature Stress. **Summaries of Arkansas Cotton Research**. 2012.
- FRANKLIN, K. A. & WIGGE, P. A. **Temperature and Plant Development**. 2014. <https://doi.org/10.1002/9781118308240>
- FRANTZ, J. M.; COMETTI, N. M.; BUGBEE, B. Night temperature has a minimal effect on respiration and growth in rapidly growing plants. **Annals of Botany**, v. 94, p. 155-166. 2004. <https://doi.org/10.1093/aob/mch122>
- GLAUBITZ, U.; LIA, X.; KÖHL, K.I.; VAN DONGEN, J. T.; HINCHA, D. K.; ZUTHER, E. Differential physiological responses of different rice (*Oryza sativa*) cultivars to elevated night temperature during vegetative growth. **Functional Plant Biology**, v. 41, p. 437–448. 2014. <https://doi.org/10.1071/FP13132>
- JERRY, L. H. & PRUEGER, J. H. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. **Weather and Climate Extremes**, v. 10, p. 4–10. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001>
- KANNO, K.; MAE, T.; MAKINO, A. High night temperature stimulates photosynthesis, biomass production and growth during the vegetative stage of rice plants. **Soil Science Plant Nutrition**, v. 55, p. 124–131. 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2008.00343.x>
- KANG, Y.; WANG, R.; WAN, S.; HU W.; JIANG, S.; LIU, S. Effects of different water levels on cotton growth and water use through drip irrigation in an arid region with saline ground water of Northwest China. **Agricultural Water Management**, v. 109, p. 117–126. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.02.013>
- KARAM, F.; LAHOUD, R.; MASAAD, R.; DACCACHE, A.; MOUNZER, O.; ROUPHAEL, Y. Water use and lint yield response of drip irrigated cotton to the length of irrigation season. **Agricultural Water Management**, v. 85, p. 287–295. 2006. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.05.003>
- KARAMANOS, A.J. Leaf water potential. *In*: STEWART, B.A.; HOWELL, T.A.; (ed.) **Encyclopedia of water science**, p. 579-587. 2003.
- KHAN, N.; AZHAR, F. M.; KHAN, A. A.; AHMAD, R. Measurement of canopy temperature for heat tolerance in upland cotton: variability and its genetic basis. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v. 51, n. 2, p. 359-365. 2014.
- KRIEG, D. Genetic and environmental factors affecting productivity of cotton. *In*: **Proceedings of Beltwide Cotton Production-Mechanization Conference**. New Orleans, LA. p. 7–10. 1997.
- LOKA, D.A.; OOSTERHUIS, D.M. Effect of high night temperatures on cotton respiration, ATP levels and carbohydrate content. **Environmental and Experimental Botany**, v. 68, p. 258–263. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.01.006>
- LOKHANDE, S.; REDDY, R. Quantifying temperature effects on cotton reproductive efficiency and fiber quality. **Agronomy Journal**, v. 106. 2014. <https://doi.org/10.2134/agronj13.0531>

- McDONALD, G. K. & PAULSEN, G. M. High temperature effects on photosynthesis and water relations of grain legumes. **Plant Soil**, v. 196, p. 47-58. 1997. <https://doi.org/10.1023/A:1004249200050>
- MACHADO, S. & PAULSEN, G. M. Combined effects of drought and high temperature on water relations of wheat and sorghum. **Plant Soil**, v. 233. 2001. <https://doi.org/10.1023/A:1010346601643>
- MANUNTA, P.; KIRKHAM, M. B. Respiration and Growth of Sorghum and Sunflower under Predicted Increased Night Temperatures. **Journal Agronomy & Crop Science**, v.176. 1996. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1996.tb00471.x>
- MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, v. 63, p. 83-96. 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200006>
- MOLLO, L. Efeito da temperatura no crescimento, no conteúdo e na composição de carboidratos não-estruturais de plantas de *Alcantarea imperialis* (Carrière) Harms (Bromeliaceae) cultivadas *in vitro*. Dissertação (Mestrado) Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo, SP.
- MOHAMMED, A. R.; TARPLEY, L. High night time temperatures affect rice productivity through altered pollen germination and spikelet fertility. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 14, p. 999-1008. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.12.003>
- MONTEIRO, B. A. **Agrometeorologia dos cultivos**: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília, DF: INMET. p.530. 2009.
- PAPASTYLIANOU P.; ARGYROKASTRITIS, I. Effect of limited drip irrigation regime on yield, yield components, and fiber quality of cotton under Mediterranean conditions. **Agricultural Water Management**, v. 142, p. 127–134. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.05.005>
- PETTIGREW, W.T. Physiological consequences of moisture deficit stress um cotton. **Crop Science**, v. 44, p. 1265-1272. 2004. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.1265>
- PETTIGREW, W.T. The Effect of higher temperatures on cotton lint yield production and fiber quality. **Crop Science**, v. 48. 2008. <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.05.0261>
- PINTO, H.S. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. Campinas: Unicamp; Brasília: Embrapa, p. 82. . 2008
- REDDY, K. R.; HODGES, H. F.; MCKINION, J. M.; WALL, G. W. Temperature Effects on Pima Cotton Growth and Development. **Agronomy Journal**, v. 84. 1992. <https://doi.org/10.2134/agronj1992.00021962008400020022x>
- RIAZ M.; FAROOQ, J.; SAKHAWAT, G.; MAHMOOD, A.; SADIQ, M.A.; YASEEN, M. Genotypic variability for root/shoot parameters under water stress in some advance lines of cotton (*Gossypium hirsutum*L.). **Genetics and Molecular Research**, v. 12, p. 552-561. 2013. <https://doi.org/10.4238/2013.February.27.4>
- SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; SANTOS, E. A. **International journal of Biometeorology**, v. 51, p. 265-273. 2007. <https://doi.org/10.1007/s00484-006-0070-7>

SILVERTOOTH, J. Physiology today newsletter of the cotton physiology education program. **National cotton council**, v.1, p. 10.1990.

SNIDER, J. L.; OOSTERHUIS, D. M.; KAWAKAMI, E. M. Diurnal pollen tube growth rate is slowed by high temperature in field-grown *Gossypium hirsutum* pistils. **Journal of Plant Physiology**, v. 168, p. 441–448. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.08.003>

SNIDER, J. L.; OOSTERHUIS, D. M. Heat stress and pollen-pistil interactions. *In*: OOSTERHUIS, D.M.; COTHREN, J. T. (ed.) Flowering and fruiting in cotton. Publ. **Cotton Foundation**, p. 59-78, Memphis. 2012.

SOLIZ, L.M.A.; OOSTERHUIS, D.M.; COKER, D.L.; BROWN, R.S. Physiological response of cotton to high night temperatures. **The americas journal oh plant science and biotechnology**, v. 2, n. 2, p. 63-68. 2008.

THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE.
IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Global warming of 1.5°C. Summary for Policymakers. Disponível em: www.ipcc.ch. 2018. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511546013.003>

WANJURA, D. F.; UPCHURCH, D. R.; MAHAN, J. R.; BURKE, J. J. Cotton yield and applied water relationships under drip irrigation. **Agricultural Water Managemant**, v. 55, p. 217–237. 2002. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(01\)00175-5](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(01)00175-5)

XU, Z. Z.; ZHOU, G. S. Effects of water stress and high nocturnal temperature on photosynthesis and nitrogen level of a perennial grass *Leymus chinensis*. **Plant and Soil** v. 269, p. 131–139. 2005. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-0397-y>

YEATES, S. Efeitos do estresse hídrico na fisiologia do algodoeiro. *In*: ECHER, F. R. (ed.). **O algodoeiro e os estresses abióticos**: temperatura, luz, água e nutrientes. Cuiabá: Instituto Mato-Grossense do Algodão - IMAmt, 2014. chapter 3, p. 63-79. 2014.