



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM



TESE DE DOUTORADO

**IRRIGAÇÃO FENOLÓGICA EM DUAS CULTIVARES DE
ALGODOEIRO HERBÁCEO**

WHÉLLYSON PEREIRA ARAÚJO

CAMPINA GRANDE - PB

Fevereiro de 2018

WHÉLLYSON PEREIRA ARAÚJO

Engenheiro Agrônomo

**IRRIGAÇÃO FENOLÓGICA EM DUAS CULTIVARES DE ALGODOEIRO
HERBÁCEO**

Trabalho de Tese apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento as exigências para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Irrigação e Drenagem.

LINHA DE PESQUISA: Manejo de Solo, Água e Planta.

ORIENTADORES:

Prof. PhD. HUGO ORLANDO CARVALLO GUERRA – UFCG/CTRN/UAEA.g.

Prof. Dr. JOÃO HENRIQUE ZONTA – EMBRAPA ALGODÃO.

CAMPINA GRANDE - PB

Fevereiro de 2018

PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE

WHÉLLYSON PEREIRA ARAÚJO

**IRRIGAÇÃO FENOLÓGICA EM DUAS CULTIVARES DE ALGODOEIRO
HERBÁCEO**

Aprovado em: 28/02/2018.

BANCA EXAMINADORA:

PARECER:

Prof. PhD. Hugo Orlando de Carvalho Guerra
- Orientador - UFCG/CTRN/UAEAg



Pesq. Dr. João Henrique Zonta
- Orientador - Embrapa Algodão



Pesq. Dr. José Rodrigues Pereira
- Examinador - Embrapa Algodão

Prof. Dr. Jorge Alves de Sousa
- Examinador - UAFM/CES/UFCG



Prof. Dr. Marcos Eric Barbosa Brito
- Examinador - NECATS/UFS

Prof. Dr. Leandro Silva do Vale
- Examinador - CESBA/UEMA

CAMPINA GRANDE - PB

Fevereiro de 2018

Dedico de maneira muito especial, aos meus pais, Josefa Pereira Cordão e Luiz Neto Araújo, aos meus irmãos, Leostenes Pereira Araújo, Woshington Luiz Pereira Araújo, Juan Willian Pereira Araújo (*in memória*) e a Luiz Henrique, pelo apoio e colaboração em todas as etapas da minha formação.

DEDICO

A minha Avó Terezinha Araújo, meus sobrinhos Juan Sobrinho, Leostenes Segundo e Tereza Raquel e a todos da “*Família Araújo e Cordão*”, sem distinção, pelos exemplos de vida que são, pela compreensão, carinho e amor dedicados e que me servem de estímulo para continuar lutando pelos meus sonhos e objetivos.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A **DEUS**, que me presenteou com a existência de todas as pessoas que me apoiaram nas conquistas já obtidas na minha vida.

À Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) pela oportunidade de realização do curso.

Ao professor Hugo Orlando Carvalho Guerra e aos pesquisadores José Rodrigues Pereira e João Henrique Zonta, por compartilharem suas experiências acadêmicas e me orientar na realização desta tese, com dedicação, a todos os seus orientandos.

Aos membros da banca examinadora por aceitarem contribuir com esta obra, de forma bastante importante.

A Capes, que me concedeu bolsa de estudos para a pesquisa, sem a qual não seria possível conclusão.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela dedicação e compromisso com a aprendizagem e crescimento dos seus orientandos. Em nome de Dona Cida, Sr. Gilson e Roberto, a minha sincera gratidão a todos os funcionários, pela atenção e dedicação que sempre tiveram conosco.

A meus familiares, sempre presentes no meu dia-a-dia minha Mãe, Josefa Cordão, e meu pai, Luiz Araújo, que me guiaram em prol da conclusão deste trabalho, a meus irmãos, Leostenes, Woshington, Juan (in memória) e Luiz Henrique, que tanto me ajudaram na jornada do ensinar-aprender a lutar por nossos ideais dos sonhos de criança, transformados em profissionais. A meus sobrinhos Juan Sobrinho, Leostenes Segundo e Tereza Raquel, por alegrarem ainda mais os nossos dias.

Aos amigos de curso Alberto Calado, Arsênio, Beijamim, Sebastião, Lenildo, Jailma, Rosinaldo, Lenildo, Antônio, Luciano Saboya, Paulo Pinto, José Rodrigues, Caetano, Cumarú, Abel, Aaron, Geovani, Lauriane, Silvanete, Sonivagner, Flavio, Maycon, Márcio e Joel pela oportunidade de unimos para compartilhar a aprendizagem e a construção de grandes amizades.

Aos meus colegas Alberto Calado e Edcarlos Pereira, pelo companheirismo e boa convivência.

Aos orientandos do Professor Marcos Eric e integrantes do grupo de pesquisa Irrigando o Semiárido, Luderlândio, Romulo, Jardel, Giuliana, Luciano Frade, Ilkelan, Eralan, Fagner, Robson, Maílson Cordão, Pedro Antônio, Izidro, Erico, Jeferson e Alberto Calado.

A todos que fazem o Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA/UFCG) campus de Pombal, por terem disponibilizado a estrutura necessária para a realização da

presente pesquisa. Em nome do Professor Marcos Eric e dos alunos Mailson, Robson e Fagner, agradeço aos professores e funcionário do referido Centro.

Nas pessoas dos Pesquisadores José Rodrigues e João Zonta, agradeço a Embrapa Algodão pelo estágio, projeto e por disponibilizar apoio para realização desta pesquisa.

CAPÍTULO I

LISTA DE TABELAS

	pg.
Tabela 1. Atributos físico-hídricos do solo da área experimental. Pombal, PB. 2015	42
Tabela 2. Atributos químicos do solo da área experimental. Pombal, PB. 2015	43
Tabela 3. Resumo da análise de variância para condutância estomática (gs) ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), fotossíntese líquida (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), eficiência instantânea no uso da água ($EiUA$) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$], concentração interna de CO_2 (Ci) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) e eficiência instantânea da carboxilação ($EiCi$) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$] aos 29, 40, 54, 62 e 100 DAG de duas cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas. Pombal, PB. 2015	51
Tabela 4. Médias da condutância estomática (gs) ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) aos 29, 40, 54, 62 e 100 DAG de duas cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas. Pombal, PB. 2015	52
Tabela 5. Médias da transpiração (E) ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) aos 29, 40, 54, 62 e 100 DAG de duas cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas. Pombal, PB. 2015	53
Tabela 6. Médias da fotossíntese líquida (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) aos 29, 40, 54, 62 e 100 DAG de duas cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas. Pombal, PB. 2015	55
Tabela 7. Médias da eficiência instantânea no uso da água ($EiUA$) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$] aos 29, 40, 54, 62 e 100 DAG de duas cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas. Pombal, PB. 2015	57
Tabela 8. Médias da concentração interna de CO_2 (Ci) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) aos 29, 40, 54, 62 e 100 DAG (dias após emergência) de duas cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas. Pombal, PB. 2015	58
Tabela 9. Médias da eficiência intrínseca da carboxilação ($EiCi$) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$] aos 29, 40, 54, 62 e 100 DAG (dias após germinação) de duas cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas. Pombal, PB. 2015	60

LISTA DE FIGURAS

	pg.
Figura 1. Umidade Relativa Máxima ($UR Max$) (%), Mínima ($UR Min$) (%) e Média ($UR Med$) (%) observadas durante os 117 dias pós germinação do algodoeiro herbáceo. Pombal, PB. 2015	46
Figura 2. Temperatura Máxima ($TMax$) ($^{\circ}\text{C}$), Mínima ($TMin$) ($^{\circ}\text{C}$) e Média ($TMed$) ($^{\circ}\text{C}$), diárias observadas durante os 117 dias pós germinação do algodoeiro herbáceo. Pombal, PB. 2015	46
Figura 3. Croqui do experimento. Pombal, PB. 2015. Legendas: P = períodos de déficit hídrico; C = cultivares	47

Figura 4. Variação do conteúdo de água do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) na camada de 0-40 cm de profundidade do solo durante 126 dias pós germinação do algodoeiro herbáceo para os diferentes tratamentos de déficit hídrico. Pombal, PB. 2015 (CC = capacidade de campo; PM = ponto de murcha)	50
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Caracterização química e classificação da água de irrigação. Pombal, PB. 2015	pg. 43
Quadro 2. Detalhamento dos tratamentos das estratégias de aplicação de déficit hídrico. Pombal, PB. 2015	49

CAPÍTULO II

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos físico-hídricos do solo da área experimental. Pombal, PB. 2015	pg. 73
Tabela 2. Atributos químicos do solo da área experimental. Pombal, PB. 2015	74
Tabela 3. Resumo da análise de variância do número de capulhos por planta (NCP_adimensional), peso médio de capulho (PMC_g), produtividade de algodão em caroço (ProdAC_kg ha ⁻¹), produtividade de algodão em pluma (ProdAP_kg ha ⁻¹), percentagem de fibra (PF %) e eficiência de uso da água (EUA_kg m ³) de duas cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas. Pombal, PB. 2015	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Umidade Relativa Máxima (<i>UR Max</i>) (%), Mínima (<i>UR Min</i>) (%) e Média (<i>UR Med</i>) (%) observadas durante os 117 dias pós germinação do algodoeiro herbáceo. Pombal, PB. 2015	pg. 77
Figura 2. Temperatura Máxima (<i>TMax</i>) (°C), Mínima (<i>TMin</i>) (°C) e Média (<i>TMed</i>) (°C), diárias observadas durante os 117 dias pós germinação do algodoeiro herbáceo. Pombal, PB. 2015	77
Figura 3. Croqui do experimento. Pombal, PB. 2015. Legendas: P = períodos de déficit hídrico; C = cultivares	78
Figura 4. Variação do conteúdo de água do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) na camada de 0-40 cm de profundidade do solo durante 126 dias pós germinação do algodoeiro herbáceo para os diferentes tratamentos de déficit hídrico. Pombal, PB. 2015 (CC = capacidade de campo; PM = ponto de murcha)	81
Figura 5. Médias do número de capulho por planta (NCP_adimensional) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015	83
Figura 6. Desdobramento (A) das cultivares dentro de cada período de déficit e (B) dos períodos de déficits dentro de cada cultivar para a variável peso médio de capulho (PMC_g). Pombal, PB, 2015	84
Figura 7. Médias da produtividade de algodão em caroço (ProdAC_kg ha ⁻¹) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015	86
Figura 8. Médias da produtividade de algodão em pluma (ProdAP_kg ha ⁻¹) do	87

algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015

Figura 9. Médias da percentagem de fibra (PF %) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015 88

Figura 10. Médias da eficiência de uso da água (EUA_kg m³) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015 89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Caracterização química e classificação da água de irrigação. Pombal, PB. 2015 pg. 74

Quadro 2. Detalhamento dos tratamentos das estratégias de aplicação de déficit hídrico. Pombal, PB. 2015 80

CAPÍTULO III

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos físico-hídricos do solo da área experimental. Pombal, PB. 2015 pg. 103

Tabela 2. Atributos químicos do solo da área experimental. Pombal, PB. 2015 104

Tabela 3. Resumo da análise de variância do comprimento (UHM_mm), uniformidade (UNF_%), índice de fibras curtas (SFI_%), resistência (STR_gf/tex⁻¹), alongamento à ruptura (ELG_%), índice micronaire (MIC_ µg/pol), maturidade (MAT_%), reflectância (Rd_%), grau de amarelo (+b) e índice de fiabilidade (CSP) da fibra de duas cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas. Pombal, PB. 2015 113

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Umidade Relativa Máxima (UR Max) (%), Mínima (UR Min) (%) e Média (UR Med) (%) observadas durante os 117 dias pós germinação do algodoeiro herbáceo. Pombal, PB. 2015 pg. 107

Figura 2. Temperatura Máxima (TMax) (°C), Mínima (TMin) (°C) e Média (TMed) (°C), diárias observadas durante os 117 dias pós germinação do algodoeiro herbáceo. Pombal, PB. 2015 107

Figura 3. Croqui do experimento. Pombal, PB. 2015. Legendas: P = períodos de déficit hídrico; C = cultivares 108

Figura 4. Variação do conteúdo de água do solo (cm³ cm⁻³) na camada de 0-40 cm de profundidade do solo durante 126 dias pós germinação do algodoeiro herbáceo para os diferentes tratamentos de déficit hídrico. Pombal, PB. 2015 (CC = capacidade de campo; PM = ponto de murcha) 111

Figura 5. Médias do comprimento da fibra (UHM) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015 114

Figura 6. Médias da uniformidade da fibra (UNF) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015 115

Figura 7. Médias do índice de fibras curtas (SFI) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015	116
Figura 8. Médias da resistência da fibra (STR) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015	117
Figura 9. Médias do alongamento à ruptura da fibra (ELG) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015	118
Figura 10. Médias do índice de micronaire da fibra (MIC) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015	119
Figura 11. Médias da maturidade da fibra (MAT) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015	120
Figura 12. Médias da reflectância da fibra (Rd) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015	121
Figura 13. Médias do grau de amarelo da fibra (+b) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015	122
Figura 14. Médias do índice de fiabilidade (CSP) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015	123

LISTA DE QUADROS

	pg.
Quadro 1. Caracterização química e classificação da água de irrigação. Pombal, PB. 2015	104
Quadro 2. Detalhamento dos tratamentos das estratégias de aplicação de déficit hídrico. Pombal, PB. 2015	110

SUMÁRIO		pg.
IRRIGAÇÃO FENOLÓGICA EM DUAS CULTIVARES DE ALGODOEIRO HERBÁCEO		
	RESUMO	xii
	ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO GERAL		14
2. OBJETIVOS		16
2.1. Objetivo Geral		16
2.2. Objetivos Específicos		16
3. REVISÃO DE LITERATURA		17
3.1. A cultura do algodoeiro e sua importância		17
3.2. Escassez e suprimento hídrico na região semiárida		28
3.3. Estresse hídrico nas fases fenológicas do algodoeiro		20
3.4. Estresse hídrico na fisiologia do algodoeiro		22
3.5. Estresse hídrico na produtividade e qualidade da fibra do algodoeiro		24
3.6. Cultivares de algodoeiro herbáceo		26
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		29
CAPÍTULO I		
Trocas gasosas em cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico		
	RESUMO	38
	ABSTRACT	39
1. INTRODUÇÃO		40
2. MATERIAL E MÉTODOS		42
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO		49
4. CONCLUSÕES		63
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		64
CAPÍTULO II		
Componentes da produção e eficiência hídrica de cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico		
	RESUMO	69
	ABSTRACT	70
1. INTRODUÇÃO		71
2. MATERIAL E MÉTODOS		73
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO		80
4. CONCLUSÕES		92
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		93
CAPÍTULO III		
Características da fibra de cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico		
	RESUMO	98
	ABSTRACT	99
1. INTRODUÇÃO		100
2. MATERIAL E MÉTODOS		103
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO		110
4. CONCLUSÕES		125
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		126

IRRIGAÇÃO FENOLÓGICA EM DUAS CULTIVARES DE ALGODOEIRO HERBÁCEO

RESUMO

O algodoeiro sempre foi uma das principais culturas comercialmente exploradas no semiárido do Nordeste brasileiro. Devido às secas que ocorrem periodicamente nesta região, faz-se necessário o uso da prática da irrigação para minimizar o efeito do déficit hídrico nesta cultura. Apesar de ser uma tolerante ao déficit hídrico no solo, o estresse hídrico em determinadas fases do ciclo do algodoeiro pode causar severos danos à cultura, afetando os processos fisiológicos e as estruturas reprodutivas, com conseqüente perda na produtividade e qualidade da fibra. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta de cultivares de algodoeiro herbáceo submetido a períodos de déficit hídrico aplicados em diferentes fases do ciclo de cultivo e seu efeito sobre as trocas gasosas, os componentes da produção, a eficiência hídrica e a qualidade da fibra. O experimento foi conduzido em condições de campo, na Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Pombal, PB. Os tratamentos foram constituídos de 6 períodos (P) de déficit hídrico (P1=tratamento irrigado durante todo o ciclo fenológico, sem déficit hídrico, P2 = déficit hídrico na fase de crescimento inicial, P3 = déficit hídrico na fase de aparecimento do primeiro botão floral, P4 = déficit hídrico na fase de aparecimento da primeira flor, P5 = déficit hídrico na fase de aparecimento da primeira maçã e P6 = déficit hídrico na fase de aparecimento do primeiro capulho) e 2 cultivares (C) de algodoeiro herbáceo (C1 = BRS 286 e C2 = BRS 336), no delineamento em blocos casualizados em parcelas subdivididas (períodos de déficit = parcelas; cultivares = subparcelas) com 4 repetições. Os dados das trocas gasosas das plantas, dos componentes da produção, eficiência hídrica e qualidade da fibra foram submetidos à análise de variância através do teste F, sendo as médias dos tratamentos dos fatores, ambos qualitativos, comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR. O déficit hídrico reduziu as trocas gasosas das plantas de algodoeiro herbáceo, principalmente a condutância estomática, transpiração e fotossíntese. As cultivares de algodoeiro BRS 286 e BRS 336 apresentaram comportamento similar nos diferentes déficits hídricos aplicados nas suas distintas fases fenológicas. As trocas gasosas do algodoeiro foram mais sensíveis à deficiência hídrica na fase de formação das maçãs e menos afetadas nas fases de crescimento inicial e botão floral. A ocorrência de déficit hídrico durante as fases de surgimento de flores e maçãs foram as mais prejudiciais aos componentes da produção, com substanciais perdas e as que ofereceram as menores eficiências do uso de água do algodoeiro. Os componentes da produção da cultivar BRS 286, perante os déficits hídricos testados, foram superiores aos obtidos na cultivar BRS 326, exceto no peso médio dos capulhos. A eficiência de uso da água pelo algodoeiro herbáceo, perante os déficits hídricos testados, foi estatisticamente igual para ambas as cultivares. Com exceção da maturidade, da refletância e do grau de amarelo da fibra, os déficits hídricos aplicados nas diferentes fases fenológicas das cultivares do algodoeiro herbáceo afetaram a qualidade da fibra. Com exceção do índice de fibras curtas, do alongamento e do índice de micronaire, o tratamento sem déficit de água promoveu os melhores valores da fibra. O algodoeiro herbáceo produziu fibras de melhor qualidade quando o déficit hídrico ocorreu nas fases de crescimento inicial e maçã. A cultivar BRS 336 do algodoeiro produziu fibras de melhor qualidade que a cultivar BRS 286, independentemente da época de aplicação do déficit hídrico. As cultivares utilizadas possuem características de fibra em conformidade com os padrões varietais e comerciais de fibra média (BRS 286) e longa (BRS 336).

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* H., estresse hídrico, trocas gasosas, componentes da produção, qualidade da fibra

PHENOLOGICAL IRRIGATION IN TWO HERBACEOUS COTTON CULTIVARS

ABSTRACT

Cotton was always one of the main commercially exploited crops in the semiarid of Brazilian Northeast. Due to the droughts that occur periodically in this region, it is necessary to use technologies such as irrigation practice to minimize the effect of water deficit on this crop. Despite being a tolerant crop to soil water deficit, water stress at certain stages of the cotton crop cycle can cause severe damage to it, affecting physiological processes and reproductive structures, with consequent loss of yield and quality of fiber. Thus, the objective of this work was to evaluate the response of upland cotton cultivars submitted to periods of water deficits applied at different stages of the crop cycle and its effect on gas exchange, production components, water efficiency and fiber quality. The experiment was conducted under field conditions, at the Federal University of Campina Grande, Pombal Campus, Paraíba State, Brazil. The treatments were formed in a split plot scheme consisting of 6 periods (P) of water deficit (P1 = treatment without deficit (control, 100% irrigated throughout the cycle), P2 = water deficit in the initial growth phase, P3 = water deficit at the onset of the first flower bud phase, P4 = water deficit at the onset of the first flower phase, P5 = water deficit at the onset of the first fruit phase, and P6 = water deficit at the onset of the first open fruit phase) and 2 upland cotton cultivars (C) (C1 = BRS 286 and C2 = BRS 336), in randomized block design, in split plots (deficit periods = plots; cultivars = subplots), with 4 replicates. Analysis of the gas exchange of the plants, production components, water efficiency and fiber quality were evaluated using the F test, being the means of the treatments, both qualitative, compared by the Tukey test at 5% probability using SISVAR statistical program. Water deficit reduced the gases exchanges of herbaceous cotton plants, mainly stomatal conductance, transpiration and photosynthesis. The cotton cultivars BRS 286 and BRS 336 presented similar behavior in the different water deficits applied in their different phenological phases. Gases exchanges were more sensitive to water deficiency during the apple formation phase and less affected in the initial growth stages and floral bud. The occurrence of water deficit during the phases of emergence of flowers and apples were the most detrimental phases to the components of cotton production, with substantial losses, and also the phases that produced the lowest water use efficiency. The components of production of the BRS 286 cultivars were higher than those found for the BRS 326 cultivar, except for the mean weight of buds. Water use efficiency of the herbaceous cotton was statistically similar in both cultivars. With the exception of maturity, reflectance and yellow degree of fiber, the water deficits applied in the different phenological phases of the herbaceous cotton cultivars affected the fiber quality. With the exception of the short fiber, elongation and micronaire index, the treatment without water deficit promoted the best fiber values. The herbaceous cotton was more tolerant to the deficit in the initial growth and apple stages. In general, cultivar BRS 336 was more tolerant to applied water deficits than cultivar BRS 286. The cultivars used have fiber characteristics in accordance with varietal and commercial standards of medium (BRS 286) and long (BRS 336) fiber.

Key words: *Gossypium hirsutum* L., water stress, gas exchange, production components, fiber quality

1. INTRODUÇÃO GERAL

Cerca de um terço da área cultivada do mundo sofre cronicamente com fornecimentos inadequados de água (MASSACCI et al., 2008), como é o caso da região do semiárido brasileiro, devido às secas que ocorrem periodicamente nesta região. Em todas as regiões agrícolas, os rendimentos das culturas de sequeiro são periodicamente reduzidos pela seca (KRAMER, 1983), e a gravidade do problema pode aumentar devido às tendências mundiais de mudanças climáticas (LE HOUEROU, 1996), acarretando baixos índices pluviométricos nos últimos cinco anos na região semiárida do Nordeste brasileiro.

A cultura do algodoeiro apresenta grande importância econômica em todo mundo, devido ao seu uso para diversas finalidades. É uma das culturas têxteis mais importantes (VASCONCELOS et al., 2018). Na safra de 2017/2018 (CONAB, 2017), aponta para crescimento na área de 11% em relação ao exercício anterior, com a área saindo de 939,1 mil hectares no ano passado, para 1.042,4 mil na safra atual, fazendo compreender a sua importância. Na Região Nordeste, segunda maior produtora do país, a tendência é de forte aumento na área plantada, atingindo 31,6% em relação ao plantio passado. Com isso, os produtores irão recuperar as áreas que deixaram de ser cultivadas com algodão e cedidas para a soja, nas duas últimas safras (CONAB, 2017), gerando emprego, renda e matéria prima para vários setores da indústria têxtil.

A região semiárida do Brasil caracteriza-se por enfrentar persistentes períodos de seca e, desta forma, uma das alternativas para o cultivo do algodão nessa região é o uso de irrigação, total ou de salvamento. Porém, devido às mudanças climáticas e a falta de políticas públicas para armazenamento de água, mesmo em áreas irrigadas, podem acontecer situações de conflitos pelo uso da água, sendo o produtor obrigado a fornecer água por irrigação para as culturas em menor quantidade que a necessária, ou muitas vezes suprimir a irrigação por um período de tempo. Os avanços na tecnologia de irrigação têm ajudado a reduzir a diferença entre o rendimento potencial e o real, mas custos de irrigação e suprimentos limitados de água restringem a irrigação em todo o mundo (LOKA et al., 2011).

A água é o fator mais limitante para o crescimento e produtividade das culturas (KRAMER, 1983), e para o algodoeiro não é diferente. Saini e Westgate (1999) afirmam que o efeito do estresse hídrico no algodoeiro depende da severidade e da duração do estresse, além do estágio de crescimento em que o estresse é imposto e do genótipo da planta.

Diversas pesquisas foram realizadas demonstrando que o estresse hídrico persistente durante o ciclo de cultivo do algodoeiro afeta seu crescimento, produtividade e qualidade das fibras (WANJURA et al. 2002; PETTIGREW, 2004; SNOWDEN et al., 2013). Porém, poucos estudos estão disponíveis na literatura, sendo ainda divergentes os resultados

existentes a respeito do efeito da ocorrência do estresse hídrico em determinadas fases específicas do ciclo de crescimento do algodoeiro.

A natureza perene e o padrão de crescimento indeterminado do algodoeiro resultam na ocorrência simultânea de diversos estágios de florescimento e frutificação, sendo que esta ambiguidade tem contribuído para esses resultados conflitantes publicados na literatura sobre qual estágio de desenvolvimento do ciclo de cultivo o algodoeiro é mais sensível ao estresse hídrico (LOKA et al., 2011).

Loka (2012) afirma que a fase de desenvolvimento reprodutivo do algodoeiro é a mais sensível ao estresse hídrico. Burke (2002) concluíram em seus estudos que a fase de desenvolvimento do pólen e crescimento do tubo polínico são altamente sensíveis aos estresses ambientais. De acordo com Reddell et al. (1987), o início do florescimento é o período mais sensível ao estresse hídrico no algodoeiro, enquanto que para Orgaz et al. (1992), o período mais sensível é durante o pico do florescimento. Por outro lado, inúmeras pesquisas como as de Radin et al. (1992), Plaut et al. (1992) e Cook & El-Zik (1993) demonstraram que o período de formação das maçãs, logo após o final do florescimento, é o mais sensível ao estresse hídrico.

Baseado nesses relatos observa-se a importância de se estudar o efeito do estresse hídrico nas diferentes fases do ciclo de cultivo, na sua fisiologia, produtividade e qualidade das fibras, visto que atualmente a indústria têxtil tem aumentado cada vez mais seu padrão de exigência em qualidade. Ainda, observa-se que em nenhuma dessas pesquisas foi quantificado o efeito do estresse hídrico na distribuição de capulhos e qualidade das fibras de diferentes cultivares sujeitas a estresse hídrico em uma determinada fase do ciclo de cultivo.

Como a seca afeta tanto o crescimento vegetativo como reprodutivo das plantas, medidas de ambos pode trazer informações úteis para o entendimento da resposta do algodoeiro durante o estresse hídrico em diferentes fases do ciclo de cultivo (SNOWDEN et al., 2014). Então conhecer qual a fase do ciclo do algodoeiro mais tolerante ao estresse hídrico pode auxiliar na tomada de decisão de se fazer irrigação com deficit hídrico controlado em algumas fases do desenvolvimento, economizando água sem perdas de produtividade e qualidade de fibra, além de auxiliar na tomada de decisão de se fazer ou não a irrigação suplementar em períodos de estiagem.

Obter cultivares de algodão herbáceo que possam suportar e recuperar-se de períodos de seca é de suma importância e necessário para minimizar as perdas de rendimentos em áreas de sequeiro e para reduzir as necessidades de água na produção irrigada. Uma compreensão da resposta de cultivares ao déficit hídrico também é importante na tentativa de modelar o crescimento de algodão e estimar as necessidades de irrigação (PACE et al., 1999).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Estudar o efeito do déficit hídrico nas diferentes fases fenológicas de cultivares de algodoeiro herbáceo.

2.2. Objetivos Específicos

Estudar o efeito do déficit hídrico nas diferentes fases do ciclo das cultivares BRS 286 (fibra média) e BRS 336 (fibra longa) de algodoeiro herbáceo sobre as características fisiológicas das plantas (trocas gasosas);

Estudar o efeito do déficit hídrico nas diferentes fases fenológicas do ciclo das cultivares BRS 286 (fibra média) e BRS 336 (fibra longa) de algodoeiro herbáceo sobre os componentes da produção e a eficiência hídrica das plantas;

Estudar o efeito do déficit hídrico nas diferentes fases do ciclo das cultivares BRS 286 (fibra média) e BRS 336 (fibra longa) de algodoeiro herbáceo sobre as características tecnológicas da fibra das plantas;

Determinar e indicar a(s) fase(s) crítica(s) do ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo para otimização e eficiência do manejo da irrigação.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. A cultura do algodoeiro e sua importância

O algodoeiro é uma planta da família Malvacea, originária do México e América Central, sendo uma das culturas mais importantes na agricultura mundial (CARVALHO et al., 2000). O algodão lidera o grupo das fibras vegetais em todo o mundo, sendo cultivado comercialmente nas regiões temperadas e tropicais de mais de 50 países. As espécies de algodão reconhecidas no mundo são cerca de 50, dentre as quais 4 são cultivadas; duas delas (*Gossypium arboreum* e *G. herbaceum*) são diploides e duas (*G. hirsutum* e *G. barbadense*) são tetraploides (KHADI et al., 2010; LACAPE et al., 2010). Em razão do melhoramento genético, as duas últimas predominam, sendo a *G. hirsutum* responsável por mais de 90% da produção mundial (ZHANG, 2008).

A cultura produz uma das mais importantes fibras têxteis do mundo, pois oferece variados produtos de utilização com grande relevância nas economias brasileiras e mundial, razão pela qual é considerada uma das plantas de mais complexo aproveitamento, que figura entre as dez maiores fontes de riqueza do agronegócio do Brasil (COSTA et al. 2005), com demanda mundial aumentando gradativamente desde a década de 1950, a um crescimento anual médio de 2% (ABRAPA, 2015).

No panorama Mundial, o Brasil tem se mantido entre os cinco maiores produtores mundiais, ao lado de países como China, Índia, EUA e Paquistão, ocupando o primeiro lugar em produtividade em sequeiro, figurando também entre os maiores exportadores mundiais, como também, entre os maiores consumidores mundiais de algodão em pluma (ABRAPA, 2018).

Atualmente, no Brasil, a cadeia produtiva da cotonicultura é modernizada, funcionando em bases empresariais, o que aumentou sua competitividade. A expectativa atual para a safra 2017/2018 é que a área brasileira atinja 1.042,4 mil hectares, representando um aumento de 11% em relação à safra anterior, com estimativa da produção mundial de pluma na safra 2016/17 de 23 milhões de toneladas e projeção para a safra 2017/18 uma produção de 25,74 milhões de toneladas. Esse resultado significaria um aumento de 11,91% na produção. Comparando-se a estimativa para a safra 2017/18 com o total produzido na safra 2015/16, que foi de 21,48 milhões de toneladas de pluma, o aumento seria de 19,81% (CONAB, 2017).

Quanto ao panorama nacional, a intenção de plantio estimada para a safra 2017/18 será de 1.690 mil toneladas de algodão, esse volume é 10,5% maior que o produzido na safra anterior, que foi de 1.529,5 mil toneladas. A Região Centro-Oeste, principal produtora da fibra, está estimada apresentar crescimento na área plantada de 3,2%, quando comparada com

o exercício anterior. Em Mato Grosso, maior produtor nacional, após a boa safra 2016/17, a tendência é de incremento de área na atual temporada. Na Região Nordeste, segunda maior produtora do país, a tendência é de forte aumento na área plantada, atingindo 31,6% em relação ao plantio passado. Com isso, os produtores irão recuperar as áreas que deixaram de ser cultivadas com algodão e cedidas para a soja, nas duas últimas safras. No Maranhão, A área plantada, nessa safra, deve totalizar 25,5 mil hectares, representando um incremento de 13,3% em relação à safra anterior, com uma estimativa de produção de 105,1 mil toneladas de algodão em caroço, confirmando-se os dados obtidos na pesquisa anterior. A Paraíba vem como quinto maior em área plantada, sem variação da safra anterior (0,4 mil hectares), produtividade variação negativa de 18,3% e produção permaneceu estável, sem variação (0,3 mil toneladas), (CONAB, 2017).

Durante décadas a cotonicultura despontou como atividade tradicional e de grande importância socioeconômica para a região semiárida do Nordeste do Brasil, devido, principalmente, ao grande contingente de mão de obra nela envolvida, direta e indiretamente, já que sua fibra, produto principal, possui cerca de 400 utilizações industriais (SOUSA JÚNIOR, 2007) e também, porque durante muito tempo, foi a principal cultura de subsistência nesta região, sendo de capital importância para a economia local, uma vez que compreendia 25% da renda agrícola e ocupava aproximadamente 60% da força de trabalho do campo (SOUZA, 1986).

Considerando a importância da cultura, é importante a racionalização dos fatores ambientais envolvidos no processo produtivo. A partir do momento em que o alto custo de produção na cotonicultura leva, até mesmo produtores estruturados e com características empresariais, a questionar a respeito do sistema de produção adotado, por causa das frequentes crises que a agricultura atual enfrenta, deve-se adotar uma política mais séria em relação à questão produtiva e tecnológica no País, além de práticas mais sustentáveis de manejo (BELTRÃO et al., 2011).

3.2. Escassez e suprimento hídrico na região semiárida

O semiárido brasileiro se estende por uma área que abrange a maior parte dos Estados da região Nordeste (86,48%), a região setentrional do Estado de Minas Gerais (11,01%) e o norte do Espírito Santo (2,51%), ocupando uma área total de 974.752,4 km² (CIRILO, 2008).

A região semiárida é caracterizada por temperatura média anual variando de 23 a 27°C, e comparada às demais regiões semiáridas do mundo, o semiárido brasileiro é um dos mais chuvosos do planeta, com precipitação média anual de 750 mm, embora em algumas áreas a precipitação média não ultrapasse os 400 mm anuais, alta insolação média anual (2800 horas

por ano), evaporação maior que 2000 mm por ano e umidade relativa do ar média em torno de 50%. O balanço de chuva *versus* evaporação é desfavorável em razão do volume de água evaporado ser cerca de três vezes o volume de água precipitado. Somente nos meses que se concentram as chuvas é que este balanço é positivo e propicia condições favoráveis para a prática da agricultura (MONTEIRO, 2007; MONTENEGRO & MONTENEGRO, 2012).

A situação se agrava expressivamente com a situação de crise hídrica atual, devido aos efeitos do clima, associados à reduzida disponibilidade, seja quantitativa ou qualitativa, de água superficial e subterrânea devido ao baixo índice pluviométrico dos últimos cinco anos, Silva & Alcântara (2009) mencionam que características climáticas e deficiência hídrica da região semiárida ainda são influenciadas por resultados das atividades predatórias, desencadeando a degradação e o empobrecimento da natureza da qual a desertificação é uma das modalidades mais impactantes. Esse fenômeno, todavia, também pode resultar de um processo de mudança climática ainda mais sério.

O regime de chuvas irregular e escasso é marcado pela concentração das precipitações em uma única estação, de apenas três meses ao ano, em anos de precipitação normal. O principal período da chuva da porção setentrional da região semiárida do Brasil se estende de fevereiro a maio (LIMA, 2011) com irregularidades distribuídas no tempo e no espaço. No estado da Paraíba não é diferente, pois desde o ano de 2012 até ultimamente enfrenta uma das maiores crises hídricas historicamente registradas no Estado.

A chuva pode representar a única fonte de realimentação da umidade do solo na região semiárida. Com a escassez hídrica dos últimos anos, a prática da irrigação aparece como alternativa eficiente para minimizar perdas no sistema de produção agrícola dessa região. Suprir a evapotranspiração da cultura com a aplicação de água de irrigação faz-se necessário sempre que a água proveniente da precipitação efetiva não for suficiente para atender à demanda hídrica das plantas e a disponibilidade de água do solo for esgotada em níveis que provocarão redução significativa de produtividade (GOMIDE & ALBUQUERQUE, 2008).

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

Os principais objetivos almejados com o uso da técnica da irrigação os quais englobam a maximização da produção, a racionalização do uso da mão de obra, energia, água e fertilizante e a aplicação correta da água, são indispensáveis para adotar o manejo correto dessa técnica (MIRANDA & PIRES, 2003) na região. Então, a quantidade de água a ser

aplicada em cada irrigação e o momento de aplicação desta água, são parâmetros governados pelas condições climáticas locais, pelo tipo de cultura e seu estágio de crescimento e desenvolvimento, pela profundidade efetiva do sistema radicular e pela capacidade de armazenamento de água no solo (GOMIDE & ALBUQUERQUE, 2008).

De modo a usar a água de forma racional nas culturas é importante definir o momento de irrigar, a quantidade e as alternativas que minimizam os efeitos da deficiência hídrica nas plantas (BONFIM et al. 2012), evitando gerar condições de estresse hídrico, características nas regiões áridas e semiáridas (CHAVES & OLIVEIRA, 2004; DUARTE et al., 2011).

Estudando a variabilidade espacial e temporal do déficit hídrico na Região Nordeste do Brasil, Silva & Alcântara (2009) apontam que possivelmente o fraco sinal positivo do LN (La Niña) não causou muita precipitação na região semiárida, provocando a ocorrência de uma grande área com déficit hídrico. Regiões abrangendo os Estados do Ceará, Piauí, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Bahia e pequenas partes de Alagoas e Sergipe, apresentaram de 80 a 90 dias de déficit hídrico. Os mesmos autores afirmam que os Estados de Pernambuco e Paraíba tiveram mais dias com déficit hídrico e maior área do Estado afetada pelo mesmo. Do ponto de vista deste parâmetro, a agricultura é uma atividade desfavorecida na região semiárida do nordeste brasileiro, a não ser por pequenos períodos do ano (partes da estação chuvosa) e em algumas áreas em que não se observa déficit hídrico (SILVA & ALCÂNTARA, 2009).

Como o recurso água nessas regiões é limitado devido à má distribuição das chuvas, na maioria das áreas cultivadas dos Estados não há suprimento adequado de água para atender as necessidades hídricas das culturas durante todo ano, interferindo no crescimento e desenvolvimento das plantas (AZEVEDO et al., 2005; FAGAN et al., 2009). Nesse cenário, evidencia-se que a irrigação é indispensável às culturas e, especificamente, a do algodoeiro, porque os cultivos são realizados tanto de sequeiro como irrigado, na maioria das vezes, na estação seca, sendo imprescindível a irrigação desde a germinação até a maturação dos frutos.

De modo geral, as inovações tecnológicas e a pesquisa são indispensáveis para enfrentar os desafios presentes quanto à disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos, visto a ampliação dos conflitos entre os usuários com consequência da vulnerabilidade que se apresenta nos sistemas hídricos da maioria dos países e nações (SALES, 2012).

3.3. Estresse hídrico nas fases fenológicas do algodoeiro

O déficit hídrico é um dos tipos de estresse abiótico mais crítico e comum que acometem as lavouras conduzidas em ambientes semiáridos. Seus efeitos são evidentes em

qualquer estágio fenológico da planta, podendo variar de acordo com a severidade e duração do estresse (FAROOQ et al., 2009).

Para se obter uma germinação de qualidade, condições favoráveis de umidade de solo, temperatura do ar e oxigênio, são fatores fundamentais. O estabelecimento das plântulas é um dos três períodos-chaves para o crescimento do algodão. Na embebição, caracterizada pela absorção de água pelas sementes, a limitação de água pode diminuir a velocidade da germinação ou até impedi-la. Assim, potenciais matriciais podem impedir a absorção de água, comprometendo a sequência de eventos do processo germinativo (TORRES et al., 1999). A seleção de genótipos resistentes ao estresse hídrico na fase de germinação pode levar à identificação e a compreensão dos mecanismos de tolerância à seca, os quais são fundamentais no desenvolvimento de novos cultivares tolerantes ao déficit hídrico (ECHER et al. 2010).

A emergência do algodoeiro em condições de campo pode durar de 4 a 10 dias após o plantio, necessitando para emergência e estabelecimento, de temperaturas do solo superiores a 20 °C e temperaturas do ar entre 25 e 30 °C (MARUR, 1993). Nessa fase, deve haver disponibilidade de água no solo ideal para germinação e estabelecimento do algodoeiro (DOOREMBOS & KASSAM, 1994), tendo em vista que a água é o fator que exerce maior influência sobre o processo de germinação de sementes (BEWLEY & BLACK, 1994).

Depois da emergência do algodoeiro, inicia-se a fase de desenvolvimento vegetativo com formação de folhas que tem como principal função a interceptação da luz solar e produção de fotoassimilados. Ao longo do crescimento, seus órgãos vegetativos competem com órgãos reprodutivos por estes fotoassimilados, além de apresentar um sistema fotossintético pouco eficiente do ponto de vista fisiológico (C₃) e uma estrutura do dossel que proporciona distribuição irregular das folhas para interceptação da luz (BELTRÃO & AZEVEDO et al., 2008). Como o crescimento é controlado pela divisão celular, seguida de sua expansão, uma quantidade de água insuficiente, que mantenha células das zonas de crescimento em condições de flacidez, reduz o coeficiente de divisão celular e mais ainda a expansão de todas as células, impedindo, assim, o crescimento vegetativo das plantas (BELTRÃO et al. 2011).

O algodoeiro necessita de uma maior quantidade de água, pouco antes e durante a fase de primeiro botão floral (REICHARDT, 1990). A deficiência hídrica reduz o desenvolvimento dessa planta, podendo até interrompê-lo, ocasiona a queda de flores e frutos e encurtamento das fibras (PASSOS et al., 1987). O déficit hídrico pode reduzir o tamanho dos botões florais, devido à menor fotossíntese. O dano ao tamanho futuro do capulho é minimizado nesse estágio porque a planta primeiramente reduzirá o crescimento vegetativo e

a produção de posições frutíferas e abortará botões pós-florescimento para preservar os assimilados para os frutos remanescentes. O estresse por déficit hídrico no pré-florescimento pode reduzir a produtividade pela menor área foliar (interceptação da radiação) e o déficit hídrico severo limitará a produção das posições frutíferas. O estresse por falta de água será mais importante durante a produção de botões florais antes do florescimento, já que a planta precisa estabelecer um dossel e um número de botões suficientes para ter um potencial produtivo alto (YEATES, 2014).

O algodoeiro é considerado uma planta muito sensível às variações do conteúdo de água do solo durante e principalmente na floração (HEARN, 1975; RAO et al., 1978). O manejo hídrico inadequado da cultura pode comprometer a sua fibra (HANSON & KNISEL, 1964; JACKSON & TILT, 1968; MARANI & AMIRAV, 1971) além de proporcionar alterações significativas na fenologia e na produção (OLIVEIRA, 1979; KARIDA & MARINATO, 1982; SOUZA, 1986; SILVA & BEZERRA, 1990). De maneira geral, o algodoeiro apresenta boa tolerância ao estresse hídrico. No entanto, pode apresentar perdas significativas na produtividade, quando o estresse hídrico ocorre na fase de floração e frutificação (AZEVEDO et al., 1993; NUNES FILHO et al., 1998).

A identificação desses eventos em cultivares se faz necessária para o avanço dos programas de melhoramento genético do algodoeiro no Brasil, pois, a manutenção dos programas de melhoramento que selecionem cultivares produtivas e adaptados às condições edafoclimáticas locais é imprescindível (AHMAD et al., 2009).

Bertini et al. (2006), estudando a diversidade genética do algodoeiro cultivado em várias regiões do Brasil, mostraram que estas cultivares apresentam limitada diversidade genética, pois muitas variedades de algodão (*G. hirsutum* var. *latifolium*) têm sido desenvolvidas a partir de cruzamentos com ancestrais próximos, obtendo apenas um limitado aumento na produtividade.

A germinação das sementes sob deficiência hídrica tem se mostrado dependente da espécie ou do cultivar, da qualidade fisiológica e do tamanho das sementes (MARTINELLI et al., 2000).

3.4. Estresse hídrico na fisiologia do algodoeiro

Dentre os fatores que afetam o crescimento, o comportamento fisiológico e a produtividade dos vegetais, pode-se destacar o estresse hídrico como um dos mais impactantes (BILIBIO et al., 2010; LIMA et al., 2012). A disponibilidade e qualidade de água afeta o crescimento e os processos fisiológicos de todas as plantas, já que a água é o componente primário do crescimento ativo das plantas, variando entre 70-90% da sua massa

fresca (GARDNER & GARDNER, 1983). Devido ao seu papel predominante no transporte de nutrientes da planta, nas reações químicas e enzimáticas, na expansão celular e na transpiração, a sua falta ou o estresse hídrico resulta em alterações anatômicas e morfológicas, bem como mudanças na fisiologia e nos processos bioquímicos, afetando diversas funções das plantas (HSIAO, 1973; KRAMER, 1980). A necessidade hídrica das culturas condiciona as atividades fisiológicas e metabólicas das plantas (BALDO et al. 2009). Quanto maior a disponibilidade de água no solo melhor a capacidade de absorção de nutrientes pelas raízes e maior a eficiência fotossintética, resultando em um máximo rendimento agrícola (AZEVEDO et al., 1993).

O déficit hídrico tem efeito em diversos processos fisiológicos das plantas, visto que o estresse geralmente aumenta a resistência difusiva ao vapor de água, mediante fechamento dos estômatos, reduzindo a transpiração e, conseqüentemente, o suprimento de CO₂ para a fotossíntese. Muitos desses efeitos refletem mecanismos de adaptação das plantas ao ambiente (NOGUEIRA, 1997).

Em resposta à falta de água, as plantas desengatilham vários eventos fisiológicos sendo mais comum o ajustamento osmótico onde elas se ajustam para manter o potencial hídrico e a turgescência das células próximos ao nível adequado. Tais processos são conseguidos por meio do acúmulo de solutos orgânicos de baixo peso molecular no citosol, destacando-se açúcares solúveis, prolina e aminoácidos livres (NEPOMUCENO et al., 2001).

A desidratação celular, consequência da redução na absorção de água, inviabiliza os processos fisiológicos que comprometem os componentes do crescimento vegetal (PÁEZ et al., 1995). A deficiência hídrica reduz a multiplicação e o alongamento celular, resultando em plantas menores, portanto, reduzindo a área foliar. A fase reprodutiva é a mais afetada, visto que há diminuição da área fotosinteticamente ativa ocasionando decréscimo na translocação de fotoassimilados às flores, causando baixa taxa de polinização e abscisão dos órgãos reprodutivos (KRAMER et al., 1995).

Quanto às relações hídricas e trocas gasosas, sabe-se que o influxo de CO₂ ocorre necessariamente através dos estômatos no processo fotossintético ocorrendo também o fluxo de água, por meio da transpiração, sendo o movimento estomático o principal mecanismo de controle das trocas gasosas nas plantas superiores. Desta forma, a disponibilidade hídrica no solo pode causar fechamento estomático limitando a condutância estomática e a transpiração, o que reduz, conseqüentemente, a taxa de fotossíntese (SILVA et al., 2010).

De acordo com Chaves & Oliveira (2004) e Flexas et al. (2004), o decréscimo da difusão de CO₂ de fora da planta para o local da carboxilação é a principal causa de redução das taxas fotossintéticas na maioria das condições de estresse. A redução da difusão de CO₂

tem sido atribuída ao fechamento estomático, à redução da condutância no mesófilo, ou a uma combinação destes fatores (FLEXAS et al., 2002; WARREN et al., 2004). De acordo com Paiva et al. (2005), o decréscimo na disponibilidade de água no solo ocasiona queda no potencial da água nas folhas das plantas, levando à perda de turgescência e à redução da condutância estomática. A redução da taxa de assimilação de CO₂ durante o estresse hídrico deve-se à redução na disponibilidade de CO₂ no interior da folha, causada pelo fechamento dos estômatos em resposta à redução da disponibilidade de água no solo. Esse aumento da resistência à difusão gasosa e a diminuição na taxa de assimilação de CO₂ determina menor perda de água por transpiração, além de poder afetar a fotossíntese.

Na maioria dos estudos com o algodoeiro, tem-se até o presente, pesquisado os efeitos do excesso ou da deficiência temporária de água no solo sem a verificação simultânea de fatores que podem interferir na capacidade dessa cultura resistir a esse tipo de estresse. Entre os fatores, destacam-se o período de duração do estresse, o estágio de desenvolvimento das plantas, a cultivar, as estratégias fisiológicas para resistência ao estresse e a aplicação ou não de bioreguladores capazes de minimizar os efeitos danosos à planta (BALDO et al. 2009). As contribuições relativas da abertura estomática e dos processos metabólicos para a diminuição da fotossíntese em plantas de algodão sob estresse ainda estão sendo estudados e debatidos (LOKA et al., 2011).

De acordo com Grimes et al. (1969), existe uma correlação positiva entre o rendimento e o número de capulhos produzidos. No entanto, as funções bioquímicas ou metabólicas que afetam a retenção do capulho não foram devidamente investigadas. Tanto a taxa como o tipo de irrigação foram mostrados afetar a produção e a retenção do capulho (DUMKA et al., 2004; WHITAKER et al., 2008; RITCHIE et al., 2009) mas as explicações fisiológicas não são claras. A maioria dos estudos têm centrado nas consequências do estresse hídrico sobre a matéria seca, o número e peso do capulho, bem como na produtividade da fibra e suas correlações para a fotossíntese foliar e nas relações hídricas das plantas, sem qualquer ênfase nos processos bioquímicos e metabólicos das próprias unidades reprodutivas.

3.5. Estresse hídrico na produtividade e qualidade da fibra do algodoeiro

O déficit hídrico nas plantas depende tanto do abastecimento de água no solo como da demanda evaporativa da atmosfera. Em geral, o estresse hídrico da planta é definido como a condição em que o potencial hídrico da planta e a turgência diminuem o suficiente para inibir a função normal das plantas (HSIAO et al., 1973).

O estresse hídrico afeta negativamente o desempenho da planta e o desenvolvimento do rendimento em todo o mundo (BOYER, 1982). O déficit hídrico reduz a expansão celular e

das folhas, o alongamento do caule e o índice de área foliar (JORDAN et al., 1970, McMICHAEL & HESKETH, 1982; TURNER et al., 1986; BALL et al., 1994; GERIK et al., 1996).

A produtividade das plantas, limitada pela água, depende da quantidade disponível desse recurso e da eficiência de uso pelo organismo. Uma planta capaz de obter mais água ou que tem maior eficiência no seu uso resistirá melhor à seca. Algumas plantas possuem adaptações, como os tipos fotossintéticos C₄ e CAM, que lhes permitem explorar ambientes mais áridos (TAIZ & ZEIGER, 2013). A deficiência hídrica é um dos mais severos estresses ambientais, com efeitos evidentes no crescimento e na produtividade vegetal, e prejudica mais que todos os outros estresses combinados, podendo ocorrer em qualquer local, mesmo em regiões úmidas (WANG et al., 2003; RAMPIONO et al., 2006).

A adequada disponibilidade hídrica concorre para aumento de produtividade e obtenção de fibra de melhor qualidade. Por outro lado, a deficiência hídrica, diminui a resistência e a finura da fibra, o diâmetro do caule, a altura de planta e, conseqüentemente, a produtividade (NUNES FILHO et al., 1998; CORDÃO SOBRINHO et al., 2007).

O rendimento da fibra é geralmente reduzido sob estresse hídrico, devido a reduzida produção de capulhos, em função principalmente da produção de menos flores e maçãs (STOCTON et al., 1961; GRIMES, 1969; GERIK et al., 1996), além do aumento das taxas de aborto de maçãs quando o estresse é severo durante a fase de crescimento reprodutivo (GRIMES & YAMADA, 1982; McMICHAEL & HESKETH, 1982; TURNER et al., 1986). Além disso, Pettigrew (2004) relata que a distribuição, tanto vertical como horizontal dos capulhos foi afetada pelo estresse hídrico, com as plantas estressadas retendo mais capulhos na primeira posição de frutificação e produzindo menos capulhos acima do nó 11 da haste principal em comparação ao controle, com este último autor especulando que a redução observada na produtividade da fibra foi devido à perda dessas posições de frutificação bem como da redução de fibra por semente.

As propriedades da fibra têm sido relatadas insensíveis ao estresse hídrico (BENNETT et al., 1967; MARANI & AMIRAV, 1971, HEARN, 1976, HEARN, 1995), a menos que o estresse de água seja muito severo. Potenciais de água na folha de -2,8 MPa tem mostrado reduzir o comprimento da fibra (BENNETT et al., 1967). Déficit de água também tem sido relatado como causa de redução significativa no micronaire (MARANI & AMIRAV, 1971; EATON & ERGLE, 1992). O período do estresse hídrico também é um fator significativo, pois Marani e Amirav (1971) mostraram que o estresse no início da floração não teve efeito sobre a qualidade da fibra; no entanto, quando o estresse ocorreu logo após a floração, diminuiu significativamente o comprimento da fibra. Uma vez que a extensão da fibra de

algodão é um processo essencialmente dependente da turgescência e do fornecimento de hidratos de carbono, as reduções na condição hídrica da planta e na fotossíntese que ocorrem sob condições de estresse hídrico resultariam em reduções no crescimento da fibra (DHINDSA et al., 1975).

No entanto, a produtividade da fibra é uma função não só da qualidade da fibra, mas também uma função do número de fibras por semente e do número de sementes por unidade de área (LEWIS et al., 2000). De acordo com Rabadia et al. (1999), existe uma forte correlação entre o teor de água da planta e o acúmulo de matéria seca na fibra e na semente em desenvolvimento, o que implica que a absorção rápida de água é necessária para apoiar o crescimento da semente. Além disso, também tem sido demonstrado que o número de óvulos não fertilizados aumenta sob condições de déficit de água levando a uma maior redução no rendimento.

3.6. Cultivares de algodoeiro herbáceo

O algodoeiro anual ou herbáceo foi introduzido na região Nordeste a partir da primeira metade do século 19 por meio de cultivares oriundas dos Estados Unidos. Essas introduções semeadas nas regiões do Litoral e do Agreste nordestino foram eliminando progressivamente os algodões denominados “rim-de-boi” (*Gossypium barbadense* var. *brasileinse*), cultivados desde o período colonial (FREIRE, 1989).

Com o surgimento do bicudo em 1983, a estratégia do programa de melhoramento foi modificada com o objetivo de desenvolver cultivares resistentes, precoces e/ou semiprecoces de frutificação concentrada, capazes de conviver com essa importante praga. Como resultado desse trabalho, foram lançadas as cultivares CNPA Precoce 1, CNPA Precoce 2 e CNPA Precoce 3, com destaque para a primeira que teve grande aceitação pelos produtores da região Nordeste, pois conseguia emitir flores suficientes para assegurar bons rendimentos em áreas atacadas pelo bicudo (FARIAS, 2005; CARVALHO, 2008). O emprego de cultivares precoces é de fundamental importância, pois possibilita uma melhor convivência com a praga do bicudo, por apresentarem rápida frutificação em relação às cultivares tardias, aumentando a probabilidade de que o nível de produtividade seja obtido antes que a densidade populacional desta praga atinja níveis de dano econômico. No entanto, o emprego de cultivares precoces apresenta algumas limitações, tais como baixa tolerância ao estresse hídrico e inferior qualidade de fibras (NAKEM et al., 1983). Neste contexto, áreas em que o fenômeno de estiagem é frequente, a distribuição de tais cultivares deve ser criteriosa (CARVALHO & MOREIRA, 1989).

A revitalização da cotonicultura no Semiárido nordestino depende, dentre outros fatores, da identificação de cultivares adaptadas à modernização dos sistemas de produção, como o cultivo do algodoeiro sob condições irrigadas (SILVA FILHO et al., 2011).

Pesquisadores como Vidal Neto & Carvalho (2006) e Freire et al. (2008) afirmam que para essas condições, a seleção de cultivares deve atender alguns requisitos dentre eles, produtividade média de algodão em caroço superior a 1.500 kg ha⁻¹, ciclo precoce (100 a 130 dias), adaptação produtiva ampla, tolerância à seca, resistência de fibras superior a 30 gf/tex, comprimento de médio a longo da fibra (30 mm a 34 mm) e finura da fibra na faixa de 3,9 a 4,2 (índice de micronaire).

Atualmente a Embrapa Algodão tem disponível, dentre muitas outras, as seguintes cultivares de fibra branca para plantio na região do Semiárido nordestino (FREIRE, 2011; MORELLO et al., 2011)

Os mecanismos de adaptação das plantas submetidas a estresses abiótico variam expressivamente em função dos genes envolvidos na rota de resistência, porém, vários autores reportam que plantas tolerantes desengatilham naturalmente processos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos, na tentativa de minimizar os efeitos causados pelo estresse (NOGUEIRA et al., 2006; AZEVEDO NETO et al., 2010; PEREIRA et al., 2012).

Cultivar BRS 286

Obtida por meio do cruzamento biparental entre as cultivares CNPA ITA 90 e CNPA 7H, ocorrido no ano 2000. Na safra 2001/2002, a partir da população segregante, empregando-se o método de seleção genealógica, obteve-se a planta selecionada CNPA BA 2000-33 em São Desidério, BA. Nas safras de 2002/2003 a 2006/2007, a linhagem foi avaliada para os caracteres agrônômicos e tecnológicos de fibras, apresentando um adequado desempenho com uma produtividade de algodão em caroço, variando de 1.000 a 2.000 kg ha⁻¹. Esta variação se deve à instabilidade climática associada à baixa adoção de tecnologias por parte dos produtores da região. A BRS 286 apresenta porte médio e baixo, atingindo entre 110 cm. A porcentagem média de fibra obtida foi de 40%. Estes valores médios são variáveis e dependem do regime pluviométrico que ocorre em cada região (SILVA FILHO et al., 2008).

Cultivar BRS 336

Obtida por meio do cruzamento triparental entre as cultivares CHACO 520, BRS ITAÚBA e DELTA OPAL. Ao empregar o método de pedigree, obteve-se a progênie CNPA BA 2005-3300, que foi avaliada como linhagem preliminar na safra 2006/2007 e como linhagem avançada na safra 2007/2008. Nas safras 2008/2009 e 2009 /2010, a linhagem final

CNPA BA 2005-3300 foi avaliada em diversas localidades do semiárido brasileiro, com destaque para os Estados da Bahia, Maranhão, Piauí e Paraíba. A cultivar BRS 336 foi avaliada para os caracteres agronômicos e tecnológicos de fibras. O potencial produtivo desta cultivar nas condições do semiárido pode variar de 800 a 2.000 kg ha⁻¹ de algodão em caroço. Esta variação se deve à instabilidade climática associada à baixa adoção de tecnologias por parte dos produtores da região. A cultivar apresenta porte médio, atingindo entre 115 a 125 cm. A porcentagem média de fibra obtida foi de 39,5%. A floração ocorre aos 60 a 65 dias e o aparecimento do primeiro capulho, aos 110 a 120 dias. A época da colheita se dá em torno dos 170 a 180 dias. Estes valores médios são variáveis e dependem do regime pluviométrico que ocorre em cada região (MORELLO et al. 2011).

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAPA – Associação brasileira de produtores de algodão. Números do algodão. Disponível em: <http://www.abrapa.com.br/estatisticas/Paginas/default.aspx>. Acesso em 05 de dezembro de 2015.

ABRAPA – Associação brasileira de produtores de algodão. Números do algodão. Disponível em: <http://www.abrapa.com.br/Paginas/atualizacao.aspx>. Acesso em 01 de maio de 2018.

AHMAD, R. T.; MALIK, T. A.; KHAN, I. A.; JASKANI, M. J. Genetic analysis of some morphophysiological traits related to drought stress (*Gossypium hirsutum*). *International Journal of Agriculture & Biology*, v.11, p.235-240, 2009.

AMORIM NETO, M. da S.; ARAUJO, A. E. de; BELTRÃO, N. E. de M. Clima e solo. In: BELTRÃO, N. E. de M.; VIEIRA, D. J. (Eds.). *O agronegócio do gergelim no Brasil*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. Cap.5, p.93-107.

AZEVEDO, B. M. de; BASTOS, F. G. C.; VIANA, T. V. de A.; RÊGO, J. de L.; D'ÁVILA, J. H. T. Efeitos de níveis de irrigação na cultura da melancia. *Revista Ciência Agronômica*, v. 36, p.9-15, 2005.

AZEVEDO NETO, A. D.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; MELO FILHO, P. A.; SANTOS, R. C. Physiological and biochemical responses of peanut genotypes to water deficit. *Journal of Plant Interactions*, v.5, p.1-10, 2010.

AZEVEDO, P. V. de; RAO, T. V. R.; ANDRADE NETO, M. da S.; BEZERRA, J. R. C.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; MACIEL, G. F. Necessidades hídricas da cultura do algodoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 28, p.863-870, 1993.

BALDO, R.; SCALON, S. de P. Q.; ROSA, Y. B. C. J.; MUSSURY, R. M.; BETONI, R.; BARRETO, W. dos S. Comportamento do algodoeiro cultivar Delta Opal sob estresse hídrico com e sem aplicação de bioestimulante. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 33, p.1804-1812, 2009.

BALL, R. A.; OOSTERHUIS, D. M.; MAROMOUSTAKOS, A. Growth dynamics of the cotton plant during water-deficit stress. *Agronomy Journal*, v.86, p.788-795, 1994.

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

BELTRÃO, N. E. de M.; OLIVEIRA, M. I. P. de; SOUSA JÚNIOR, S. P. de; BRITO, G. G. de; CARDOSO, G. D. Ecofisiologia do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch.). In: BELTRÃO, N. E. de M.; OLIVEIRA, M. I. P. de. Ecofisiologia das culturas de algodão, amendoim, gergelim, mamona, pinhão-manso e sisal. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. Cap. 2, p.65-124.

BENNETT, O. L.; ERIE, L. J.; A. J. MACKENZIE. Boll, fiber and spinning properties of cotton as affected by management practices. Technical Bulletin No. 1372. USDA. Washington, D.C. 1967. p.109.

BERTINI, C. H. C. de M.; SCHUSTER, I.; SEDIYAMA, T.; BARROS. E. G. de; MOREIRA, M. A. Characterization and genetic diversity analysis of cotton cultivars using microsatellites. Genetics and Molecular Biology, v.29, p.321-329, 2006.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. Seeds: physiology of development and germination. New York: Plenum Press, 1994. 445p.

BILIBIO, C.; CARVALHO, J. de A.; MARTINS, M.; REZENDE, F. C.; FREITAS, W. A. de; GOMES, L. A. A. Função de produção da berinjela irrigada em ambiente protegido. Irriga, v.15, p.10-22, 2010.

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

BOYER, J. S. Plant productivity and environment. Science, v.218, p.443-448, 1982.

BURKE, J. J. Moisture sensitivity of cotton pollen: an emasculation tool for hybrid production. Agronomy Journal, v.94, p.883-888. 2002.

CARVALHO, L. P. Contribuição do melhoramento ao cultivo do algodão. In: BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. de. O agronegócio do algodão no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. Cap.8, p.271-298.

CARVALHO, L. P. de; COSTA, J. N. da; FREIRE, E. C.; FARIAS, F. J. C. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de algodoeiro originários de matérias silvestres. Revista Ceres, v. 47, p.303-310, 2000.

CHAVES, M. M.; OLIVEIRA, M. M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. Journal of Experimental Botany, v.8, p.1-20, 2004.

CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. Estudos Avançados, v.22, p.61-82, 2008.

CONAB - Companhia Nacional do Abastecimento: Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2017/18. Terceiro Levantamento, Dezembro/2017. Brasília: Conab, 2017. www.conab.gov.br

COOK, C. G.; K. M, EL ZIK. Fruiting of cotton and lint yield of cotton cultivars under irrigated and non-irrigated conditions. Field Crops Research, v.33, p.411-421, 1993.

COSTA, J. N da; ALMEIDA, F. de A. C.; SANTANA, J. C. F. de; COSTA, I. L. L. da; WANDERLEY, M. J. R.; SANTANA, J. C. da S. Técnicas de colheita, processamento e armazenamento do algodão. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. 14p. (Embrapa Algodão. Circular Técnica, 87).

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

DHINDSA, R. S.; BEASLEY, C. A.; TING, I. P. Osmoregulation in cotton fiber: accumulation of potassium and malate during growth. Plant Physiology, v.56, p.394-398, 1975.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DUARTE, E. A. A.; MELO FILHO, P. de A.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; LIMA, L. M. de; SANTOS, R. C. dos. Prospecting of transcripts expressed differentially using ISSR markers in peanut submitted to water stress. Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas, v.15, p.1-7, 2011.

DUMKA, D.; BEDNARZ, C. W.; MAW, B. W. Delayed initiation of fruiting as a mechanism of improved drought avoidance in cotton. Crop Science, v.44, p.528-544, 2004.

EATON, F. M.; ERGLE, D. R. Fiber properties and carbohydrate and nitrogen levels of cotton plants as influenced by moisture supply and fruitfulness. Plant Physiology, v.27, p.542-562, 1992.

ECHER, F. R.; CUSTÓDIO, C. C.; HOSSOMI, S. T.; DOMINATO, J. C.; MACHADO NETO, N. B. Estresse hídrico induzido por monitol em cultivares de algodão. Revista Ciência Agronômica, v.41, p.638-645, 2010.

FAGAN, E. B.; PETTER, S. L.; SIMON, J.; BORCIONI, E.; LUZ, J. L. da; MANFRON, P. A. Eficiência do uso de água do meloeiro hidropônico. Bioscience Journal, v. 25, p.37-45, 2009.

FARIAS, F. J. C. Índice de seleção em cultivares de algodoeiro herbáceo. 2005. 120f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

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

FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUGITA, D.; BASRA, S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development, v. 29, p. 185-212, 2009.

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

- FLEXAS, J.; MEDRANO, H. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. *Annals of Botany*, v.89, p.183-189, 2002.
- FREIRE, E. C. Algodão no cerrado do Brasil. 2.ed. Aparecida de Goiânia: Mundial Gráfica, 2011. 980 p.
- FREIRE, E. C. Melhoramento genético do algodoeiro no Nordeste do Brasil. In: ENCONTRO DE GENÉTICA DO NORDESTE, 6., 1989, Fortaleza. Anais.... Fortaleza: [s.n],1989. p.19.
- FREIRE, E. C.; MORELLO, C. L.; FARIAS, F. J. C.; SILVA FILHO, J. L da; VIDAL NETO, F. das C.; PEDROSA, M. B.; SUINAGA, F. A.; COSTA, J. N.; ANDRADE, F. P. Objetivos e métodos usados nos programas de melhoramento do algodão. In: BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. de. O agronegócio do algodão no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. Cap.10, p.299-323.
- GARDNER, W. R.; GARDNER, H. R. Principles of water management under drought conditions. *Agricultural Water Management*, v. 7, p.143-155, 1983.
- GERIK, T. J.; FAVER, K. L.; THAXTON, P. M.; EL-ZIK, K. M. Late season water stress in cotton: I. Plant growth, water use and yield. *Crop Science*, v.36, p.914-921, 1996.
- GOMIDE, R. L.; ALBUQUERQUE, P. E. P. de. Agrometeorologia e otimização do uso da água na irrigação. *Informe Agropecuário*, v.29, p.72-85, 2008.
- GRIMES, D. W.; DICKENS, W. L.; ANDERSON, W. D. Functions for cotton (*Gossypium hirsutum* L.) production from irrigation and nitrogen fertilization variables: II. Yield components and quality characteristics. *Agronomy Journal*, v.61, p.773-776, 1969.
- GRIMES, D. W.; YAMADA, H. Relation of cotton growth and yield to minimum leaf water potential. *Crop Science*, v.22, p.134-139, 1982.
- HANSON, E. G.; KNISEL, W.G. Influence of irrigation practices on cotton production and fiber properties. New Mexico: Agricultural Experimental Station, 1964. 34p (Bull, 43).
- HEARN, A.B. Response of cotton to water and nitrogen in tropical environment. I. Frequency of watering and method of application of nitrogen, *Journal of Agricultural Science*, v.84, p.407-417, 1975.
- HEARN, A. B. Crop physiology. In: ARNOLD, M. H. (Ed.). *Agricultural research for development: the Namulonge contribution*. London: Cambridge University Press, 1976.
- HEARN, A. B. The principles of cotton water relations and their application in management. In: CONSTABLE, G. A. and FORRESTER, N. W. (eds.). *Proc. World Cotton Research Conference (1st:1994 Brisbane, Queensland)*. CSIRO, Melbourne, Austrália. 1995. pp. 66-90.
- HSIAO, T. C. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*, v.24, p.519-570, 1973.
- JACKSON, L.E.B.; TILT, P.A. Effects of irrigation intensity and nitrogen level on the performance of eight varieties of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Agronomy Journal*, v.60, p.13-17, 1968.

- JORDAN, W. R. Growth of cotton seedlings in relation to maximum daily plant-water potential. *Agronomy Journal*, v.62, p.699-701, 1970.
- KARIDA, J.; MARINATO, R. Irrigação do algodoeiro. Informe Agropecuário. Belo Horizonte, v.8, n.92, p.75-81, 1982.
- KHADI, B. M.; SANTHY, V.; YADAV, M. S. Cotton: an introduction. *Biotechnology in Agriculture and Forestry in Cotton Biotechnological Advances*, v.65, p.1-14, 2010.
- KRAMER, P. J. Drought stress and the origin of adaptation. In: TURNER, N.C.; KRAMER, P. J. *Adaptation of plants to water and high temperature stress*. John Wiley & Sons, New York, 1980, p.7-20.
- KRAMER, P. J. Water deficits and plant growth. In: Kramer, P. J. *Water relations of plants*. Academic Press, New York, 1983, p.342-389.
- KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. *Water relations of plants and soils*. San Diego: Academic Press, 1995. 495p.
- LACAPE, J. M.; LLEWELLYN, D.; JACOBS, J.; ARIOLI, T.; BECKER, D.; CALHOUN, S.; AL-GHAZI, Y.; LIU, S.; PALAÏ, O.; GEORGES, S.; GIBAND, M.; ASSUNÇÃO, H. de; BARROSO, P. A. V.; CLAVERIE, M.; GAWRYZIAK, G.; JEAN, J.; VIALLE, M.; VIOT, C. Meta-analysis of cotton fiber quality QTLs across diverse environments in a *Gossypium hirsutum* x *G. barbadense* RIL population. *BMC Plant Biology*, v.10, p.2-24, 2010.
- LE HOUÉROU, H. N. Climate changes, drought and desertification. *Journal Arid Environments*, v.34, p.133-185, 1996.
- LEWIS, H.; MAY, L.; BOURLAND, F. Cotton yield components and yield stability. In: Proc. Beltwide Cotton Conf., San Antonio, TX. 4-8 Jan. 2000. Natl. Cotton Counc. of Am., Memphis, Tenn, 2000. p.532-536.
- LOKA, D. A. Effect of water-deficit stress on cotton during reproductive development. Fayetteville: University of Arkansas, 2012. 200p. Ph.D. Dissertation.
- LOKA, D. A.; OOSTERHUIS, D. M.; RITCHIE, G. L. Water-Deficit Stress in Cotton. In: OOSTERHUIS, D. M. *Stress Physiology in Cotton*. The Cotton Foundation. Cordova, tennessee, U.S.A. 2011. p.37-72.
- LIMA, J. C. R. de. Crescimento e desenvolvimento do gergelim BRS Seda irrigado com níveis de água residuária e de abastecimento. Campina Grande, UEPB, 2011. 61p. Dissertação Mestrado.
- LIMA, M. E. de; CARVALHO, D. F. de; SOUZA, A. P. de; ROCHA, H. S.; GUERRA, J. G. M. Desempenho do cultivo da berinjela em plantio direto submetida a diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.604-610, 2012.
- MARANI, A.; AMIRAV, A. Effects of soil moisture stress on two varieties of upland cotton in Israel I. The coastal plain region. *Experimental Agriculture*, v.7, p.213-224, 1971.
- MARTINELLI-SENEME, A.; MARTINS, C. C.; JOÃO NAKAGAWA, J. Germinação de milho cv. AL-34 em função do tamanho da semente e do potencial hídrico do substrato. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 22, p.131-138, 2000.

MARUR, C. J. Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro. In: Instituto Agronômico do Paraná. Recomendações para cultura do algodoeiro no Paraná. Londrina, 1993. p.2-7. (Circular, 107).

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

McMICHAEL, B. L.; HESKETH, J. D. Field investigations of the response of cotton to water deficits. *Field Crops Research*, v.5, p.319-333, 1982.

MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. de M. Irrigação. Piracicaba: FUNEP, Série Engenharia Agrícola, 1, 2003, 410p.

MONTEIRO, J. M. G. Plantio de oleaginosas por agricultores familiares do semiárido nordestino para produção de biodiesel como uma estratégia de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Rio de Janeiro: UFRJ, 2007. 302p. Tese Doutorado.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Olhares sobre as políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. In: GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. da S; MEDEIROS, S. de S; GALVÃO, C. de OLIVEIRA. Recursos hídricos em regiões semiáridas: Estudos e aplicações. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012. Cap. 1, p.02-27.

MORELLO, C. L.; PEDROSA, M. B.; CHITARRA, L. G.; SUASSUNA, N. D.; SILVA FILHO, J. L.; SILVA, C. A. D. da; SUASSUNA, N. D.; FREIRE, E. C.; BENITES, F. R. G.; FARIAS, F. J. C.; LAMAS, F. M.; ANDRADE, F. P.; BARROSO, P. A. V.; RIBEIRO, J. L.; GODINHO, V. P. BRS 336: cultivar de alta qualidade de fibra para cultivo cerrado e semiárido do Brasil. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2011. (Folder).

NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. Tolerância à seca em plantas: mecanismos fisiológicos e moleculares. *Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento*, n.23, p.12-18, 2001.

NOGUEIRA, R. J. M. C. Expressões fisiológicas da aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.) em condições adversas. São Carlos: USP, 1997. 207p. Tese Doutorado.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; MELO FILHO, P. de A.; CARVALHO, R.; ALBUQUERQUE, M. B. de; SANTOS, R. C. dos. Comportamento estomático e potencial da água da folha em amendoim cv. BRS 151-L7 submetido a estresse hídrico. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibras*, v.10, p.985-991, 2006.

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

OLIVEIRA, F. A. Efeitos dos diferentes níveis de umidade do solo no ciclo e produtividade no algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.). Salvador: EPABA, 1979. 26p. (EPABA, Comunicado Técnico,7.)

ORGAZ, F.; MATEOS, L.; FERERES, E. Season length and cultivar determine optimum evapotranspiration deficit in cotton. *Agronomy Journal*, v.84, p.700-706, 1992.

PACE, P. F.; CRALE, H. T.; EL-HALAWANY, S. H. M.; COTHREN, J. T.; SENSEMAN, S. A. Drought-induced changes in shoot and root growth of young cotton plants. *Journal of Cotton Science*, v.3, p.183-187, 1999.

PÁEZ, A.; GONZÁLES, M. E.; YRAUSQUÍN, O. X.; SALAZR, A.; CASANOVA, A. Water stress and clipping management effects on guineagrass: I. Growth and biomass allocation. *Agronomy Journal*, v.87, p.698-706, 1995.

PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D.; TURCO, J. E. P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. *Engenharia Agrícola*, v.25, p.161-169, 2005.

PASSOS, S. M. G.; CANÉCHIO, V. F.; JOSÉ, A. Principais culturas. 2. ed. São Paulo: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1987. 512 p.

PEREIRA, J. W. DE L.; MELO FILHO, P. DE A.; ALBUQUERQUE, M. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, R. C. Mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico moderado. *Revista Ciência Agronômica*, v.43, p.766-773, 2012.

PETTIGREW, W. T. Moisture deficit effects on cotton lint yield, yield components, and boll distribution. *Agronomy Journal*, v.96, p.377-383, 2004.

PLAUT, Z.; BEN-HUR, M.; MEIRI, A. Yield and vegetative growth as related to plant water potential of cotton irrigated with a moving sprinkler system at different frequencies and wetting depths. *Irrigation Science*, v.13, p.39-44, 1992.

RABADIA, V. S.; THAKER, V. S.; SINGH, Y. D. Relationship between water content and growth of seed and fibre of three cotton genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v.183, p.255-261, 1999.

RADIN, J. W.; REAVES, L. L.; MAUNEY, J. R.; FRENCH, O. F. Yield enhancement by frequent irrigation during fruiting. *Agronomy Journal*, v.84, p.551-557, 1992.

RAMPINO, P.; PATALEO, S.; GERARDI, C.; MITA, G.; PERROTTA, C. Drought stress response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes. *Plant, Cell Environment*, v. 29, p.2143-2152, 2006.

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

REDDELL, D. L.; PROCHASCA, J. F.; CUDRAK, A. J. Sequential water stress in cotton: a stress day index model. *ASAE*, v.87, p.2080-2103, 1987.

REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 1990. 186p.

RITCHIE, G. L.; WHITAKER, J. R.; BEDNARZ, C. W.; HOOK, J. E. Subsurface drip and overhead irrigation of cotton: a comparison of plant boll distribution in upland cotton. *Agronomy Journal*, v.101, p.1336-1344, 2009.

SALLES, E. Apresentação. In: GREYI, H. R.; PAZ, V. P. da S.; MEDEIROS, S. de S.; GALVÃO, C. de OLIVEIRA. Recursos hídricos em regiões semiáridas: Estudos e aplicações. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012.

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

SILVA, D. F da; ALCÂNTARA, C. R. Déficit Hídrico na Região Nordeste: Variabilidade Espaço-Temporal. *Revista UNOPAR Científica Ciências Exatas e Tecnológicas*, v. 8, n. 1, p.45-51, 2009.

SILVA, M. J. da; BEZERRA, J. R. C. Manejo de irrigação na cultura do algodoeiro no Vale do Açu-RN. REUNIÃO NACIONAL DO ALGODÃO, 6., 1990, Campina Grande, PB. 1990. Resumo dos Trabalhos. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1990.

SILVA, C. D. S.; SANTOS, P. A. A.; LIRA, J. M. S.; SANTANA, M. C. de; SILVA JÚNIOR, C. D. da S. Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas à deficiência hídrica. *Revista Caatinga*, v.23, p.7-13, 2010.

SILVA FILHO, J. L da; MORELLO, C de L.; SOFIATTI, V.; BEZERRA, J. R. C. Cultivares e linhagens de algodoeiro avaliadas em condições irrigadas no Rio Grande do Norte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 8., 2011, São Paulo. Evolução da cadeia para construção de um setor fortes: anais... São Paulo: ABRAPA, 2011. 1 CD-ROM .

SILVA FILHO, J. L.; PEDROSA, M. B.; MORELLO, C de L.; FREIRE, E. C.; ALENCAR, A. R de; ANDRADE, F. P.; CHITARRA, L. G.; FARIAS, F. J. C.; VIDAL NETO, F. C. BRS 286: cultivar de alta produtividade de pluma, de porte baixo, para cultivo no Estado da Bahia. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008. (Folder).

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

SNOWDEN, C.; RITCHIE, G.; THOMPSON, T. Water use efficiency and irrigation response of cotton cultivars on subsurface drip in west texas. *Journal of Cotton Science*, v.17, p.1-9, 2013.

SOUSA JÚNIOR, S. P. de. Doses de nitrogênio e lâminas de água de diferentes salinidades no algodoeiro BRS Verde. Campina Grande: UFCG, 2007. 103p. Tese Doutorado.

SOUZA, F. A. Efeito do estresse hídrico e da época de plantio na produtividade de três cultivares de algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.) sob regime de irrigação no vale do Curu. Fortaleza: UFCE, 1986. 90p. Dissertação de Mestrado.

STOCKTON, J. R.; DONEEN, L. D.; WALHOOD, V. T. Boll shedding and growth of the cotton plant in relation to irrigation frequency. *Agronomy Journal*, v.53, p.272-275, 1961.

- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.
- TORRES, S. B.; VIEIRA, E. L.; MARCOS FILHO, J. Efeitos do estresse hídrico na germinação e no desenvolvimento de plântulas de pepino. Revista Brasileira de Sementes, Brasília, v. 21, p. 59-63, 1999.
- TURNER, N.C.; HEARN, A. B.; BEGG, J. E.; CONSTABLE, G. A. Cotton (*Gossypium hirsutum* L.): physiological and morphological responses to water deficits and their relationship to yield. Field Crops Research, v.14, p.153-170, 1986.
- VASCONCELOS, U. A. A.; CAVALCANTI, J. J. V.; FARIAS, F. J. C.; VASCONCELOS W. S.; SANTOS, R. C. dos. Diallel analysis in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) for water stress tolerance. Crop Breeding and Applied Biotechnology, v.18, p.24-30, 2018.
- VIDAL NETO, F. das C.; CARVALHO, L. P. Cerrado e Semiárido requerem cultivares diferenciadas. Visão Agrícola. Piracicaba, v.6. p.32-34, 2006.
- WANJURA, D. F.; UPCHURCH, D. R.; MAHAN, J. R.; BURKE, J. J. Cotton yield and applied water relationships under drip irrigation. Agricultural Water Management, v.55, p.217-237, 2002.
- WANG, W.; VINO CUR, B.; ALTMAN, A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. Planta, v. 218, p.1-14, 2003.
- WARREN, C. R.; LIVINGSTON, N. J.; TURPIN, D. H. Water stress decreases the transfer conductance of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) seedlings. Tree Physiology, v.24, p.971-979, 2004.
- WHITAKER, J. R.; RITCHIE, G. L.; BEDNARZ, C. W.; C.I. MILLS, C. I. Cotton subsurface drip and overhead irrigation efficiency, maturity, yield, and quality. Agronomy Journal, v.100, p.763-768, 2008.
- YEATES, E. Efeito do estresse hídrico na fisiologia do algodoeiro. In: ECHER, F. R. O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes. Cuiabá: Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMAmt), 2014. Cap. 3, p.63-77, 2014.
- ZHANG, H. B.; LI, Y.; WANG, B.; CHEE, P. W. Recent Advances in Cotton Genomics. International Journal of Plant Genomics, v.2008, p.1-20, 2008.

CAPÍTULO I

Trocas gasosas em cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico

ARAÚJO, W. P. **Trocas gasosas em cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola – Irrigação e Drenagem), Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, Brasil.

RESUMO

A limitação de água reduz o crescimento, as trocas gasosas e a produção das culturas, o que justifica o uso da irrigação, em especial na região semiárida, região caracterizada por um balanço hídrico negativo, como também torna-se importante usar estratégias de manejo da água que possibilitem maior eficiência de uso deste recurso natural. Assim, objetivou-se avaliar as trocas gasosas de cultivares de algodoeiro herbáceo cultivadas na região semiárida do Nordeste brasileiro, submetidas a períodos de déficit hídrico nas fases fenológicas. O experimento foi realizado em condições de campo, na Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campus de Pombal, PB. Os tratamentos foram formados a partir de um esquema em parcelas subdivididas, constituindo-se, as parcelas, por seis períodos (P) de déficit hídrico [P1 = tratamento sem déficit (testemunha, irrigada com 100% da demanda hídrica durante todo o ciclo), P2 = déficit hídrico na fase de crescimento inicial, P3 = déficit hídrico na fase de aparecimento do primeiro botão floral, P4 = déficit hídrico na fase de aparecimento da primeira flor, P5 = déficit hídrico na fase de aparecimento da primeira maçã e P6 = déficit hídrico na fase de aparecimento do primeiro capulho] e, as subparcelas, por duas cultivares (C) de algodoeiro herbáceo (C1 = BRS 286 e C2 = BRS 336), no delineamento blocos casualizados, com 4 repetições. As variáveis de trocas gasosas aferidas foram a condutância estomática, transpiração, fotossíntese, concentração interna de CO₂, eficiência instantânea no uso da água e a eficiência instantânea da carboxilação. O déficit hídrico reduziu as trocas gasosas das plantas de algodoeiro herbáceo, principalmente a condutância estomática, transpiração e fotossíntese. As cultivares de algodoeiro BRS 286 e BRS 336 apresentaram comportamento similar nos diferentes déficits hídricos aplicados nas suas distintas fases fenológicas. As trocas gasosas do algodoeiro foram mais sensíveis à deficiência hídrica na fase de formação das maçãs e menos afetadas nas fases de crescimento inicial e botão floral.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* H., estresse hídrico, fisiologia.

CHAPTER I

Gas exchanges from uplands cotton cultivars under water deficit application strategies

ARAÚJO, W. P. **Gas exchanges of herbaceous cotton cultivars under water deficit application strategies**. 2018. Thesis (Doctorate in Agricultural Engineering - Irrigation and Drainage), Graduate on Agricultural Engineering, UFCG, Campina Grande-PB, Brazil.

ABSTRACT

Crops have its growth, gas exchanges and yield compromised due to water scarcity, which justifies the use of irrigation specially in semi-arid region, region characterized by negative water balance, as well as it becomes important to consider water management strategies that allow greater efficiency of use of this natural resource. In this context, the aim of this study was to evaluate the gas exchanges of upland cotton cultivars cultivated in the semi-arid region of Brazilian Northeastern, submitted to water deficit periods in the phenological phases. The experiment was conducted under field conditions, at Campina Grande Federal University - UFCG, Pombal Campus, Paraíba State, Brazil. The treatments were formed by a split plot scheme, consisting, the plots, of 6 water deficit periods (P) [P1 = treatment without deficit (control, 100% irrigated throughout the cycle), P2 = water deficit in the initial growth phase, P3 = water deficit at the onset of the first flower bud phase, P4 = water deficit at the onset of the first flower phase, P5 = water deficit at the onset of the first fruit phase, and P6 = water deficit at the onset of the first open fruit phase) and, the subplots, of 2 upland cotton cultivars (C) (C1 = BRS 286 and C2 = BRS 336), in a randomized block design, with 4 replicates. Water deficit reduced the gases exchanges of herbaceous cotton plants, mainly stomatal conductance, transpiration and photosynthesis. The cotton cultivars BRS 286 and BRS 336 presented similar behavior in the different water deficits applied in their different phenological phases. Gases exchanges were more sensitive to water deficiency during the apple formation phase and less affected in the initial growth stages and floral bud.

Key words: *Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* H., water stress, physiology.

1. INTRODUÇÃO

O algodão é um produto de extrema importância socioeconômica para o Brasil. Além de ser a mais importante fonte natural de fibras, garante ao País lugar privilegiado no cenário internacional, como um dos cinco maiores produtores mundiais, ao lado de China, Índia, Estados Unidos e Paquistão (ABRAPA, 2018). A área plantada com algodão na safra de 2016/17 no país foi de 930,4 mil hectares, sendo a produção em pluma, na mesma safra, de 1.473,2 mil toneladas. na região nordeste a produção foi de 361,0 mil toneladas onde o estado da Paraíba contribuiu com 0,1 mil toneladas de algodão em pluma (CONAB 2017).

Devido apresentar metabolismo tipo C3, o algodoeiro herbáceo é uma planta altamente exigente em luz, considerado pouco eficiente, além de apresentar senescência foliar quando no período de maturação do capulho (BELTRÃO et al., 2011). Neste sentido, o cultivo no Nordeste Brasileiro encontra fator favorável, pois, segundo Silva et al. (2010), a duração do dia solar médio é de aproximadamente 12 hs, já que a região está próxima a linha do equador.

Na região semiárida do Nordeste brasileiro, o algodoeiro é frequentemente submetido a diferentes durações e intensidades de deficiência hídrica no solo devido principalmente à escassez ou falta de chuvas nessa região. Ashraf (2010) considera o déficit hídrico como uma das principais restrições ambientais, colaborando para a redução da produtividade das culturas e da segurança alimentar em todo o mundo. A decorrência do déficit hídrico é visível em qualquer estágio fenológico da planta, podendo variar de acordo com a severidade e duração do estresse (FAROOQ et al., 2009), inclui mudanças na taxa fotossintética, transpiratória e condutância estomática (FURLAN et al., 2012).

Os estudos das relações hídricas nas plantas e das interações causadas pelo déficit hídrico sobre os processos fisiológicos são de fundamental importância, assim como o

conhecimento da variação do consumo de água por uma cultura em suas diferentes fases de desenvolvimento. Tais informações permitem descrever o comportamento fisiológico e suas consequências (PEIXOTO et al., 2006).

Vários índices fisiológicos estão relacionados ao uso da água pelas plantas, dentre eles a fotossíntese e a condutância estomática chamam mais atenção, visto que um ajuste osmótico, tal como o fechamento dos estômatos, permite às plantas escapar da desidratação e da perda do turgor pela manutenção do conteúdo de água nas células (ROZA, 2010).

Uma das formas de averiguar se a cultura está sob condições adequadas de cultivo é determinar às trocas gasosas das plantas, pois, conforme Taiz & Zeiger (2013), a planta sob estresse tende a reduzir o seu potencial hídrico celular, realizando o fechamento dos estômatos e reduzindo a formação de fotoassimilados.

Como as trocas gasosas estão diretamente ligadas à disponibilidade de água (TAIZ & ZEIGER, 2013), para que se tenha sucesso na produção, se faz necessário o uso da irrigação para atender as necessidades hídricas da cultura, ou de técnicas que possibilitem a manutenção dos recursos hídricos no solo, permitindo que as plantas completem o seu ciclo produtivo (GUIMARÃES et al., 1996).

Todavia, o uso da irrigação, embora apresente grandes vantagens ao sistema de produção agrícola, pode causar problemas de ordem ambiental e onerar o custo de produção, o que torna importante aumentar o uso eficiente da água nos cultivos irrigados, notadamente em regiões áridas e semiáridas, onde se tem limitação na disponibilidade hídrica.

É sabido, ainda, que algumas culturas produzem rendimentos economicamente viáveis mesmo sob déficit hídrico no solo, enquanto outras são sensíveis a níveis relativamente baixos de escassez. Esta diferença se deve a fatores relacionados com o sistema radicular, notadamente, a elementos que condicionam o seu crescimento, como é o caso das características físicas do solo, as características genéticas das plantas e o manejo dos sistemas de irrigação (REICHARDT & TIMM, 2004).

Quando submetidas a déficit hídrico, as plantas apresentam diferentes respostas, algumas apresentando tolerância, mesmo que tenham que modificar suas características morfofisiológicas e bioquímicas, enquanto outras, consideradas, desenvolvem sintomas de estresse (CHAKRABORTY et al., 2015).

Sendo assim, é necessário pensar em otimizar a eficiência de uso da água para os sistemas de produção irrigados, notadamente na cultura do algodoeiro, por se tratar de uma espécie de grande importância econômica e social, sendo importante identificar estratégias adequadas para otimização do uso da água a ser aplicada.

Portanto, neste capítulo, objetivou-se avaliar as trocas gasosas de cultivares de algodoeiro herbáceo, cultivadas na região semiárida do Nordeste brasileiro, submetidas a períodos de déficit hídrico nas fases fenológicas, visando relacionar o uso racional da água com a produção sustentável da cultura no semiárido paraibano.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em condições de campo entre os meses de junho a dezembro de 2015 na área experimental do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA), pertencente à Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Pombal, PB, localizada nas seguintes coordenadas geográficas: latitude 06^o 47' 52,15" S, longitude 37^o 48' 10" W e 175 m de altitude em relação ao nível médio do mar - NMM, distante 401 km da capital da Paraíba (João Pessoa).

Segundo a classificação de Koppen, o clima predominante da região é do tipo BSh, ou seja, semiárido quente e seco, apresentando um período de chuvas irregulares entre os meses de fevereiro a junho e um período de seca entre os meses de julho a janeiro com precipitação média anual de 750 mm e evapotranspiração média anual de 2000 mm.

O solo é um Neossolo Flúvico (aluvião), área plana, no qual coletou-se amostras nos intervalos de profundidades de 0-20 e 20-40 cm, as quais foram encaminhadas ao Laboratório de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal de Campina Grande – LIS/UFCG, Campina Grande, PB, para análise e caracterização dos atributos físico-hídricos (Tabela 1) e químicos (Tabela 2).

Tabela 1. Atributos físico-hídricos do solo da área experimental. Pombal, PB. 2015

Fração Granulométrica	%	Potencial matricial	Conteúdo de água (% base solo seco)	
			0 - 20 cm	20 - 40 cm
Areia	80,00			
Silte	14,51	0,1 atm	15,33	15,66
Argila	5,49	0,33 atm	11,69	10,84
		1,0 atm	8,45	7,96

Classificação Textural	Areia Franca	5,0 atm	5,45	5,55
Densidade do Solo	1,48	10,0 atm	5,22	5,14
Densidade de Partículas	2,64	15,0 atm	4,95	4,31
Porosidade (%)	43,94	Água disponível	6,74	6,53

Fonte. Laboratório de Irrigação e Salinidade, UFCG, Campina Grande, PB.

Tabela 2. Atributos químicos do solo da área experimental. Pombal, PB. 2015

Características químicas	Intervalo de Profundidade	
	0 - 20 cm	20 - 40 cm
Complexo sortivo	(cmol/dm ³)	(cmol/dm ³)
Cálcio (Ca ²⁺)	4,28	4,03
Magnésio (Mg ²⁺)	1,40	1,89
Sódio (Na ⁺)	0,14	0,15
Potássio (K ⁺)	0,42	0,27
Fosforo Assimilável (mg 100g⁻¹)	51,5	49,0
Nitrogênio (%)	0,07	0,05
Matéria Orgânica (%)	1,16	0,78
Extrato de Saturação		
pH _{ps}	6,45	6,46
CE _{es} (mmhos cm ⁻¹)	1,17	0,80
Cloreto (meq L ⁻¹)	6,25	5,50
Carbonato (meq L ⁻¹)	0,00	0,00
Bicarbonato (meq L ⁻¹)	3,80	4,60
Sulfato (meq L ⁻¹)	Ausência	Ausência
Cálcio (Ca ²⁺) (meq L ⁻¹)	10,00	4,00
Magnésio (Mg ²⁺) (meq L ⁻¹)	10,12	6,87
Sódio (Na ⁺) (meq L ⁻¹)	2,56	2,37
Potássio (K ⁺) (meq L ⁻¹)	1,76	0,35
Salinidade	Não salino	Não salino
Classe do solo	Normal	Normal

Fonte. Laboratório de Irrigação e Salinidade, UFCG, Campina Grande, PB.

Utilizou-se na irrigação água captada no Rio Piancó, perenizado pelo açude de Coremas, pertencente à Bacia Hidrográfica do Piranhas-Açu. O fornecimento de água se deu diariamente por meio de tanque pipa e armazenamento em cisterna no CCTA, próximo a área experimental. A caracterização química e a classificação quanto ao risco de salinização da água utilizada, encontra-se no Quadro 1.

Quadro 1. Caracterização química e classificação da água de irrigação. Pombal, PB. 2015

pH	7,44	Carbonatos (meq L ⁻¹)	0,00
Condutividade Elétrica (dS.m ⁻¹)	0,315	Bicarbonato (meq L ⁻¹)	1,6
Cálcio (meq L ⁻¹)	0,61	Cloretos (meq L ⁻¹)	0,88
Magnésio (meq L ⁻¹)	0,75	Sulfatos (meq L ⁻¹)	Presente
Sódio (meq L ⁻¹)	1,46	Relação de Adsorção de Sódio (RAS)	1,78
Potássio (meq L ⁻¹)	0,19	Classe	C ₂ S ₁

Fonte: Laboratório de Irrigação e Salinidade, UFCG, Campina Grande, PB.

A água apresentou salinidade C₂S₁ (CE = 0,315 dSm⁻¹) e baixa razão de adsorção de sódio (RAS = 1,78), podendo ser usada para irrigação sempre que houver um grau moderado de lixiviação e cuidados especiais no preparo do solo.

Instalação e Condução do Experimento

O preparo da área foi realizado de forma mecanizada, inicialmente com limpeza da área, seguido por aração e gradagem, visando o destorroamento e nivelamento do solo; em seguida, procederam as seguintes etapas: (1) marcação, com uso de piquetes, da área experimental; (2) adubação de fundação; (3) montagem do sistema de irrigação, e (4) plantio.

Em função dos resultados da análise química do solo, as adubações foram realizadas em três épocas. A primeira, em fundação, com aplicação de 30 kg ha⁻¹ de Nitrogênio (N), 40 kg ha⁻¹ de Fósforo (P₂O₅) e 10 kg ha⁻¹ de Potássio (K₂O), na forma de uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente; a segunda e a terceira, em cobertura, efetuadas no surgimento dos botões florais (30 a 40 dias após germinação - DAG) e no florescimento médio (60 a 70 DAG), com aplicação de 30 kg ha⁻¹ de Nitrogênio (N) e 5 kg ha⁻¹ de Potássio (K₂O) na forma de ureia e cloreto de potássio, respectivamente, em cada cobertura, conforme recomendação para o algodoeiro (CAVANCANTI et al., 2008). Não houve necessidade de calagem.

As cultivares de algodoeiro herbáceo foram plantadas em fileiras simples no espaçamento de 1,0 m entre linhas x 0,10 m entre plantas. Cada subparcela foi constituída de uma linha de 6 m de comprimento por 1 m de largura, com área útil cada de 4 m², deixando 1 m de cada lado para efeito de bordadura. Cada bloco ficou com área de 144 m² e a área total do experimento foi de 24 m x 27 m (648 m²).

A aplicação de água foi realizada por um sistema de irrigação localizado, com fitas gotejadoras e emissores espaçados por 10 cm. Cada tratamento foi constituído por uma linha lateral, espaçada das demais linhas por 1 m x 1 m com 6 metros de comprimento, cada. As

fitas gotejadoras (linha lateral) foram conectadas a uma linha secundária de tubo PVC com diâmetro de 32 mm. Cada linha lateral continha um registro de passagem para aplicar os tratamentos determinados para cada fase. A tubulação principal foi composta por um tubo de PVC de 50 mm.

Posteriormente, após a montagem do sistema de irrigação e início da condução do experimento, foi realizado teste de distribuição de água no campo. Através deste, verificou-se que a precipitação média aplicada e medida foi de 8,86 mm de água h⁻¹, sendo a eficiência de uniformidade de aplicação (Ea) determinada como sendo 91%, conforme metodologia de Bernardo et al. (2008).

Manejo da irrigação

As irrigações foram efetuadas diariamente, sempre pela manhã, baseadas na disponibilidade de água no solo para as plantas. O volume de água de reposição foi calculado considerando a água evapotranspirada pela cultura representada como a diferença entre o conteúdo de água do solo na capacidade de campo e o conteúdo atual de água médio do solo medido nas profundidades de 0,10; 0,20; 0,30 e 0,40 m, mensurados antes das irrigações. O conteúdo atual de água do solo foi determinado pelo método da reflectometria no domínio do tempo (TDR), por meio de uma sonda Delta-T-PR2 introduzida através de tubos de acesso instalados em cada tratamento.

De posse dos dados do conteúdo atual de água do solo, e com auxílio de uma planilha eletrônica editada no Excel, onde foram registrados os valores diários do conteúdo atual de água do solo e a disponibilidade de água para as plantas, calculou-se a lâmina de reposição de água e o tempo da irrigação para os tratamentos, servindo de base para a determinação da Lâmina Líquida de Irrigação (LLIR), usando-se a Equação 01, adaptada de Mantovani et al. (2009).

$$LLIR = (CC - UA) / 10 \times D \times Z \quad (\text{Eq. 01})$$

Onde: LLIR: Lâmina líquida de irrigação (cm);
CC: capacidade de campo (% base solo seco);
UA: umidade atual do solo (% base solo seco);
D: densidade do solo;
Z: profundidade efetiva da raiz (cm).

A lâmina bruta de irrigação (LBIR) foi determinada a partir dos dados da LLIR e da eficiência de aplicação da irrigação (Ea) do sistema de irrigação utilizado, usando-se a Equação 02.

$$LBIR = LLIR/Ea \quad (\text{Eq. 02})$$

De posse do valor referente à lâmina de 100%, o tempo necessário de aplicação da lâmina de reposição foi calculado usando-se a Equação 03.

$$TI = LBIR /Ia \quad (\text{Eq. 03})$$

Onde: TI: tempo de irrigação (h);
Ia: intensidade de aplicação do sistema (mm h^{-1}).

Na Figura 1, apresenta-se a Umidade Relativa Máxima (%), a Mínima (%) e a Média (%) observadas durante os 117 Dias do experimento. As medições foram feitas, sempre às 9:00 e 15:00 horas, por meio de dois termohigrômetros instalados na área experimental.

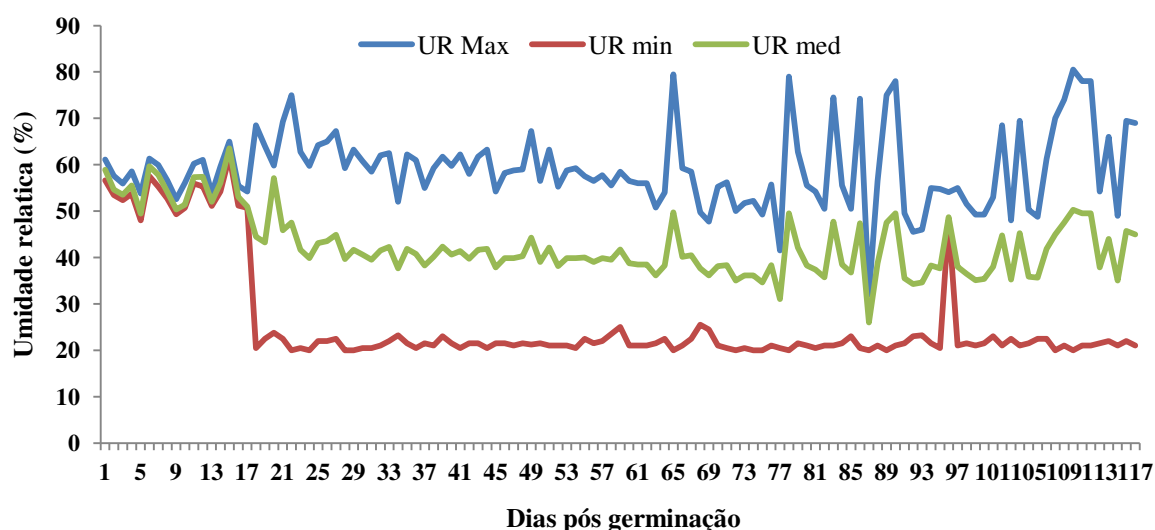


Figura 1. Umidade Relativa Máxima (*UR Max*) (%), Mínima (*UR Min*) (%) e Média (*UR Med*) (%) observadas durante os 117 dias pós germinação do algodoeiro herbáceo. Pombal, PB. 2015

Na Figura 2, apresenta-se a Temperatura Máxima ($^{\circ}\text{C}$), Mínima ($^{\circ}\text{C}$) e Média ($^{\circ}\text{C}$) durante os 117 dias do experimento.

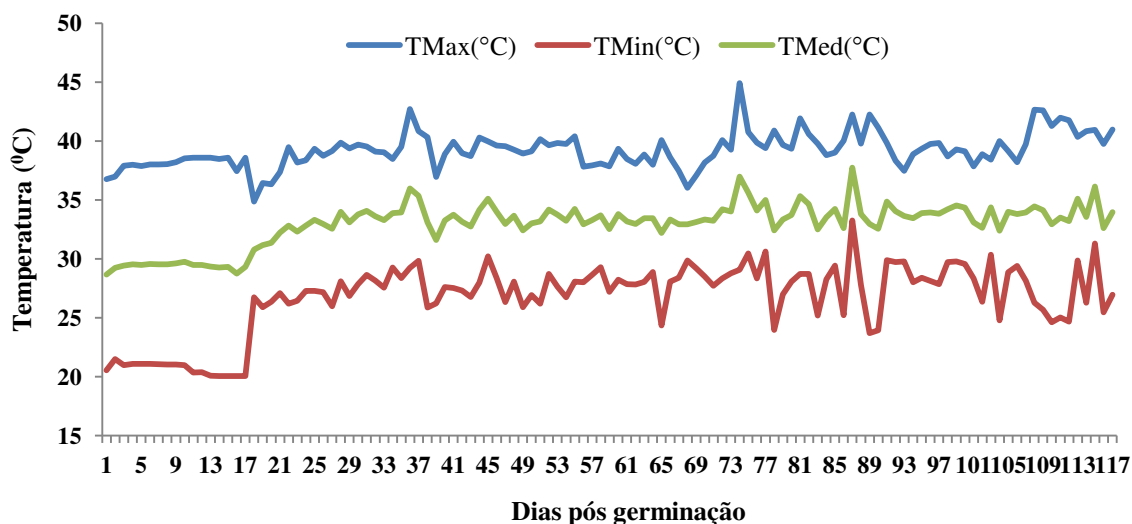


Figura 2. Temperatura Máxima (*TMax*) ($^{\circ}\text{C}$), Mínima (*TMin*) ($^{\circ}\text{C}$) e Média (*TMed*) ($^{\circ}\text{C}$), diárias observadas durante os 117 dias pós germinação do algodoeiro herbáceo. Pombal, PB. 2015

As temperaturas do ar foram medidas com um termômetro de mercúrio e a precipitação pluviométrica com um pluviômetro instalado próximo ao experimento. A Evapotranspiração de Referência (*ETo*) calculada pelo método proposto por Hargreaves e Samani, seguindo metodologia contida em Mantovani et al. (2009) através da Equação 04.

$$ETo = 0,0023 Ra (Tmáx - Tmín)^{0,5} (Tméd + 17,8) \quad (\text{Eq. 04})$$

Onde: *Tmáx*, *Tmín*, *Tméd*, em $^{\circ}\text{C}$, representam, respectivamente, as temperaturas, máximas, mínimas e médias e *Ra* a radiação solar no topo da atmosfera.

Tratamentos e Delineamento experimental

Os tratamentos foram formados por um esquema de parcelas subdivididas, constituindo-se, as parcelas, por 6 períodos (P) de déficit hídrico [P1 = tratamento sem déficit (testemunha, 100% irrigada durante todo o ciclo), P2 = déficit hídrico na fase de crescimento inicial, P3 = déficit hídrico na fase de aparecimento do primeiro botão floral, P4 = déficit hídrico na fase de aparecimento da primeira flor, P5 = déficit hídrico na fase de aparecimento da primeira maçã e P6 = déficit hídrico na fase de aparecimento do primeiro capulho] e, as subparcelas, por 2 cultivares (C) de algodoeiro herbáceo (C1 = BRS 286 e C2 = BRS 336), no delineamento blocos casualizados, totalizando 48 subparcelas experimentais. Depois de aplicado o período de estresse hídrico por respectiva fase fenológica, o qual durou 14 dias em cada tratamento, estes voltaram a ser irrigados até o final do ciclo da cultura. Cada subparcela foi constituída de uma linha de 6 m de comprimento, espaçada das demais por 1 m de largura,

com área útil de 4 m², deixando 1 m de cada lado para efeito de bordadura. Cada bloco ficou com área de 144 m² e a área total do experimento foi de 24 m x 27 m (648 m²) (Figura 3).

BLOCO I		BLOCO II		BLOCO III		BLOCO IV	
P2	C1	P5	C1	P6	C1	P4	C1
	C2		C2		C2		C2
P5	C2	P6	C2	P4	C2	P1	C2
	C1		C1		C1		C1
P6	C1	P4	C1	P1	C1	P3	C1
	C2		C2		C2		C2
P4	C2	P1	C2	P3	C2	P2	C2
	C1		C1		C1		C1
P1	C1	P3	C1	P2	C1	P5	C1
	C2		C2		C2		C2
P3	C2	P2	C2	P5	C2	P6	C2
	C1		C1		C1		C1

Figura 3. Croqui do experimento. Pombal, PB. 2015. Legendas: P = períodos de déficit hídrico; C = cultivares

Variáveis analisadas

Trocas gasosas

As avaliações das trocas gasosas foram realizadas aos 29, 40, 54, 62 e 100 DAG (dias após a germinação), a partir da mensuração da condutância estomática (gs) ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), fotossíntese líquida (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e concentração interna de CO₂ (Ci) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$). De posse desses dados foram estimadas a eficiência instantânea no uso da água (EiUA) (A/E) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$] e a eficiência instantânea da carboxilação (EiCi) (A/Ci) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$] (KONRAD et al., 2005; MAGALHÃES FILHO et al., 2008). Tais avaliações foram realizadas com um determinador de trocas gasosas em plantas, contendo um analisador de gás infravermelho - IRGA (Infra Red Gas Analyser, modelo LCpro – SD, da ADC Bioscientific, UK). As leituras foram realizadas na terceira folha totalmente expandida, conduzidas sob condições naturais de temperatura do ar, concentração de CO₂ e utilizando-se uma fonte artificial de radiação de 1200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância através do teste F, sendo as médias dos níveis ou tratamentos dos fatores, ambos qualitativos, comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 2, se encontram os tratamentos das estratégias de aplicação de déficit hídrico nas diferentes fases fenológicas das cultivares de algodoeiro herbáceo avaliadas, especificando, por datas e idade das plantas do período quando os déficits foram aplicados. As lâminas de irrigação totais aplicadas durante o ensaio nas cultivares de algodoeiro herbáceo foram de 732,41; 686,65; 608,39; 603,53; 610,85 e 649,67 mm, respectivamente, nos tratamentos P1, P2, P3, P4, P5 e P6.

Quadro 2. Detalhamento dos tratamentos das estratégias de aplicação de déficit hídrico. Pombal, PB. 2015

Tratamentos	Período de aplicação do déficit	Início do déficit	Final do déficit	Dias com irrigação após déficit
Sem déficit (P1)	-	-	-	-
Déficit na fase de crescimento inicial (P2)	22/07 a 04/08 (14 dias)	29 DAG	43 DAG	71
Déficit na fase de botão floral (P3)	03/08 a 16/08 (14 dias)	40 DAG	54 DAG	60
Déficit na fase de flor (P4)	18/08 a 31/08	54 DAG	68 DAG	46

	(14 dias)			
Déficit na fase de maçã (P5)	26/08 a 08/09 (14 dias)	62 DAG	76 DAG	38
Déficit na fase de capulho (P6)	03/10 a 16/10 (14 dias)	100 DAG	114 DAG	0

DAG = dias após germinação

Devido a maior concentração de raízes do algodoeiro na camada de 0,0 a 0,40 m de profundidade, conforme Amaral & Silva (2008), os perfis de umidade do solo foram avaliados nesta camada, em todos os tratamentos de períodos de déficit hídrico (Figura 3), comparando estes aos conteúdos de água na Capacidade de campo ($22,9 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), Ponto de Murcha Permanente ($6,9 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e Conteúdo de Água Disponível ($16,08 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$).

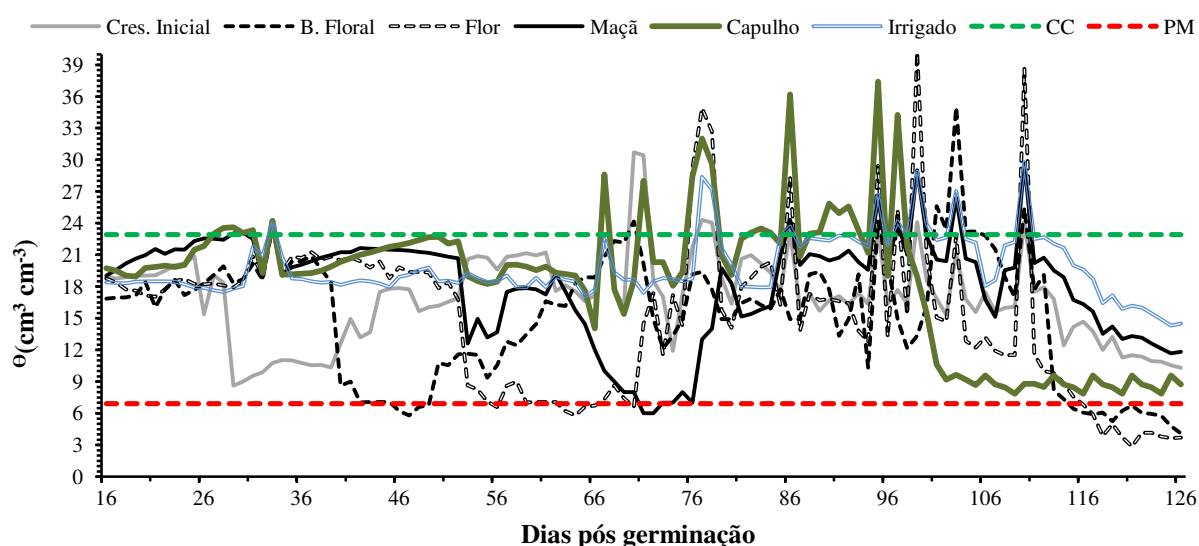


Figura 4. Variação do conteúdo de água do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) na camada de 0-40 cm de profundidade do solo durante 126 dias pós germinação do algodoeiro herbáceo para os diferentes tratamentos de déficit hídrico. Pombal, PB. 2015 (CC = capacidade de campo; PM = ponto de murcha)

De acordo com a Figura 4, observa-se que a umidade no solo, ao final de cada período de déficit hídrico nos estágios foi bem próxima do ponto de murcha permanente (linha em vermelho - que representa o limite inferior do Ponto de Murcha Permanente), o que demonstra que a planta realmente estava sob estresse hídrico. Segundo Sun et al. (2015), a tolerância ao estresse hídrico depende do estágio de crescimento da planta e, quando ocorre déficit hídrico em estágios críticos, como o reprodutivo, o crescimento e desenvolvimento da planta pode ser afetado. Assim, é muito provável que no presente estudo as funções metabólicas da planta e pelos tanto suas funções fisiológicas tenham sido severamente afetadas.

3.1. Trocas gasosas

Com base na análise de variância, constatou-se diferença significativa para o fator períodos de déficit hídrico (P) na condutância estomática (g_s) e transpiração (E) (exceto aos 54 DAG; para “ E ”), fotossíntese líquida (A), aos 29, 40, 54, 62 e 100 DAG, concentração interna de CO_2 (C_i), apenas aos 29 e 40 DAG e eficiência instantânea da carboxilação ($EiCi$), aos 29 e 62 DAG. Para o fator Cultivar (C) e a interação (P x C) não ocorreu significância estatística (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância para condutância estomática (g_s) ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), fotossíntese líquida (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), eficiência instantânea no uso da água ($EiUA$) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$], concentração interna de CO_2 (C_i) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) e eficiência instantânea da carboxilação ($EiCi$) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$] aos 29, 40, 54, 62 e 100 DAG de duas cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas. Pombal, PB. 2015

Variáveis	DAG	GL	QM		GL	QM		GL	QM		CV1 %	CV2 %	Média Geral
			Períodos de déficit (P)			Cultivar (C)			P x C				
G_s	29 dias	5	0,0263**	1	0,0001 ^{ns}	5	0,0015 ^{ns}	19,23	15,42	0,27			
E		5	1,2008*	1	0,0013 ^{ns}	5	0,0172 ^{ns}	10,34	9,59	2,70			
A		5	114,7063**	1	11,4270 ^{ns}	5	9,8188 ^{ns}	9,36	8,82	21,23			
$EiUA$		5	1,9625 ^{ns}	1	0,9240 ^{ns}	5	1,5026 ^{ns}	14,54	9,44	7,59			
C_i		5	4644,98**	1	675,00 ^{ns}	5	640,90 ^{ns}	10,06	13,51	195,20			
$EiCi$		5	0,0012*	1	0,0010 ^{ns}	5	0,0006 ^{ns}	17,26	16,06	0,10			
G_s		40 dias	5	0,0268**	1	0,0065 ^{ns}	5	0,0032 ^{ns}	20,57	16,09	0,26		
E	5		2,4424*	1	0,4800 ^{ns}	5	0,0493 ^{ns}	23,71	16,23	3,18			
A	5		75,5322**	1	42,3752 ^{ns}	5	5,9201 ^{ns}	16,98	13,58	22,09			
$EiUA$	5		1,2570 ^{ns}	1	1,8881 ^{ns}	5	1,5025 ^{ns}	31,97	19,10	7,25			
C_i	5		4650,18**	1	63,02 ^{ns}	5	126,02 ^{ns}	8,32	9,47	202,93			
$EiCi$	5		0,0010 ^{ns}	1	0,0006 ^{ns}	5	0,0003 ^{ns}	21,93	21,84	0,11			
G_s	54 dias		5	0,0139**	1	0,000002 ^{ns}	5	0,0006 ^{ns}	18,01	12,97	0,25		
E		5	0,9737 ^{ns}	1	0,0143 ^{ns}	5	0,0100 ^{ns}	26,68	9,17	3,35			
A		5	25,9298**	1	0,1376 ^{ns}	5	3,3243 ^{ns}	8,84	8,51	22,27			
$EiUA$		5	0,7836 ^{ns}	1	1,0354 ^{ns}	5	0,1635 ^{ns}	21,21	11,75	6,94			
C_i		5	1813,48 ^{ns}	1	667,52 ^{ns}	5	721,12 ^{ns}	18,03	9,16	181,56			
$EiCi$		5	0,0004 ^{ns}	1	0,00005 ^{ns}	5	0,0003 ^{ns}	20,63	14,61	0,12			
G_s		62 dias	5	0,0411**	1	0,0001 ^{ns}	5	0,0008 ^{ns}	23,76	15,64	0,26		
E	5		4,8588**	1	0,0645 ^{ns}	5	0,1973 ^{ns}	21,61	15,58	3,81			
A	5		258,2148**	1	17,5087 ^{ns}	5	24,7644 ^{ns}	15,22	18,27	21,08			
$EiUA$	5		3,3935 ^{ns}	1	0,0792 ^{ns}	5	0,9592 ^{ns}	22,41	18,87	5,59			
C_i	5		2102,23 ^{ns}	1	2,52 ^{ns}	5	910,37 ^{ns}	17,85	15,74	179,43			
$EiCi$	5		0,0062**	1	0,0006 ^{ns}	5	0,0020 ^{ns}	22,45	31,30	0,12			
G_s	100 dias		5	0,0064**	1	0,00003 ^{ns}	5	0,0001 ^{ns}	9,91	7,10	0,19		
E		5	0,8774**	1	0,0760 ^{ns}	5	0,4822 ^{ns}	9,96	6,17	3,99			
A		5	15,9181**	1	7,8246 ^{ns}	5	0,7661 ^{ns}	10,07	7,06	14,60			
$EiUA$		5	0,2357 ^{ns}	1	0,1354 ^{ns}	5	0,3589 ^{ns}	13,04	8,50	3,68			
C_i		5	678,78 ^{ns}	1	126,75 ^{ns}	5	1855,90 ^{ns}	10,83	10,53	195,58			
$EiCi$		5	0,0003 ^{ns}	1	0,0005 ^{ns}	5	0,0004 ^{ns}	16,09	16,24	0,07			

^{ns}, ^{**}, ^{*}: não significativo e significativo a $p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$; respectivamente (Teste F).

Na comparação das médias (Tabela 4) da condutância estomática (g_s) aos 29, 40, 54, 62 e 100 DAG nos períodos de aplicação do déficit hídrico, constata-se os menores valores médios aos 29 DAG, sendo o menor valor observado nas plantas sob déficit hídrico no P2 ($0,16 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); aos 40 DAG sob P3 ($0,15 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); aos 54, 62 e 100 DAG sob P4, P5 e P6, com valores médios de 0,20, 0,12 e $0,13 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente, notando-se, para estes, redução na g_s do algodoeiro na ordem de 46,67% (P2), 48,28% (P3), 28,58% (P4), 60,00% (P5) e 38,10% (P6), em comparação com as plantas que não foram submetidas ao estresse (P1), respectivamente. Tais resultados corroboram Rocha & Távora (2013) que encontraram efeito significativo do déficit hídrico sobre o feijão-de-corda, afirmando que a restrição hídrica por 15 dias na fase vegetativa reduziu a condutância estomática das plantas.

Tabela 4. Médias da condutância estomática (g_s) ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) aos 29, 40, 54, 62 e 100 DAG de duas cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas. Pombal, PB. 2015

Fator (Períodos de déficit)	Condutância estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)				
	29 DAG	40 DAG	54 DAG	62 DAG	100 DAG
P1	0,30a	0,29a	0,28a	0,30a	0,21a
P2	0,16b	0,28a	0,29a	0,31a	0,20a
P3	0,30a	0,15b	0,21b	0,27a	0,21a
P4	0,28a	0,28a	0,20b	0,26a	0,20a
P5	0,31a	0,26a	0,29a	0,12b	0,19a
P6	0,29a	0,31a	0,27a	0,29a	0,13b
Média geral (Cultivares)	0,27	0,26	0,26	0,26	0,19
BRS 286	0,27a	0,27a	0,26a	0,26a	0,19a
BRS 336	0,27a	0,25a	0,26a	0,25a	0,19a
Média geral	0,27	0,26	0,26	0,26	0,19

Letras minúsculas iguais, na coluna, indicam não haver diferença significativa entre os períodos de déficit (Tukey, $p \leq 0,05$).

Conforme Taiz & Zeiger (2013), a condutância estomática é dependente da abertura dos estômatos, a qual, entre outros fatores, depende da disponibilidade de água no solo. A redução na condutância (abertura) estomática, portanto, deveu-se ao estresse hídrico ao qual as plantas de algodoeiro foram expostas, sendo assim, é normal se esperar menores valores após o período de déficit; todavia, quando se determina a diferença entre o valor observado nas plantas sob estresse no período com os valores de condutância estomática das plantas que não foram submetidas ao estresse, nota-se que o maior declínio ocorreu nas plantas submetidas ao estresse no P5 (60%), correspondente ao período de maça, quando se tem uma alta demanda de água para o crescimento do fruto, que é um dreno forte, fazendo com que a planta tenha que se adaptar, fechando de forma mais efetiva os estômatos.

Influência do déficit hídrico na condutância estomática foi também observada por Vasconcelos et al. (2018) ao estudarem o algodão sob déficit após a segunda semana de supressão de água; todavia, assim como neste trabalho, foi possível notar a recuperação das plantas após o estresse, o que denota tolerância das plantas ao estresse.

É provável que, nos demais períodos de déficit hídrico, o aparato fotossintético das plantas usaram de estratégias para minimizar os efeitos do déficit, acompanhando a mesma tendência. De acordo com Echer (2014), o estômato começa a fechar como reação ao declínio do potencial de água da folha, o que diminui o índice de perda de água.

Para o fator Cultivar, os valores médios de g_s foram 0,27, 0,26, 0,26, 0,26 e 0,19 mol m⁻² s⁻¹ para as cultivares BRS 286 e BRS 336 (Tabela 4).

A condutância estomática determinada em condições de campo é de difícil precisão para grande número de cultivares, em razão das oscilações ambientais que ocorrem ao longo de um procedimento de avaliação, que podem afetar a g_s no decorrer do período (ECHER, 2014). Resultados opostos foram encontrados por Soares (2016), estudando a tolerância de genótipos de algodoeiro colorido ao estresse salino nas diferentes fases fenológicas das plantas; e por Graciano et al. (2016), estudando as trocas gasosas de cultivares de amendoim sob deficiência hídrica no solo que, com a restrição de água disponível no solo, ocorreu redução significativa da condutância estomática em todos as cultivares estudados.

Em decorrência do fechamento parcial dos estômatos foi possível observar redução na transpiração (E) quando o déficit hídrico foi aplicado aos 29 DAG, sendo o menor valor observado nas plantas sob déficit hídrico no P2 (2,00 mmol de H₂O m⁻² s⁻¹); aos 40 DAG sob P3 (2,08 mmol de H₂O m⁻² s⁻¹); aos 62 e 100 DAG sob P5 e P6, com valores médios de 2,27 e 3,41 mmol de H₂O m⁻² s⁻¹, respectivamente. Constatou-se redução na E do algodoeiro na ordem de 30,31% (P2), 39,88% (P3), 23,77% (P4), 46,96% (P5) e 19,78% (P6) em comparação com as plantas que não foram submetidas ao estresse (P1), respectivamente (Tabela 5), seguindo, em parte, os resultados observados para a variável condutância estomática, uma vez que o déficit de água no solo induz a resistência estomática, diminuindo a perda de água por transpiração, e esta pode estar aliada a possível queda do potencial hídrico como consequência do déficit hídrico. Isto corrobora Rocha & Távora (2013), os quais afirmaram que, a restrição hídrica por 15 dias na fase vegetativa, reduziu a transpiração a níveis significativamente inferiores às normalmente irrigadas e que essa redução, embora significativa, permitiu a manutenção do processo transpiratório, sendo possível observar recuperação na transpiração das plantas do algodoeiro após o período de déficit e retorno das irrigações.

Tabela 5. Médias da transpiração (E) ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) aos 29, 40, 54, 62 e 100 DAG das duas cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas. Pombal, PB. 2015

Fator (Períodos de déficit)	Transpiração ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)				
	29 DAG	40 DAG	54 DAG	62 DAG	100 DAG
P1	2,87a	3,46a	3,66a	4,28a	4,25a
P2	2,00b	3,14ab	3,69a	4,34a	3,77ab
P3	2,96a	2,08b	3,19a	3,82a	4,18a
P4	2,89a	3,52a	2,76a	4,12a	4,17a
P5	3,04a	3,35a	3,49a	2,27b	4,14a
P6	2,95a	3,49a	3,31a	4,04a	3,41b
Média geral (Cultivares)	2,79	3,18	3,35	3,82	3,99
BRS 286	2,79a	3,28a	3,33a	3,85a	4,03a
BRS 336	2,78a	3,08a	3,36a	3,78a	3,95a
Média geral	2,79	3,18	3,35	3,82	3,99

Letras minúsculas iguais, na coluna, indicam não haver diferença significativa entre os períodos de déficit (Tukey, $p \leq 0,05$).

Corroborando com a presente pesquisa, Soares (2016) e Graciano et al. (2016), verificaram, também, reduções na transpiração em função dos tratamentos. A diminuição na transpiração pode ter sido provocada pela falta de água na zona radicular da planta, como também pela baixa capacidade de ajustamento osmótico da cultura e pela redução do potencial total de água, provocada pela diminuição de umidade do solo. Cruz (2006) encontrou reduções significativas na transpiração foliar em plantas de genótipos de milho submetidas à restrição hídrica. Naquelas, a transpiração relativa diminuiu com a restrição hídrica do solo tornando-se praticamente nula, com 20% de água disponível no solo (BERGANCI & PEREIRA, 2002). Nable et al. (1999) encontrou reduções nas taxas transpiratórias em plantas de sorgo e cana-de-açúcar na medida que a fração de água disponível no solo decresceu. Possivelmente, essas reduções de transpiração no algodoeiro podem sofrer influência de outros fatores, tais como a reduzida área foliar (queda de folhas) em decorrência do déficit hídrico aplicado. Com isso, Bezerra et al. (2003) relatam que o estresse osmótico reduz a disponibilidade de água para os vegetais, podendo afetar as trocas gasosas das plantas.

A variação nos valores médios da taxa transpiratória entre as cultivares foi mínima ao longo das avaliações, com valor médio de 2,79, 3,18, 3,35, 3,82 e 3,99 $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para as cultivares BRS 286 e BRS 336 (Tabela 5).

Com esses resultados, nota-se que houve redução do fluxo de água da planta devido, possivelmente, ao déficit hídrico no qual o algodoeiro foi submetido, diminuindo o metabolismo vegetal visto que o controle estomático da transpiração é um mecanismo utilizado por muitas espécies para restringir a perda de água e superar os períodos de seca (SILVA et al., 2003) e provavelmente, parece indicar tolerância do algodoeiro para evitar

excessiva perda de água. Grande parte da água absorvida pela planta de algodão é usada para resfriar a planta, para manter temperatura da folha no limite ideal com a dissipação em forma de evaporação, favorecendo a atividade enzimática (ECHER, 2014).

Em função da redução observada na condutância estomática (g_s) e transpiração (E), a fotossíntese líquida (A) foi comprometida significativamente quando as plantas do algodoeiro foram submetidas a todos os períodos de déficit hídrico, com valores médios de 13,62, 15,93, 19,43, 9,90 e 11,93 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, constatando reduções de 41,99%, 33,06%, 17,10%, 60,80% e 25,53% na A aos 29, 40, 54, 62 e 100 DAG, em comparação com as plantas que não foram submetidas ao estresse (P1), respectivamente (Tabela 6).

Portanto, houve tendência de maior sensibilidade ao estresse hídrico em todos os diferentes períodos (fases do algodoeiro), por reduzir a condutância estomática e a transpiração, conforme abordado anteriormente, provavelmente devido a uma queda no desempenho do aparato fotossintético das plantas em relação às plantas sem aplicação do déficit hídrico (P1) (Tabela 6), como também, possivelmente devido à influência do baixo potencial hídrico acarretado pelo déficit de água.

Tabela 6. Médias da fotossíntese líquida (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) aos 29, 40, 54, 62 e 100 DAG de duas cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas. Pombal, PB. 2015

Fator (Períodos de déficit)	Fotossíntese líquida ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)				
	29 DAG	40 DAG	54 DAG	62 DAG	100 DAG
P1	23,48a	23,80a	23,44a	25,26a	16,02a
P2	13,62b	22,52a	22,68a	23,32a	14,75a
P3	22,39a	15,93b	20,69ab	22,35a	15,36a
P4	21,65a	23,25a	19,43b	21,06a	14,49a
P5	23,23a	22,90a	23,60a	9,90b	15,04a
P6	23,00a	24,14a	23,80a	24,57a	11,93b
Média geral (Cultivares)	21,23	22,09	22,28	21,08	14,60
BRS 286	21,72a	23,03a	22,33a	21,68a	15,00a
BRS 336	20,74a	21,15a	22,22a	20,47a	14,19a
Média geral	21,23	22,09	22,28	21,08	14,60

Letras minúsculas iguais, na coluna, indicam não haver diferença significativa entre os períodos de déficit (Tukey, $p \leq 0,05$).

Isto confirma resultados de Marengo e Lopes (2009) que afirmam que a fotossíntese é afetada diretamente por fatores como a intensidade da luz, temperatura, concentração de CO_2 , teor de nitrogênio na folha e a umidade do solo. Declínio na fotossíntese do algodoeiro, foi também constatado por Meloni et al. (2003), Brito (2015) e Soares (2016) em plantas de algodoeiro cultivadas sob irrigação com água salinizada. Provavelmente, o déficit de água no solo tenha ocasionado redução na fotossíntese do algodoeiro, como observado nesse trabalho.

Loka et al. (2011) afirmam que o déficit hídrico reduz a taxa fotossintética, devido a uma combinação de limitações estomáticas e não estomáticas. O estômato começa a fechar

como reação ao declínio do potencial de água da folha, reduzindo o índice de perda de água, mas diminuindo também a entrada de CO₂ e a fotossíntese na planta, o que pode ter ocorrido aqui nos tratamentos que passaram por déficit hídrico.

A redução na fotossíntese líquida pode ter sido devida ao fechamento dos estômatos, restringindo o influxo de CO₂ nas células do mesófilo. Os estômatos podem responder rapidamente, dependendo da umidade do ar ou do solo (TURNER et al., 1985). A não existência de oxigênio, possivelmente devido ao fechamento estomático, pode induzir a queda da respiração, comprometendo o nível energético, já que a absorção ativa precisa de energia resultante da respiração oxidante e requer oxigênio disponível no solo (SOUZA et al., 1997). Souza et al. (2000), estudando a fisiologia e produtividade do gergelim em solos com deficiência hídrica, encontraram reduções na fotossíntese a partir de dois dias de suspensão da irrigação, com decréscimo de 88%. Os mesmos autores encontraram reduções na fotossíntese e respiração na ordem de 87 e 60% com a aplicação do estresse hídrico. Embora o fechamento dos estômatos durante a redução da umidade do solo coincida com a queda no potencial de água na folha, vários experimentos também têm demonstrado decréscimos na condutância estomática, mesmo que o potencial de água na folha seja mantido constante (DAVIES et al., 1986; GOLLAN et al., 1986). Também há evidências de que a desidratação, além de afetar a fotossíntese devido à restrição ao fluxo de CO₂, tem efeitos prejudiciais diretamente sobre o aparelho fotossintético (KAISER, 1987). Austin et al. (1982) e Johnson et al. (1987) observaram diferenças significativas na fotossíntese entre as diferentes espécies de trigo.

Segundo Hsiao (1993), a diferença na transpiração entre plantas resulta de diferenças na eficiência do controle estomático, o que tem implicações para a eficiência de uso da água pelas plantas, como também, o controle estomático da transpiração, por outro lado, impõe limitações difusivas ao CO₂ que podem levar a um decréscimo na taxa fotossintética.

Pesquisadores como Neves et al. (2009) e Silva et al. (2011) mencionam que a diminuição na taxa de fotossíntese é ocasionada pelo fechamento parcial dos estômatos associados ao efeito osmótico e à toxidez iônica sobre o metabolismo das plantas submetidas às condições de salinidade. Na presente pesquisa, essa diminuição na taxa de fotossíntese provavelmente foi ocasionada pelo déficit hídrico no qual as plantas foram submetidas. James et al. (2002) afirmam que tanto a condutância estomática como a transpiração diminuem pela queda do potencial da água nas raízes ou pelo transporte de ácido abscísico para as folhas.

Pelo fator Cultivar, a fotossíntese não foi afetada em todos os períodos de aplicação do déficit hídrico (29, 40, 54, 62 e 100 DAG) com valores médios de 21,23, 22,09, 22,28, 21,08 e 14,60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para as cultivares BRS 286 e BRS 336, respectivamente (Tabela 6),

valores estes satisfatórios, pois o algodoeiro é uma planta C₃, com taxas fotossintéticas variando entre 10 e 20 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Possivelmente, o estresse hídrico imposto ao algodoeiro aumentou o déficit de pressão de vapor na folha ($\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$), o que pode originar a saída de moléculas de água das células estomáticas para o ar externo, fenômeno conhecido como evaporação peristomática (MAIER-MAERCKER, 1983), promovendo o fechamento estomático, principalmente nos tratamentos que foram submetidos ao déficit hídrico, minimizando a saída de água das células. Alguns pesquisadores, relatam em seus trabalhos os efeitos negativos do $\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$ sobre as trocas gasosas, proporcionado o fechamento estomático (ERISMANN et al., 2006; COSTA & MARENCO, 2007), reduzindo por consequência, a condutância estomática, a transpiração e fotossíntese das plantas, como observado neste trabalho.

Para eficiência instantânea no uso da água (*EiUA*) os valores médios foram de 7,59, 7,28, 6,95, 5,59 e 3,68 [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$] aos 29, 40, 54, 62 e 100 DAG, respectivamente, denotando redução da *EiUA* à medida em que se aplicou o déficit hídrico (Tabela 7). Como a *EiUA* é resultado da razão entre a fotossíntese e a transpiração, tal fato se explica pelo decréscimo da fotossíntese (taxa de assimilação do CO₂), na presente pesquisa, a partir dos 54 DAG (Tabela 6) devido ao declínio da restrição hídrica.

Tabela 7. Médias da eficiência instantânea no uso da água (*EiUA*) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$] aos 29, 40, 54, 62 e 100 DAG de duas cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas. Pombal, PB. 2015

Fator (Períodos de déficit)	Eficiência instantânea no uso da água [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$]				
	29 DAG	40 DAG	54 DAG	62 DAG	100 DAG
P1	8,19a	7,36a	6,79a	5,97a	3,79a
P2	6,71a	7,59a	6,65a	5,74a	3,95a
P3	7,56a	7,58a	6,74a	5,81a	3,70a
P4	7,50a	6,60a	7,26a	5,23a	3,48a
P5	7,72a	7,01a	6,81a	4,48a	3,64a
P6	7,86a	7,42a	7,41a	6,32a	3,54a
Média geral (Cultivares)	7,59	7,28	6,95	5,59	3,68
BRS 286	7,73a	7,45a	7,09a	5,63a	3,73a
BRS 336	7,45a	7,10a	6,80a	5,55a	3,63a
Média geral	7,59	7,28	6,95	5,59	3,68

Letras minúsculas iguais, na coluna, indicam não haver diferença significativa entre os períodos de déficit (Tukey, $p \leq 0,05$).

Observa-se menores valores absolutos de eficiência instantânea do uso da água (*EiUA*) nos períodos onde as plantas de algodoeiro passaram por restrição hídrica. Esta diminuição na *EiUA* observada nos tratamentos, pode estar associada à alteração nas taxas de assimilação de CO₂ (fotossíntese) e transpiração foliar, que ocorreram possivelmente em virtude da baixa disponibilidade de água no solo, induzindo a planta ao ajustamento osmótico foliar, refletindo

na resistência estomática e, conseqüentemente, reduzindo a taxa de assimilação do CO₂ e a transpiração foliar, afetando diretamente a *EiUA* conforme afirmações de Willadino & Camara (2004). Resultados opostos foram encontrados por Soares (2016) e Glaciano et al. (2016), que em suas pesquisas encontraram efeito significativo dos tratamentos estudados sob a eficiência instantânea do uso da água.

Larcher (2006) afirma que a melhor relação entre fotossíntese e consumo de água ocorre provavelmente quando os estômatos estão parcialmente fechados, podendo ser demonstrada a partir do momento que se dá início ao déficit hídrico quando os dois processos de difusão são prontamente reduzidos, fazendo com que a relação fotossíntese/transpiração (A/E) alcance valores mais altos. Portanto, o aumento da eficiência no uso da água pelas plantas das cultivares avaliadas neste trabalho pode ter sido favorecido pelo fechamento estomático, observado a partir dos resultados de condutância estomática, transpiração e fotossíntese. Esse resultado indica que a cultivar capaz de manter alta relação A/E sob deficiência hídrica no solo apresenta maior tolerância a essa condição

Em consonância com os resultados da condutância estomática, transpiração, e fotossíntese, a concentração interna de CO₂ (*C_i*), apresentou a mesma tendência observada para aquelas variáveis nos tratamentos sob déficit hídrico, ou seja, diminuiu o valor de *C_i* aos 29 e 40 DAG, com valor médios de 153,00 e 171,50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Os períodos de déficit reduziram a *C_i* em 23,21% (P2), 26,63% (P3), 18,71% (P4), 12,96% (P5) e 8,23% (P6), respectivamente, aos 29, 40, 54, 62 e 100 DAG em comparação com tratamento sem déficit (P1), respectivamente (Tabela 8), provavelmente em consequência do fluxo de carbono para a síntese de compostos orgânicos, o qual não estava sendo metabolizado pelo aparato fotossintético, devido à condição de estresse hídrico a qual as plantas do algodoeiro foram expostas nos diferentes períodos de déficit hídrico.

Tabela 8. Médias da concentração interna de CO₂ (*C_i*) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) aos 29, 40, 54, 62 e 100 DAG (dias após emergência) de duas cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas. Pombal, PB. 2015

Fator (Períodos de déficit)	Concentração interna de CO ₂ ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)				
	29 DAG	40 DAG	54 DAG	62 DAG	100 DAG
P1	199,25a	233,75a	189,20a	177,37a	202,00a
P2	153,00b	177,00b	177,64a	203,00a	200,75a
P3	215,87a	171,50b	196,67a	180,50a	205,12a
P4	190,62a	215,75a	153,80a	172,87a	197,25a
P5	220,62a	214,12a	188,18a	154,37a	183,00a
P6	191,87a	205,50a	183,89a	188,50a	185,37a
Média geral (Cultivares)	195,20	202,94	181,56	179,43	195,58
BRS 286	191,45a	204,08a	177,83a	179,20a	193,95a
BRS 336	198,95a	201,79a	185,29a	179,66a	197,20a

Média geral	195,20	202,94	181,56	179,43	195,58
-------------	--------	--------	--------	--------	--------

Letras minúsculas iguais, na coluna, indicam não haver diferença significativa entre os períodos de déficit (Tukey, $p \leq 0,05$).

As reduções registradas na concentração interna de CO_2 refletem as diminuições constatadas na taxa de assimilação de dióxido de carbono, o que se justifica pelo fato de que, durante o processo de trocas gasosas, a absorção de CO_2 converge na perda de água e, em sentido contrário, a redução desta perda de água restringe a assimilação de dióxido de carbono e, conseqüentemente, converge em menor concentração interna de CO_2 (SHIMAZAKI et al., 2007). Também, de acordo com Jadoski et al. (2005), a concentração interna de CO_2 no mesófilo foliar é reduzida pelo fechamento estomático com conseqüente diminuição na taxa de assimilação de dióxido de carbono o que, nesse trabalho, foi observado em todas os períodos de aplicação do déficit hídrico. Por outro lado, Raschke (1979) e Dai et al. (1992), afirmam que o aumento da taxa de assimilação de CO_2 provoca queda na concentração interna de CO_2 , exercendo forte efeito retroativo negativo podendo, conseqüentemente, causar queda na taxa de assimilação de CO_2 . No entanto, a queda na concentração interna de CO_2 , estimula maior abertura estomática, permitindo maior concentração interna de CO_2 para a cavidade subestomática (RASCHKE, 1979; DAI et al., 1992). Ressalta-se que, no presente trabalho, verificou-se aumento na taxa de assimilação de CO_2 em todos os períodos de déficit (29, 40, 54, 62 e 100 DAG), em comparação com o período sem déficit (P1), mas somente a partir do retorno da irrigação.

Larcher (2006) afirma que valores considerados elevados na concentração interna de CO_2 no interior da folha indicam que o CO_2 não está sendo utilizado para a síntese de açúcares pelo processo fotossintético, com acúmulo deste gás, indicando que algum fator não estomático está interferindo neste processo. O incremento na concentração interna de CO_2 pode ser atribuído à diminuição na condutância estomática com a aplicação dos períodos de déficit, uma resposta comum de plantas quando são submetidas ao estresse hídrico. Para Pereira et al. (2004), este tipo de comportamento evidencia a ocorrência não só de dano ao aparato fotossintético na etapa de carboxilação, mas também aumento no processo de fotorrespiração, já que a Ribulose 1-5 bifosfato carboxilase oxigenase (Rubisco) é quem catalisa o primeiro passo desta rota. Machado et al. (1999) afirmam que o aumento de C_i pode estar relacionado à queda na atividade de enzimas envolvidas no processo de fixação de CO_2 . Já Grassi & Magnani (2005), atribuem este incremento a fatores não estomáticos como redução da atividade e concentração da Rubisco, fotoinibição, taxa de transferência de elétrons e redução da eficiência fotoquímica de PSII, os quais podem prejudicar a fotossíntese.

Ao avaliar a concentração interna de CO₂ em função das cultivares de algodoeiro estudadas verificou-se valores médios de 195,20, 202,94, 181,56, 179,43 e 195,58 μmol mol⁻¹ aos 29, 40, 54, 62 e 100 DAG para as cultivares BRS 286 e BRS 336, respectivamente. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Ferraz (2012) que estudou as cultivares BRS Rubi, BRS Topázio e BRS Safira, em condições de campo, as mesmas apresentando valores médios oscilando de 182,9 a 223,7 μmol mol⁻¹, mas superiores aos encontrados por Soares (2016) com estas mesmas cultivares, obtendo valores médios oscilando de 154,69 a 172,39 μmol mol⁻¹. Já Freire et al. (2014), estudando plantas de maracujazeiro amarelo sob estresse salino, registraram *C_i* de 259,70 μmol mol⁻¹ e 229,47 μmol mol⁻¹ nas plantas que não passaram por estresse salino, evidenciando os efeitos negativos do estresse no metabolismo do carbono das plantas. Para Lancher (2006), altas concentrações de *C_i* na câmara subestomática das folhas significam que o CO₂ não está sendo utilizada pela fotossíntese, situação que indica que algum fator não estomático está interferindo nesse processo metabólico.

A eficiência intrínseca da carboxilação (*EiCi*) é uma forma de estudar os fatores não estomáticos que interferem na taxa fotossintética, uma vez que este parâmetro possui estreita relação com a concentração interna de CO₂ e com a taxa de assimilação de CO₂ (KONRAD et al. 2005; MACHADO, et al. 2010). Ao avaliar a (*EiCi*), observa-se aos 29 e 62 DAG efeito dos períodos de déficit hídrico sobre a *EiCi*, com valores médios de 0,12 e 0,06 [(μmol m⁻² s⁻¹) (μmol mol⁻¹)⁻¹] e reduções na *EiCi* de 33,33% e 57,14%, em comparação com as plantas que não passaram por déficit hídrico (P1) (Tabela 9).

Provavelmente, a redução na *EiCi* pode estar relacionada à maior concentração interna de CO₂ (*C_i*) nas plantas, também sob deficiência hídrica na fase de formação das maçãs, quando se tem uma alta demanda de água para o crescimento do fruto, que é um dreno forte, fazendo com que a planta tenha que se adaptar, fechando de forma mais efetiva os estômatos. Possivelmente, essa redução seja reflexo da baixa assimilação de CO₂, em relação ao CO₂ encontrado na câmara subestomática nestas plantas, pois é explicado que, se *C_i* aumenta e há diminuição no consumo de CO₂ nos cloroplastos, devido à redução na atividade fotossintética, à relação A/*C_i* também sofrerá redução (SUASSUNA, 2013).

Tabela 9. Médias da eficiência intrínseca da carboxilação (*EiCi*) [(μmol m⁻² s⁻¹) (μmol mol⁻¹)⁻¹] aos 29, 40, 54, 62 e 100 DAG (dias após germinação) de duas cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas. Pombal, PB. 2015

Fator (Períodos de déficit)	Eficiência intrínseca da carboxilação [(μmol m ⁻² s ⁻¹) (μmol mol ⁻¹) ⁻¹]				
	29 DAG	40 DAG	54 DAG	62 DAG	100 DAG

P1	0,12a	0,10a	0,12a	0,14a	0,07a
P2	0,08b	0,12a	0,13a	0,12a	0,07a
P3	0,10ab	0,09a	0,11a	0,13a	0,07a
P4	0,11ab	0,11a	0,12a	0,12a	0,07a
P5	0,10ab	0,10a	0,13a	0,06b	0,08a
P6	0,12a	0,11a	0,12a	0,13a	0,06a
Média geral (Cultivares)	0,11	0,11	0,12	0,12	0,07
BRS 286	0,11a	0,11a	0,12a	0,12a	0,07a
BRS 336	0,10a	0,10a	0,12a	0,11a	0,07a
Média geral	0,11	0,11	0,12	0,12	0,07

Letras minúsculas iguais, na coluna, indicam não haver diferença significativa entre os períodos de déficit (Tukey, $p \leq 0,05$).

Observa-se redução na eficiência instantânea da carboxilação aos 40, 54 e 100 DAG com aplicação dos períodos de déficit hídrico, com valores médios de 0,11, 0,12 e 0,07 $[(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}]$, como também, nos tratamentos que foram retornados a irrigar devido a possível recuperação e nem no tratamento da fase de botão floral (P3), flor (P5) e capulho (P6), pois o déficit não foi suficiente para ocasionar diferenças significativas nesta variável. Nos tratamentos que apresentaram efeito significativo, observa-se os menores valores médios nos tratamentos que foram aplicados o déficit hídrico (Tabela 9). Mesmo assim, *EiCi* possui estreita relação com a concentração intracelular de CO_2 e com a taxa de assimilação de dióxido (MACHADO et al., 2005).

Para o fator Cultivar, nos períodos de aplicação do déficit hídrico (29, 40, 54, 62 e 100 DAG) os valores médios foram de 0,11, 0,11, 0,12, 0,12 e 0,07 $[(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}]$ para as cultivares BRS 286 e BRS 336 respectivamente (Tabela 9). Resultados opostos foram encontrados por Soares (2016), estudando a tolerância de genótipos de algodoeiro colorido ao estresse salino nas diferentes fases fenológicas das plantas, e que, com a restrição de água disponível no solo, ocorreu redução significativa da *EiCi* em todas as cultivares estudadas.

Considerando que as plantas de algodoeiro foram submetidas a condições diferenciadas de déficit hídrico de acordo com suas fases fenológicas, quando também foram mensuradas as trocas gasosas, presume-se que o déficit ocasionado pela restrição de água tenha atingido o status hídrico da planta a nível estomático. Mesmo assim, segundo Marengo & Lopes (2009), nas situações de déficit hídrico moderado ou severo pode ocorrer resistência estomática em função do incremento na difusão do ácido em direção das células guardas, enquanto que, no estresse leve, os estômatos tendem a manterem-se abertos. Padilha et al. (2016) afirmam que o ácido abscísico induz ao fechamento dos estômatos, desde que sua síntese seja estimulada por meio da escassez hídrica.

Nestas circunstâncias, o fechamento estomático está relacionado com a queda do potencial hídrico foliar (PEREIRA, 2012). Portanto, acredita-se que as plantas de algodão, nos diferentes períodos de avaliação, atingiram turgescência celular com potencial para

acarretar variações estomáticas. Desta forma, explica-se que, quando as trocas gasosas em plantas sob déficit hídrico apresentam comportamento diferente das sem restrição hídrica, provavelmente os efeitos do déficit hídrico no solo exercem interferências nos processos fotossintéticos dos vegetais.

Os resultados encontrados para a concentração interna de CO₂ seguiram a mesma tendência da condutância estomática e transpiração (exceto, aos 54 DAG), já que o movimento estomático é o mecanismo que regula as trocas gasosas e incrementos na condutância estomática, significando maior influxo de CO₂ para o mesofilo foliar, resultando em maiores taxas de assimilação de dióxido de carbono (SHIMAZAKI et al., 2007).

Os tratamentos (períodos de déficit) que concederam incremento na condutância estomática, na concentração interna de CO₂ e transpiração, conseqüentemente obtiveram maior fotossíntese, denotando estreita ligação, uma vez que a condutância estomática permite maior entrada de CO₂, influenciando diretamente no desempenho fotossintético (PEREIRA, 2012).

As reduções nas variáveis de trocas gasosas estudadas neste trabalho provavelmente ocorreram devido queda da energia potencial da água nas raízes e/ou transporte de ácido abscísico para as folhas, refletindo-se em aumento da resistência estomática e decréscimo na concentração de carbono na câmara subestomática. Isso se explica pela relação direta entre trocas gasosas (estando implícita a absorção de CO₂) e a perda de água, refletindo-se o fechamento estomático em redução da transpiração e, conseqüentemente, menor concentração interna de CO₂ (SHIMAZAKI et al., 2007), provavelmente, induzindo decréscimos na fotossíntese, eficiência instantânea no uso da água e intrínseca da carboxilação. Essas reduções também podem estar aliadas ao decréscimo das reservas amiláceas nas folhas do algodoeiro em condições de déficit hídrico que podem ser explicadas considerando que o déficit de água no solo pode acarretar em reduções na síntese de assimilados e, conseqüentemente, as reservas de amido são rapidamente utilizadas pelo metabolismo da planta, razão pela qual os teores dos açúcares solúveis se mantem estáveis quando as plantas do algodoeiro são induzidas ao déficit hídrico (SOUZA et al., 2000; SOUZA & SILVA, 1983), corroborando Souza et al. (2000) os quais afirmam que o comportamento fisiológico do gergelim foi influenciado pelo déficit hídrico no solo.

Dependendo da duração do déficit hídrico no solo, o algodoeiro sofreu alterações fisiológicas em todos os períodos que as plantas foram submetidas ao déficit, e embora a atividade fotossintética seja alterada com catorze dias de déficit de água no solo, as plantas podem recuperar-se após a suspensão do déficit hídrico e retorno das irrigações, dependendo da duração em que elas permanecerem irrigadas. A redução na atividade fotossintética do

algodoeiro que ocorreu quando as plantas foram submetidas ao déficit hídrico, talvez seja devido à sua eficiência no fechamento estomático, de modo a reduzir as trocas gasosas e a transpiração do algodoeiro.

4. CONCLUSÕES

O déficit hídrico reduziu as trocas gasosas das plantas de algodoeiro herbáceo, principalmente a condutância estomática, transpiração e fotossíntese;

As cultivares de algodoeiro BRS 286 e BRS 336 apresentaram comportamento similar nas trocas gasosas nos diferentes déficits hídricos aplicados nas suas distintas fases fenológicas;

O déficit hídrico influenciou o comportamento das variáveis de trocas gasosas quando observados em diferentes fases fenológicas, exceto, a eficiência instantânea no uso de água.

As variáveis de trocas gasosas tiveram potencial de recuperação com o retorno das irrigações após o período de déficit, atribuindo tendências de resistência de déficit hídrico ao algodoeiro.

As trocas gasosas do algodoeiro foram mais sensíveis à deficiência hídricas na fase de formação das maçãs e menos afetadas nas fases de crescimento inicial e botão floral.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAPA – Associação brasileira de produtores de algodão. Números do algodão: o algodão no Brasil. Disponível em: <http://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/algodao-no-brasil.aspx>. Acesso em 19 de fevereiro de 2018.

AMARAL, J. A. B. do; SILVA, M. T. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do gergelim por manejo de irrigação. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, v.12, n.1, p.25-33, 2008.

ASHRAF, M. Inducing drought tolerance in plants. *Biotechnological Advances*, v.28, n.1, p.169–183, 2010.

AUSTIN, R. B.; MORGAN, C. L.; FORD, M. A.; BHAGWAT, S. G. Flag leaf photosynthesis of *Triticum aestivum* and related diploid and tetraploid species. *Annals of Botany*, London, v.49, n.2, p.177-189, 1982.

BELTRÃO, N. E. de M.; OLIVEIRA, M. I. P. de; SOUSA JÚNIOR, S. P. de; BRITO, G. G. de; CARDOSO, G. D. Ecofisiologia do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. *r. latifolium* Hutch.). In: BELTRÃO, N. E. de M.; OLIVEIRA, M. I. P. de. Ecofisiologia das culturas de algodão, amendoim, gergelim, mamona, pinhão-manso e sisal. Brasília: Embrapa Informação tecnológica, 2011. Cap. 2, p.65-124.

- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de Irrigação. 8ª ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 625p.
- BEZERRA, J. R. C.; SILVA e LUZ, M. J. da; PEREIRA, J. R.; SANTANA, J. C. F de; DIAS, J. M.; SANTOS, J. W dos S.; SANTOS, T da S. Rendimento e qualidade da fibra do algodoeiro herbáceo em diferentes épocas de interrupção da irrigação. Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibras, v. 7, n. 2, p.719-726, 2003.
- BERGONCI, J. I.; PEREIRA, P. G. Comportamento do potencial da água na folha e da condutância estomática do milho em função da fração de água disponível no solo. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.10, n.2, p.229-235, 2002.
- BRITO, K. S. A. Produção de algodoeiros naturalmente coloridos sob estresse salino no segundo ciclo de cultivo após poda. (Dissertação Mestrado) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB. 2015.
- CAVALCANTI, F. J. de A. (Coord.). Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª. aproximação. 2 ed. rev. Recife: IPA, 2008. 212 p.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira: Grãos. Sétimo Levantamento, Abril - 2017. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 27 abr. 2017.
- COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). Acta Amazonica, v.37, n.2, p. 229-234, 2007.
- CRUZ, R. F. D. da. Indução e recuperação do estresse hídrico em variedades portuguesas de milho. Braga: Universidade do Minho, 2006. 182p. Dissertação Mestrado.
- CHAKRABORTY K., SINGH A. L., KALARIYA K. A., GOSWAMI N., ZALA P. V. Physiological responses of peanut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars to water deficit stress: status of oxidative stress and antioxidant enzyme activities. Acta Botanica Croatica, v.74, n.1, p.123-142, 2015.
- DAI, Z.; EDWARD, G. E.; KU, M. S. B. Control of photosynthesis and stomatal conductance in *Ricinus communis* L. (Castor bean) by leaf to air vapor pressure deficit. Plant Physiology, 99(4): 1426- 1434, 1992.
- DAVIES, W. J.; METCALFE, J.; LODGE, T. A.; COSTA, A. R. da. Plant growth substances and the regulation of growth under drought. Australian Journal of Plant Physiology, Melbourne, v.13, n.1, p.105-125, 1986.
- ECHER, F. R. O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes. Cuiabá: Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMAmt), 2014, p.123p.
- ERISMANN, N. M.; MACHADO, E. C.; GODOY, I. J. Capacidade fotossintética de genótipos de amendoim em ambiente natural e controlado. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v.14, n.7, p.1099-1108, 2006.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S. M. A. Plant drought stress: Effects mechanisms and management. *Agronomy for sustainable development*, v. 29, n.1, p. 185-212, 2009.

FERRAZ, R. L de S. Crescimento, fisiologia e produção do algodoeiro sob efeito do silício via foliar. 130f. (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, PB, 2012.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

FREIRE, J. L de O.; DIAS, T. J.; CAVALCANTE, L. F.; FERNANDES, P. D.; LIMA NETO, A. J de. Rendimento quântico e trocas gasosas em maracujazeiro amarelo sob salinidade hídrica, biofertilização e cobertura morta. *Revista Ciência Agronômica*, v.45, n.1, p.82-91, 2014.

FURLAN, A.; LLANES, A., LUNA, A., CASTRO, S. Physiological and Biochemical Responses to Drought Stress and Subsequent Rehydration in the Symbiotic Association Peanut-Bradyrhizobium sp. *ISRN Agronomy*, p.1-8, 2012.

GRACIANO, E. S. A.; SANTOS, H. R. B.; NOGUEIRA, R. J. M. E. Trocas gasosas, eficiência fotoquímica e pigmentos fotossintéticos de cultivares de amendoim sob deficiência hídrica no solo. *Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science*, v.9, n.1, p.27-36, 2016.

GRASSI, G.; MAGNAMI, F. Stomatal, mesophyll conductance and biochemical limitations to photosynthesis as affected by drought and leaf ontogeny in ash and oak trees. *Plant, Cell and Environmental*, v.28, p.834-849, 2005.

GOLLAN, T.; PASSIOURA, J. B.; MUNNS, R. Soil water status affects the stomatal conductance of fully wheat and sunflower leaves. *Australian Journal of Plant Physiology*, Melbourne, v.13, n.4, p.459-464, 1986.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca II. Produtividade e componentes agronômicos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 31, n. 7, p. 481-488, 1996.

HSIAO, T. C. Growth and productivity of crops in relation to water status. *Acta Horticulturae*, v.335, p.137-147, 1993.

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

JAMES, R. A.; RIVELLI, A. R.; MUNNS, R.; VON CAEMMERER, S. Factor CO₂ assimilation, leaf injury and growth in salt-stressed durum wheat. *Functional Plant Biology*, v.29, n.12, p.1393-1403, 2002.

JOHNSON, R.; MORNHING, D. W.; FERRIS, D. M.; HEITHOLT, J. J. Leaf photosynthesis and conductance of selected *Triticum* species at different water potentials. *Plant Physiology*, Lancaster, v.83, n.4, p.1014-1017, 1987.

- KAISER, W. M. Effects of water deficit on photosynthetic capacity. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v.71, n.2, p.142-149, 1987.
- KONRAD, M. L. F.; SILVA, J. A. B.; FURLANI, P. R.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. *Bragantia*, v.64, n.3, p.339-347, 2005.
- LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: RIMA, 2006. 550 p.
- LOKA, D. A.; OOSTERHUIS, D. M.; RITCHIE, G. L. Water-deficit stress in cotton. In: OOSTERHUIS, D. M. (ed). *Stress Physiology in Cotton*, Number 7, Cotton Foundation Reference Book Series. The Cotton Foundation, Codiva Tennessee, USA, p 37-72. 2011.
- MACHADO, E. C.; MEDINA, C. L.; GOMES, M. M. A. Teor de água no substrato de crescimento e fotossíntese em laranja "Valença". *Bragantia*, v.58, p.217-226, 1999.
- MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V. Efeito da baixa temperatura noturna e do porta-enxerto na variação diurna das trocas gasosas e na atividade fotoquímica de laranja 'valência'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.32, n.2, p.351-359, 2010.
- MACHADO, E. C.; SCHMIDT, P. T.; MEDINA, C. L.; RIBEIRO, R. V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 40, n. 12, p. 1161- 1170. 2005.
- MAGALHÃES FILHO, J. R.; AMARAL, L. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranja 'valência' sobre dois tipos de porta-enxerto. *Bragantia*, v.67, n.1, p.75-82, 2008.
- MAIER-MAERCKER, U. The role of peristomatal transpiration in the mechanism of stomatal movement. *Plant, Cell and Environment*, v. 6, p.369-380, 1983.
- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO S.; PALARETTI, L. F. *Irrigação princípios e métodos*. Viçosa: Ed. UFV. 2009. 355p.
- MARENCO R. A.; LOPES N. F. *Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral*. 3ªed. Editora UFV, Viçosa. 2009, 486p.
- MELONI, D. A.; OLIVA, M. A.; MARTINEZ, C. A.; CAMBRAIA, J. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress. *Environmental Experimental Botany*, v.49, n.1, p.69-76, 2003.
- NABLE, R. O.; ROBERTSON, M. J.; BERTHELSEN, S. Response of shoot growth and transpiration to soil drying in sugarcane. *Plant and Soil*, v.207, p.59-65, 1999.
- NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F.; GUIMARÃES, F. V. A.; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B.; PRISCO, J. T.; GHEYI, H. R. Acumulação de biomassa e extração de nutrientes por plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. *Revista Ciência Rural*, v.39, n.3, p.758-765, 2009.
- PADILHA, N. S.; SILVA, C. J.; PEREIRA, S. B.; SILVA, J. A. N.; HEID, D. M.; BOTTEGA, S. P.; SCALON, S. P. Q. Crescimento inicial do pinhão-mansinho submetido a

diferentes regimes hídricos em latossolo vermelho distrófico. *Ciência Florestal*, v. 26, n. 2, p. 513-521, 2016.

PEIXOTO, C. P.; CERQUEIRA, E. C.; SOARES FILHO, W. S.; CASTRO NETO, M. T.; LEDO, C. A. S.; MATOS, F. S.; OLIVEIRA, J. G. Análise de crescimento de diferentes genótipos de citros cultivados sob déficit hídrico. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.28, p.439-443, 2006.

PEREIRA, J. M. G. Produção, trocas gasosas e estado nutricional da melancia, submetida a diferentes lâminas de irrigação e doses de boro. Fortaleza: UFC. 2012. 64p. Dissertação Mestrado.

PEREIRA, J. W. de L.; MELO FILHO, P. de A.; ALBUQUERQUE, M. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, R. C. Mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico moderado. *Revista Ciência Agronômica*, v.43, p.766-773, 2004.

RASCHKE, K. Movements using turgor mechanisms. In: HAUPT, W. & FEINLEIB, M.E., eds. *Physiology of movements*. Berlin, Springer-Verlag, 1979. v. 7, p.383-441. (Encyclopedia of plant physiology).

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações, São Paulo: Editora Manole, 2004, 478p.

ROCHA, D. G da F.; TÁVORA, F. J. F. Relações hídricas de plantas em feijão-de-corda submetida à deficiência hídrica na fase vegetativa. *Enciclopédia Biosfera. Centro Científico Conhecer*, v.9, n.16, p.2967-2974, 2013.

ROZA, F. A. Trocas gasosas foliares e crescimento de *Jatropha curcas* L. na fase reprodutiva sob estresse hídrico. (Dissertação Mestrado) Ilhéus, Bahia, Brasil – UESC, 2010. 78p.

SHIMAZAKI, K. I.; DOI, M.; ASSMANN, S. M.; KINOSHITA, T. Light regulation of stomatal movement. *Annual Review of Plant Biology*, v.58, p.219-247, 2007.

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; AZEVEDO NETO, A. D de; SANTOS, V. F dos. Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. *Acta Botânica Brasílica*, v.17, n.2, p.231-246, 2003.

SILVA, E. N. da; RIBEIRO, R. V.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut Young plants. *Scientia Agricola*, v.68, n.1, p.62-68, 2011.

SILVA, R. A.; SILVA, V. P. R. da; CAVALCANTI, E. P.; SANTOS, D. N. dos. Estudo da variabilidade da radiação solar no nordeste do brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.14, n.5, p.501-509, 2010.

SOARES, L. A dos A. Tolerância de genótipos de algodoeiros naturalmente coloridos ao estresse salino cumulativo. Campina Grande: UFCG, 2016. 105p. Tese Doutorado.

SOUZA, J. G. de; BELTRÃO, N. E. de M.; SANTOS, J. W. dos. Influência da saturação hídrica do solo na fisiologia do algodão em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrósas*, v.1, n.1, p.63-71, 1997.

SOUZA, J. G. de; BELTRÃO, N. E. de M.; SANTOS, J. W. dos. Fisiologia e produtividade do gergelim em solos com deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, v.4, n.3, p.163-168, 2000.

SUASSUNA, J. F. Tolerância de genótipos de gergelim ao estresse salino. (Tese Doutorado). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB, 2013.

SUN, Y.; NIU, G.; ZHANG, J.; DEL VALLE, P. Growth responses of an interspecific cotton breeding line and its parents to controlled drought using an automated irrigation system. *The Journal of Cotton Science*, v.19, n.2, p.290-297, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER E. *Fisiologia vegetal*. 5. ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2013. 953 p.

TURNER, N.C.; SCHULZE, E.-D.; GOLLAN, T. The responses of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water content. II. In mesophytic herbaceous species *Helianthus annuus*. *Oecologia*, Berlin, v.65, n.3, p.348-355, 1985.

VASCONCELOS, U. A. A.; CAVALCANTI, J. J. V.; FARIAS, F. J. C.; VASCONCELOS W. S.; SANTOS; R C dos. Diallel analysis in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) for water stress tolerance. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v.18. p.24-30, 2018.

WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. Origen y naturaleza de los ambientes salinos. In: REIGOSA, M. J.; PEDROL, N.; SÁNCHEZ, A. (ed.). *La ecofisiología vegetal – Uma ciencia de síntesis*. Madrid: Thompson, 2004. p. 303 - 330.

CAPÍTULO II

Componentes da produção e eficiência hídrica de cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico

ARAÚJO, W. P. **Componentes da produção e eficiência hídrica de cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola – Irrigação e Drenagem), Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, Brasil.

RESUMO

Nos últimos cinco anos, a região semiárida brasileira enfrenta dificuldades devido à escassez hídrica, a qual se caracteriza como um dos principais estresses abióticos no manejo da irrigação de diversas culturas, dentre elas, o algodoeiro, refletindo nos aspectos dos

componentes da produção, sendo necessárias alternativas no sentido de potencializar a produção em detrimento da disponibilidade limitada de água nesta região. Nesse contexto, objetivou-se, com esse trabalho, estudar o efeito do déficit hídrico aplicado nas diferentes fases fenológicas nos componentes da produção e na eficiência hídrica das cultivares BRS 286 e BRS 336 de algodoeiro herbáceo, visando relacionar o uso racional da água com a produção sustentável da cultura no semiárido paraibano e com o manejo mais adequado da irrigação. O experimento foi conduzido em condições de campo, na Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campus de Pombal, PB. Os tratamentos foram formados em esquema de parcelas subdivididas, constituindo-se, as parcelas, por 6 períodos (P) de déficit hídrico [P1 = tratamento sem aplicação do déficit (testemunha 100% irrigada durante todo o ciclo), P2 = déficit hídrico na fase de crescimento inicial, P3 = déficit hídrico na fase de aparecimento do primeiro botão floral, P4 = déficit hídrico na fase de aparecimento da primeira flor, P5 = déficit hídrico na fase de aparecimento da primeira maçã e P6 = déficit hídrico na fase de aparecimento do primeiro capulho] e, as subparcelas, por 2 cultivares (C) de algodoeiro herbáceo (C1 = BRS 286 e C2 = BRS 336), no delineamento blocos casualizados, com 4 repetições. Foram avaliados o número de capulhos por planta, peso médio do capulho, produtividade de algodão em caroço, rendimento de algodão em pluma, percentagem de fibra e eficiência de uso da água. A ocorrência de déficit hídrico durante as fases de surgimento de flores e maçãs foram as mais prejudiciais aos componentes da produção, com substanciais perdas e as que ofereceram as menores eficiências do uso de água do algodoeiro. Os componentes da produção da cultivar BRS 286, perante os déficits hídricos testados, foram superiores aos obtidos na cultivar BRS 326, exceto no peso médio dos capulhos. A eficiência de uso da água pelo algodoeiro herbáceo, perante os déficits hídricos testados, foi estatisticamente igual para ambas as cultivares.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* H., estresse, variáveis agronômicas

CHAPTER II

Production components and water use efficiency of upland cotton cultivars under water deficit application strategies

ARAÚJO, W. P. **Production components and water use efficiency of upland cotton cultivars under water deficit application strategies**. 2018. Thesis (Doctorate in Agricultural Engineering - Irrigation and Drainage), Graduate in Agricultural Engineering, UFCG, Campina Grande-PB, Brazil.

ABSTRACT

In the last five years, the Brazilian semi-arid region is facing difficulties due to the water scarcity, which has been characterized as one of the main abiotic stresses in the irrigation

management of several crops, among them, the cotton, reflecting on the aspects of the production components, being necessary alternatives to maximize production at the expense of the limited availability of water in this region. In this context, the objective of this work, was to study the effect of the water deficit applied in the different phenological phases in the components of the production and the water use efficiency of upland cotton cultivars BRS 286 and BRS 336, aiming to relate the rational use of water to sustainable crop production in the semi-arid region of Paraíba and with the most appropriate management of irrigation. The experiment was conducted under field conditions, at Campina Grande Federal University – UFCG, Campus of Pombal, Paraíba State, Brazil. The treatments were formed by a split plot scheme, consisting, the plots, of 6 water deficit periods (P) [P1 = treatment without deficit (control, 100% irrigated throughout the cycle), P2 = water deficit in the initial growth phase, P3 = water deficit at the onset of the first flower bud phase, P4 = water deficit at the onset of the first flower phase, P5 = water deficit at the onset of the first fruit phase, and P6 = water deficit at the onset of the first open fruit phase) and, the subplots, of 2 upland cotton cultivars (C) (C1 = BRS 286 and C2 = BRS 336), in a randomized block design, with 4 replicates. Open fruit number per plant, open fruit average weight, cotton yield, fiber yield, fiber percentage and water use efficiency were evaluated. The occurrence of water deficit during the phases of emergence of flowers and apples were the most detrimental phases to the components of cotton production, with substantial losses, and also the phases that produced the lowest water use efficiency. The components of production of the BRS 286 cultivars were higher than those found for the BRS 326 cultivar, except for the mean weight of buds. Water use efficiency of the herbaceous cotton was statistically similar in both cultivars.

Keywords: *Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* H., stress, agronomic variables.

1. INTRODUÇÃO

A cultura do algodão tem grande importância econômica a nível mundial, como também é considerada uma das principais culturas de grande expressão na economia do Brasil. Segundo CONAB (2017), a área plantada com algodão na safra de 2016/17 no país foi de 930,4 mil hectares, sendo a produção em pluma, na mesma safra, de 1.473,2 mil toneladas. Na região Nordeste, a produção foi de 361,0 mil toneladas em que o Estado da Paraíba contribuiu com 0,1 mil toneladas de algodão em pluma.

De acordo com Faggion et al. (2009), o reconhecimento de que a água é um recurso natural finito cada vez mais escasso impõe a necessidade de sistemas de produção mais eficientes para garantir a sustentabilidade da agricultura irrigada. Snowden et al. (2013)

afirmam que o decréscimo na disponibilidade hídrica pode acarretar uma necessidade de alterações e adaptações nas estratégias de irrigação, visto que em muitas regiões a rega poderá ser limitada pela baixa disponibilidade hídrica. Desta forma, torna-se imprescindível um manejo da irrigação para que exista o uso racional da água na produção agrícola, aumentando a eficiência da irrigação.

Na região semiárida, o cultivo de algodão irrigado é uma boa alternativa, devido esta apresentar características climáticas que contribuem para a produção de fibras de ótima qualidade e, em áreas irrigadas, aquele pode alcançar excelentes produtividades (BRITO et al., 2011). No entanto, devem-se buscar, nas pesquisas, melhorias no manejo da irrigação do algodoeiro, visando a obtenção de elevadas produtividades, alta qualidade de fibra e maior eficiência de uso de água pela cultura (ZONTA et al., 2015). O uso eficiente da água com conhecimento adequado e a utilização de alternativas que otimizem o seu uso podem contribuir para aumentar a sua disponibilidade, reduzindo problemas de déficit provocados pelo aumento da demanda social em relação a oferta ambiental (FAGGION et al., 2009).

Na cultura do algodoeiro, existe uma presença marcante da interação genótipo e ambiente, assim, não se deve esperar que um único cultivar possa adaptar-se a todas as regiões de cultivo do Brasil, sendo importante a identificação de cultivares mais adequadas a cada região (CARVALHO et al., 1995). Estudar diferentes cultivares de algodoeiro com aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas na região semiárida é importante, visto ser possível encontrar cultivares que apresentem respostas diferentes quando submetidas a supressão hídrica em determinada fase do ciclo, o que poderá acarretar em maior eficiência de uso da água e do sistema de produção da cultura. Além disso, Zonta et al. (2015) afirmam que é pertinente testar até que ponto as novas cultivares respondem à irrigação, visto que muitas delas foram desenvolvidas para condições de Cerrado e seus coeficientes de cultivo podem estar subestimados para as condições do Semiárido. Conhecer qual a fase do ciclo do algodoeiro mais tolerante ao estresse hídrico pode auxiliar na tomada de decisão de se fazer irrigação com déficit hídrico controlado em algumas fases do desenvolvimento, economizando água sem perdas de produtividade, além de auxiliar na tomada de decisão de se fazer ou não a irrigação suplementar em períodos de estiagem. Araújo et al. (2013) afirmam que o sucesso de um bom desempenho agrônomico do algodoeiro herbáceo dependerá da escolha correta da cultivar a ser plantada, do ambiente e do manejo cultural, sendo necessário conhecer as características agrônomicas e industriais de cultivares comercializadas no Brasil a fim de se assegurar, aos produtores, escolhas que lhes sejam técnica e economicamente vantajosas. O mesmo autor complementa que a utilização de cultivares que se adaptem às diferentes condições edafoclimáticas constitui fator essencial para se obter incremento na

produtividade de qualquer cultura. Segundo Shah et al. (2010), no cultivo do algodoeiro herbáceo, a caracterização das fases de desenvolvimento da cultura pelo parâmetro cronológico resulta em variações de suma importância quanto ao estágio real fenológico, em comparação a ambientes e/ou anos diferentes, sendo altamente influenciáveis pelo meio ambiente e pela cultivar escolhida, sobretudo quanto às suas exigências térmicas. Segundo Araújo et al. (2013), o conhecimento referente às variações no algodoeiro durante o desenvolvimento desse estágio fenológico é fundamental para a orientação do manejo cultural da espécie.

Portanto, neste capítulo, objetivou-se estudar o efeito do déficit hídrico aplicado nas diferentes fases fenológicas nos componentes da produção e na eficiência hídrica das cultivares BRS 286 e BRS 336 de algodoeiro herbáceo, visando relacionar o uso racional da água com a produção sustentável da cultura no semiárido paraibano e com o manejo mais adequado da irrigação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em condições de campo entre os meses de junho a dezembro de 2015 na área experimental do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA), pertencente à Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Pombal, PB, localizada nas seguintes coordenadas geográficas: latitude $06^{\circ} 47' 52,15''$ S, longitude $37^{\circ} 48' 10''$ W e 175 m de altitude em relação ao nível médio do mar - NMM, distante 401 km da capital da Paraíba (João Pessoa).

Segundo a classificação de Koppen, o clima predominante da região é do tipo BSh, ou seja, semiárido quente e seco, apresentando um período de chuvas irregulares entre os meses de fevereiro a junho e um período de seca entre os meses de julho a janeiro com precipitação média anual de 750 mm e evapotranspiração média anual de 2000 mm.

O solo é um Neossolo Flúvico (aluvião), área plana, no qual coletou-se amostras nos intervalos de profundidades de 0-20 e 20-40 cm, as quais foram encaminhadas ao Laboratório de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal de Campina Grande – LIS/UFCG, Campina Grande, PB, para análise e caracterização dos atributos físico-hídricos (Tabela 1) e químicos (Tabela 2).

Tabela 1. Atributos físico-hídricos do solo da área experimental. Pombal, PB. 2015

Fração Granulométrica	%	Potencial matricial	Conteúdo de água (% base solo seco)	
			0 - 20 cm	20 - 40 cm
Areia	80,00			
Silte	14,51	0,1 atm	15,33	15,66
Argila	5,49	0,33 atm	11,69	10,84
		1,0 atm	8,45	7,96
Classificação Textural	Areia Franca	5,0 atm	5,45	5,55
Densidade do Solo	1,48	10,0 atm	5,22	5,14
Densidade de Partículas	2,64	15,0 atm	4,95	4,31
Porosidade (%)	43,94	Água disponível	6,74	6,53

Fonte. Laboratório de Irrigação e Salinidade, UFCG, Campina Grande, PB.

Tabela 2. Atributos químicos do solo da área experimental. Pombal, PB. 2015

Características químicas	Intervalo de Profundidade	
	0 - 20 cm	20 - 40 cm
Complexo sortivo (cmol_c/dm³)		
Cálcio (Ca ²⁺)	4,28	4,03
Magnésio (Mg ²⁺)	1,40	1,89
Sódio (Na ⁺)	0,14	0,15
Potássio (K ⁺)	0,42	0,27
Fosforo Assimilável (mg 100g⁻¹)	51,5	49,0
Nitrogênio (%)	0,07	0,05
Matéria Orgânica (%)	1,16	0,78
Extrato de Saturação		
pH _{ps}	6,45	6,46

CE _{es} (mmhos cm ⁻¹)	1,17	0,80
Cloreto (meq L ⁻¹)	6,25	5,50
Carbonato (meq L ⁻¹)	0,00	0,00
Bicarbonato (meq L ⁻¹)	3,80	4,60
Sulfato (meq L ⁻¹)	Ausência	Ausência
Cálcio (Ca ²⁺) (meq L ⁻¹)	10,00	4,00
Magnésio (Mg ²⁺) (meq L ⁻¹)	10,12	6,87
Sódio (Na ⁺) (meq L ⁻¹)	2,56	2,37
Potássio (K ⁺) (meq L ⁻¹)	1,76	0,35
Salinidade	Não salino	Não salino
Classe do solo	Normal	Normal

Fonte. Laboratório de Irrigação e Salinidade, UFCG, Campina Grande, PB.

Utilizou-se na irrigação água captada no Rio Piancó, perenizado pelo açude de Coremas, pertencente à Bacia Hidrográfica do Piranhas-Açu. O fornecimento de água se deu diariamente por meio de tanque pipa e armazenamento em cisterna no CCTA, próximo a área experimental. A caracterização química e a classificação quanto ao risco de salinização da água utilizada, encontra-se no Quadro 1.

Quadro 1. Caracterização química e classificação da água de irrigação. Pombal, PB. 2015

pH	7,44	Carbonatos (meq L ⁻¹)	0,00
Condutividade Elétrica (dS.m ⁻¹)	0,315	Bicarbonato (meq L ⁻¹)	1,6
Cálcio (meq L ⁻¹)	0,61	Cloretos (meq L ⁻¹)	0,88
Magnésio (meq L ⁻¹)	0,75	Sulfatos (meq L ⁻¹)	Presente
Sódio (meq L ⁻¹)	1,46	Relação de Adsorção de Sódio (RAS)	1,78
Potássio (meq L ⁻¹)	0,19	Classe	C ₂ S ₁

Fonte: Laboratório de Irrigação e Salinidade, UFCG, Campina Grande, PB.

A água apresentou salinidade C₂S₁ (CE = 0,315 dSm⁻¹) e baixa razão de adsorção de sódio (RAS = 1,78), podendo ser usada para irrigação sempre que houver um grau moderado de lixiviação e cuidados especiais no preparo do solo.

Instalação e Condução do Experimento

O preparo da área foi realizado de forma mecanizada, inicialmente com limpeza da área, seguido por aração e gradagem, visando o destorroamento e nivelamento do solo; em seguida, procederam as seguintes etapas: (1) marcação, com uso de piquetes, da área experimental; (2) adubação de fundação; (3) montagem do sistema de irrigação, e (4) plantio.

Em função dos resultados da análise química do solo, as adubações foram realizadas em três épocas. A primeira, em fundação, com aplicação de 30 kg ha⁻¹ de Nitrogênio (N), 40 kg ha⁻¹ de Fósforo (P₂O₅) e 10 kg ha⁻¹ de Potássio (K₂O), na forma de uréia, superfosfato simples

e cloreto de potássio, respectivamente; a segunda e a terceira, em cobertura, efetuadas no surgimento dos botões florais (30 a 40 dias após germinação - DAG) e no florescimento médio (60 a 70 DAG), com aplicação de 30 kg ha⁻¹ de Nitrogênio (N) e 5 kg ha⁻¹ de Potássio (K₂O) na forma de ureia e cloreto de potássio, respectivamente, em cada cobertura, conforme recomendação para o algodoeiro (CAVANCANTI et al., 2008). Não houve necessidade de calagem.

As cultivares de algodoeiro herbáceo foram plantadas em fileiras simples no espaçamento de 1,0 m entre linhas x 0,10 m entre plantas. As cultivares de algodoeiro herbáceo foram plantadas em fileiras simples, com espaçamento de 1,0 m entre linhas x 0,10 m entre plantas. Cada subparcela foi constituída de uma linha de 6 m de comprimento por 1 m de largura, com área útil cada de 4 m², deixando 1 m de cada lado para efeito de bordadura. Cada bloco ficou com área de 144 m² e a área total do experimento foi de 24 m x 27 m (648 m²).

A aplicação de água foi realizada por um sistema de irrigação localizado, com fitas gotejadoras e emissores espaçados por 10 cm. Cada tratamento foi constituído por uma linha lateral, espaçada das demais linhas por 1 m x 1 m com 6 metros de comprimento, cada. As fitas gotejadoras (linha lateral) foram conectadas a uma linha secundária de tubo PVC com diâmetro de 32 mm. Cada linha lateral continha um registro de passagem para aplicar os tratamentos determinados para cada fase. A tubulação principal foi composta por um tubo de PVC de 50 mm.

Posteriormente, após a montagem do sistema de irrigação e início da condução do experimento, foi realizado teste de distribuição de água no campo. Através deste, verificou-se que a precipitação média aplicada e medida foi de 8,86 mm de água h⁻¹, sendo a eficiência de uniformidade de aplicação (Ea) determinado como sendo 91%, conforme metodologia de Bernardo et al. (2008).

Manejo da irrigação

As irrigações foram efetuadas diariamente, sempre pela manhã, baseadas na disponibilidade de água no solo para as plantas. O volume de água de reposição foi calculado considerando a água evapotranspirada pela cultura representada como a diferença entre o conteúdo de água do solo na capacidade de campo e o conteúdo atual de água médio do solo medido nas profundidades de 0,10; 0,20; 0,30 e 0,40 m, mensurados antes das irrigações. O conteúdo atual de água do solo foi determinado pelo método da reflectometria no domínio do

tempo (TDR), por meio de uma sonda Delta-T-PR2 introduzida através de tubos de acesso instalados em cada tratamento.

De posse dos dados do conteúdo atual de água do solo, e com auxílio de uma planilha eletrônica editada no Excel, onde foram registrados os valores diários do conteúdo atual de água do solo e a disponibilidade de água para as plantas, calculou-se a lâmina de reposição de água e o tempo da irrigação para os tratamentos, servindo de base para a determinação da Lâmina Líquida de Irrigação (LLIR), usando-se a Equação 01, adaptada de Mantovani et al. (2009).

$$LLIR = (CC - UA) / 10 \times D \times Z \quad (\text{Eq. 01})$$

Onde: LLIR: Lâmina líquida de irrigação (cm);
CC: capacidade de campo (% base solo seco);
UA: umidade atual do solo (% base solo seco);
D: densidade do solo;
Z: profundidade efetiva da raiz (cm).

A lâmina bruta de irrigação (LBIR) foi determinada a partir dos dados da LLIR e da eficiência de aplicação da irrigação (Ea) do sistema de irrigação utilizado, usando-se a Equação 02.

$$LBIR = LLIR/Ea \quad (\text{Eq. 02})$$

De posse do valor referente à lâmina de 100%, o tempo necessário de aplicação da lâmina de reposição foi calculado usando-se a Equação 03.

$$TI = LBIR / I_a \quad (\text{Eq. 03})$$

Onde: TI: tempo de irrigação (h);
I_a: intensidade de aplicação do sistema (mm h⁻¹).

Na Figura 1, apresenta-se a Umidade Relativa Máxima (%), a Mínima (%) e a Média (%) observadas durante os 117 Dias do experimento. As medições foram feitas, sempre às 9:00 e 15:00 horas, por meio de dois termohigrômetros instalados na área experimental.

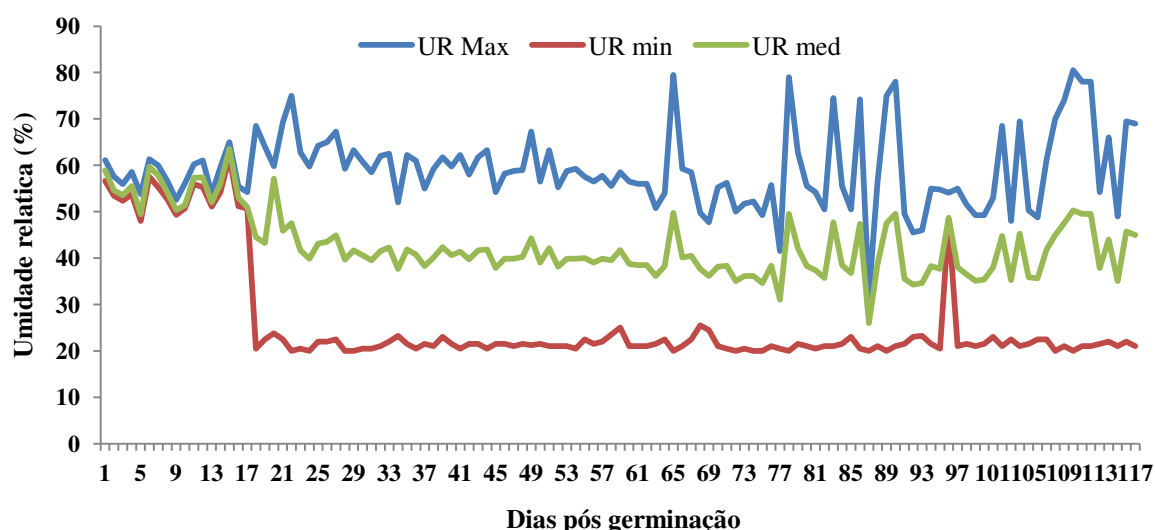


Figura 1. Umidade Relativa Máxima (*UR Max*) (%), Mínima (*UR Min*) (%) e Média (*UR Med*) (%) observadas durante os 117 dias pós germinação do algodoeiro herbáceo. Pombal, PB. 2015

Na Figura 2, apresenta-se a Temperatura Máxima ($^{\circ}\text{C}$), Mínima ($^{\circ}\text{C}$) e Média ($^{\circ}\text{C}$) durante os 117 dias do experimento.

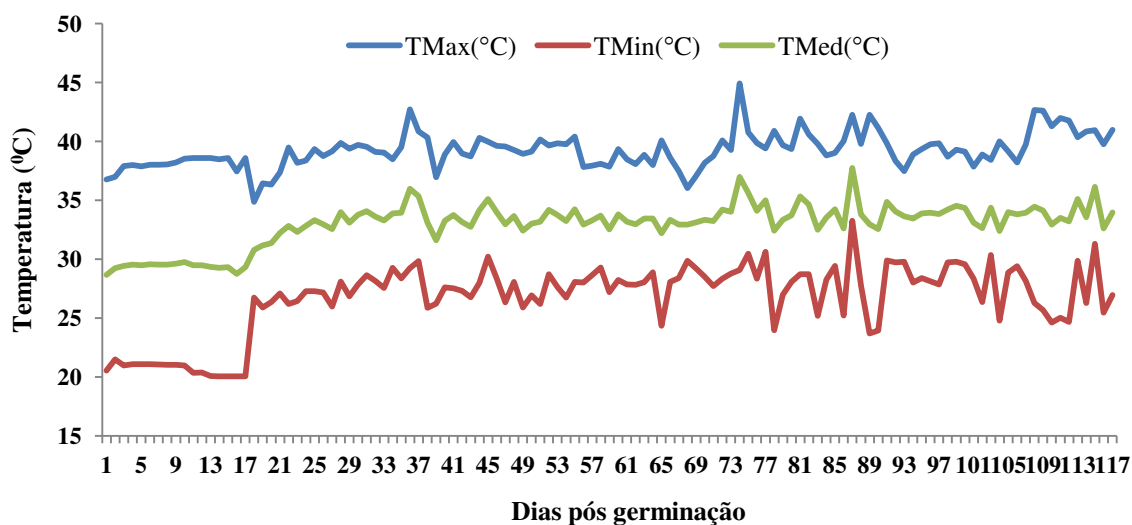


Figura 2. Temperatura Máxima (*TMax*) ($^{\circ}\text{C}$), Mínima (*TMin*) ($^{\circ}\text{C}$) e Média (*TMed*) ($^{\circ}\text{C}$), diárias observadas durante os 117 dias pós germinação do algodoeiro herbáceo. Pombal, PB. 2015

As temperaturas do ar foram medidas com um termômetro de mercúrio e a precipitação pluviométrica com um pluviômetro instalado próximo ao experimento. A Evapotranspiração de Referência (E_{To}) calculada pelo método proposto por Hargreaves e Samani, seguindo metodologia contida em Mantovani et al. (2009) através da Equação 04.

$$E_{To} = 0,0023 Ra (T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n})^{0,5} (T_{m\acute{e}d} + 17,8) \quad (\text{Eq. 04})$$

Onde: T_{máx}, T_{mín}, T_{méd}, em °C, representam, respectivamente, as temperaturas, máximas, mínimas e médias e Ra a radiação solar no topo da atmosfera.

Tratamentos e Delineamento experimental

Os tratamentos foram formados por um esquema de parcelas subdivididas, constituindo-se, as parcelas, por 6 períodos (P) de déficit hídrico [P1 = tratamento sem déficit (testemunha, 100% irrigada durante todo o ciclo), P2 = déficit hídrico na fase de crescimento inicial, P3 = déficit hídrico na fase de aparecimento do primeiro botão floral, P4 = déficit hídrico na fase de aparecimento da primeira flor, P5 = déficit hídrico na fase de aparecimento da primeira maçã e P6 = déficit hídrico na fase de aparecimento do primeiro capulho] e, as subparcelas, por 2 cultivares (C) de algodoeiro herbáceo (C1 = BRS 286 e C2 = BRS 336), no delineamento blocos casualizados, totalizando 48 subparcelas experimentais. Depois de aplicado o período de estresse hídrico por respectiva fase fenológica, o qual durou 14 dias em cada tratamento, estes voltaram a ser irrigados até o final do ciclo da cultura. Cada subparcela foi constituída de uma linha de 6 m de comprimento, espaçada das demais por 1 m de largura, com área útil de 4 m², deixando 1 m de cada lado para efeito de bordadura. Cada bloco ficou com área de 144 m² e a área total do experimento foi de 24 m x 27 m (648 m²) (Figura 3).

BLOCO I		BLOCO II		BLOCO III		BLOCO IV	
P2	C1	P5	C1	P6	C1	P4	C1
	C2		C2		C2		C2
P5	C2	P6	C2	P4	C2	P1	C2
	C1		C1		C1		C1
P6	C1	P4	C1	P1	C1	P3	C1
	C2		C2		C2		C2
P4	C2	P1	C2	P3	C2	P2	C2
	C1		C1		C1		C1
P1	C1	P3	C1	P2	C1	P5	C1
	C2		C2		C2		C2
P3	C2	P2	C2	P5	C2	P6	C2
	C1		C1		C1		C1

Figura 3. Croqui do experimento. Pombal, PB. 2015. Legendas: P = períodos de déficit hídrico; C = cultivares.

Variáveis analisadas

Componentes de produção do algodoeiro

Os componentes da produção avaliados foram o número de capulhos por planta, o peso médio de capulho, a percentagem de fibra e a produtividade de algodão em caroço.

O número de capulhos por planta foi determinado pela contagem do seu total por planta na subparcela. O peso médio de 1 capulho determinado, por subparcela, pela média do peso de algodão em caroço dos 20 capulhos colhidos na amostra padrão por ocasião da colheita.

A percentagem de fibra pela pesagem da pluma após beneficiamento dos mesmos, fazendo a relação percentual entre o peso total de pluma obtido e o peso total de algodão em caroço da citada amostra.

A produtividade de algodão em caroço foi determinada colhendo-se e pesando-se a produção de algodão em caroço da área útil de cada subparcela, extrapolando-se por hectare (kg ha^{-1}). Já a produtividade média de algodão em pluma, foi calculada pela multiplicação do rendimento médio de algodão em caroço pela percentagem de fibra.

Eficiência no uso da água

A eficiência no uso da água (EUA) ou produtividade da água foi definida como a razão entre a produtividade encontrada (Y_a) (kg ha^{-1}) e o total de água utilizado durante o ciclo (L_a) ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) para cada tratamento considerado no estudo, sendo expresso em kg m^{-3} (GEERTS & RAES, 2009).

Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância através do teste F, sendo as médias dos níveis ou tratamentos dos fatores, ambos qualitativos, comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 2, se encontram os tratamentos das estratégias de aplicação de déficit hídrico nas diferentes fases fenológicas das cultivares de algodoeiro herbáceo avaliadas, especificando, por datas e idade das plantas do período quando os déficits foram aplicados. As lâminas de irrigação totais aplicadas durante o ensaio nas cultivares de algodoeiro herbáceo foram de 732,41; 686,65; 608,39; 603,53; 610,85 e 649,67 mm, respectivamente, nos tratamentos P1, P2, P3, P4, P5 e P6.

Quadro 2. Detalhamento dos tratamentos das estratégias de aplicação de déficit hídrico. Pombal, PB. 2015

Tratamentos	Período de aplicação do déficit	Início do déficit	Final do déficit	Dias com irrigação após déficit
Sem déficit (P1)	-	-	-	-
Déficit na fase de crescimento inicial (P2)	22/07 a 04/08 (14 dias)	29 DAG	43 DAG	71
Déficit na fase de botão floral (P3)	03/08 a 16/08 (14 dias)	40 DAG	54 DAG	60
Déficit na fase de flor (P4)	18/08 a 31/08 (14 dias)	54 DAG	68 DAG	46
Déficit na fase de maçã (P5)	26/08 a 08/09 (14 dias)	62 DAG	76 DAG	38
Déficit na fase de capulho (P6)	03/10 a 16/10 (14 dias)	100 DAG	114 DAG	0

DAG = dias após germinação

Devido a maior concentração de raízes do algodoeiro na camada de 0,0 a 0,40 m de profundidade, conforme Amaral & Silva (2008), os perfis de umidade do solo foram avaliados nesta camada, em todos os tratamentos de períodos de déficit hídrico (Figura 3), comparando estes aos conteúdos de água na Capacidade de campo ($22,9 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), Ponto de Murcha Permanente ($6,9 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e Conteúdo de Água Disponível ($16,08 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$).

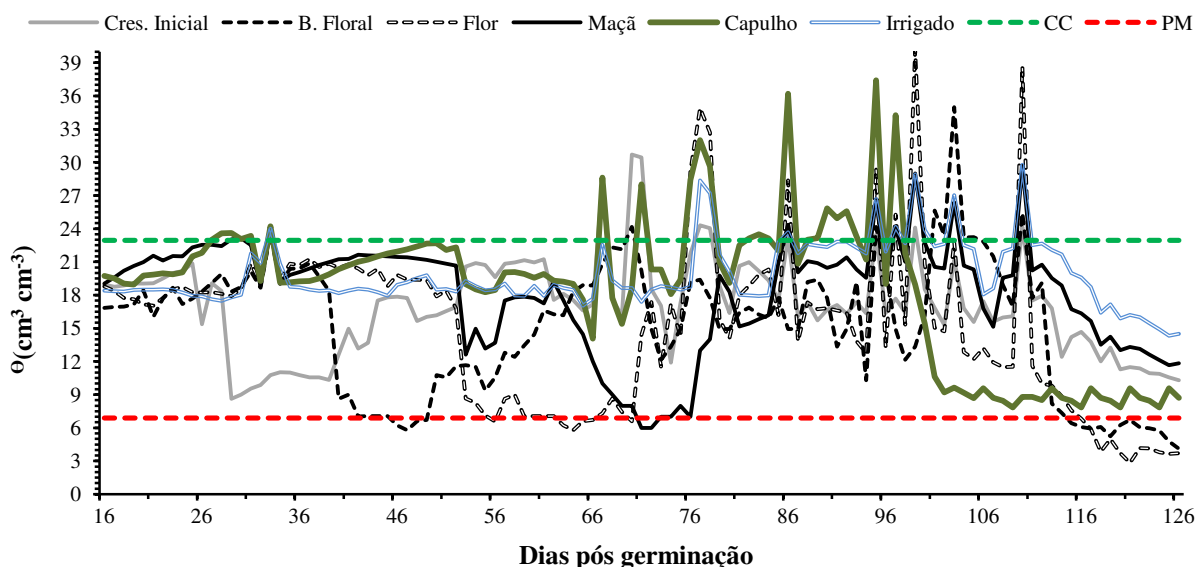


Figura 4. Variação do conteúdo de água do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) na camada de 0-40 cm de profundidade do solo durante 126 dias pós germinação do algodoeiro herbáceo para os diferentes tratamentos de déficit hídrico. Pombal, PB. 2015 (CC = capacidade de campo; PM = ponto de murcha)

De acordo com a Figura 4, observa-se que a umidade no solo, ao final de cada período de déficit hídrico nos estágios foi bem próxima do ponto de murcha permanente (linha em vermelho - que representa o limite inferior do Ponto de Murcha Permanente), o que demonstra que a planta realmente estava sob estresse hídrico. Segundo Sun et al. (2015), a tolerância ao estresse hídrico depende do estágio de crescimento da planta e, quando ocorre déficit hídrico em estágios críticos, como o reprodutivo, o crescimento e desenvolvimento da planta pode ser afetado. Assim, é muito provável que no presente estudo as funções metabólicas da planta e pelos tanto os componentes da produção e a eficiência hídrica do algodoeiro tenham sido severamente afetadas.

3.1. Componentes da produção e eficiência hídrica

Houve efeito significativo ($p \leq 1\%$) do fator Período de déficit (P) sobre o número de capulhos por planta, peso médio de capulho, produtividade de algodão em caroço, produtividade de algodão em pluma, percentagem de fibra e eficiência de uso da água

Tabela 3. Resumo da análise de variância do número de capulhos por planta (NCP_adimensional), peso médio de capulho (PMC_g), produtividade de algodão em caroço (ProdAC_kg ha⁻¹), produtividade de algodão em pluma (ProdAP_kg ha⁻¹), percentagem de fibra (PF %) e eficiência de uso da água (EUA_kg m⁻³) de duas cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas. Pombal, PB. 2015

FV	GL	Quadrados médios					
		NCP	PMC	ProdAC	ProdAP	PF	EUA
Blocos	3	2,48	0,01	180438,55	24812,51	2,77	0,0042
Período déficit (P)	5	115,82 ^{**}	2,32 ^{**}	11515815,40 ^{**}	1950556,14 ^{**}	8,65 ^{**}	0,1796 ^{**}
Erro 1	15	3,66	0,12	565194,48	97831,48	0,84	0,0135
Cultivar (C)	1	56,87 ^{**}	9,72 ^{**}	184973,56 ^{ns}	590693,37 ^{**}	403,68 ^{**}	0,0056 ^{ns}
(P x C)	5	2,40 ^{ns}	0,53 ^{**}	314496,20 ^{ns}	27220,60 ^{ns}	4,32 ^{ns}	0,0071 ^{ns}
Erro 2	18	2,33	0,07	122054,23	19502,74	0,89	0,0028
Total	47						
Média Geral		8,72	6,23	2971,01	1235,93	41,57	0,45
CV 1 (%)		21,95	5,70	25,30	25,31	2,21	25,84
CV 2 (%)		17,50	4,29	11,76	11,30	2,27	11,87

^{ns}, ^{**} e ^{*}, não significativo e significativo a $p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$, respectivamente (teste de F).

O fator Cultivar (C), influenciou o número de capulhos por planta, peso médio 1 capulho, produtividade de algodão em pluma e percentagem de fibra ($p \leq 1\%$). Em relação à interação (P x C) entre os fatores houve efeito apenas para peso médio de capulho ($p \leq 1\%$) (Tabela 3). Isto corrobora Bezerra et al. (2003) que, estudando o efeito do déficit hídrico no solo sobre o rendimento e a fibra do algodoeiro herbáceo cultivar BRS 201, relataram que o rendimento foi afetado pelo déficit de umidade nas diversas fases do desenvolvimento da cultura, apresentando significância a nível de 1% de probabilidade; Zonta et al. (2015), avaliando o efeito da irrigação no rendimento e qualidade de fibras do algodoeiro, também encontraram diferença significativa a nível de 1% de probabilidade para os fatores estudados, assim como Zonta et al. (2017), avaliando a resposta do algodoeiro ao déficit hídrico em diferentes fases do ciclo de cultivo, também encontraram diferença significativa a nível de 1% de probabilidade para os fatores estudados.

Analisando o efeito das estratégias de aplicação de déficit hídrico estudado (períodos de déficit) (Figuras 5A), verificou-se que as mesmas reduziram o número de capulho por planta (NCP) do algodoeiro herbáceo. O NCP foi decrescente quando as plantas foram submetidas ao déficit hídrico nas diferentes fases fenológicas, registrando-se tal fato quando a supressão da irrigação ocorreu nas fases de crescimento inicial (P2), botão floral (P3), flor (P4) e maçã (P5), mas não na fase de capulho (P6), com reduções médias do NPC de 44,44, 43,13, 58,16, 75,16 e 37,25%, em relação ao tratamento sem déficit hídrico (P1), respectivamente.

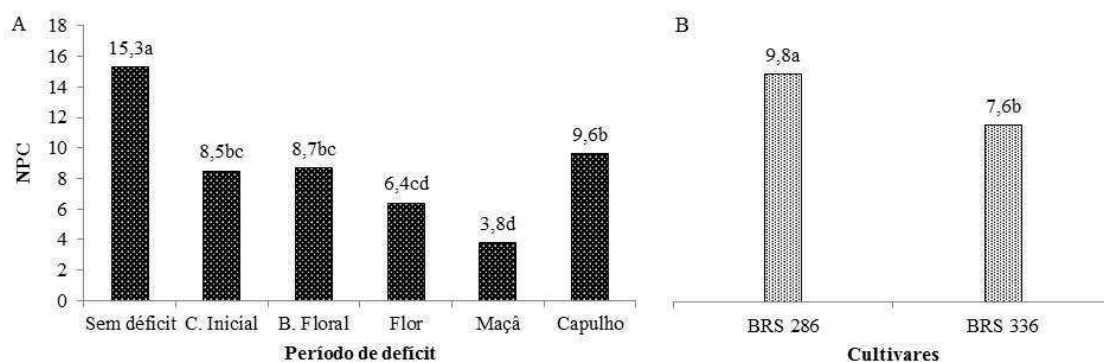


Figura 5. Médias do número de capulho por planta (NCP_adimensional) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015

Provavelmente por que o déficit hídrico promoveu queda de botões florais, abortamento de flores e/ou queda de maçãs, acarretando, conseqüentemente, menor produção de capulhos por planta. De acordo com Zonta et al. (2017) o déficit hídrico aplicado nas fases inicial de crescimento e de capulhos foram os que menos afetaram o número de capulhos por metro, visto que, ou a planta ainda não apresentava estruturas reprodutivas, ou já estava com a maior parte de suas maçãs formadas, visto que a formação de capulhos (fase de maturação) é uma fase de crescimento pouco sensível ao estresse hídrico (JALOTA et al., 2006), o que corrobora com os resultados aqui obtidos.

Estes resultados também corroboram os relatados por Silva et al. (1998) que estudaram o efeito do estresse hídrico sobre a fenologia e algumas características tecnológicas da fibra do algodoeiro herbáceo CNPA 6H; por Unlu et al. (2011) que afirmaram em seus estudos que a irrigação com déficit causou significativo declínio no número de capulhos por planta; por Almeida et al. (2017) que estudando o efeito do déficit hídrico na produção do algodoeiro herbáceo, afirmaram que, nos períodos em que o algodoeiro passou por déficit hídrico, houve redução no número de capulhos por planta, como também por Zonta et al. (2017) que afirmam que uma característica importante relacionada com a produtividade é o número de capulhos por planta, visto que a maior retenção de capulhos representará maior produtividade. Estes últimos autores citados, também afirmam que o número de capulhos foi afetado pelos déficits hídricos, sendo os melhores resultados obtidos pelos tratamentos sem restrição hídrica, seguido dos tratamentos com restrição hídrica no crescimento inicial e abertura do primeiro capulho, com piores resultados obtidos pelos tratamentos emissão do primeiro botão floral, da primeira flor e da primeira maçã (ZONTA et al. 2017), como observados nesse trabalho.

Nota-se que a fase de floração (flor) e frutificação (maça) (P4 e P5) foram as mais sensíveis, sendo a fase de maçã, a menos tolerante ao déficit de água no solo (Figura 5A), corroborando, Souza et al. (1997), que estudando a influência da saturação hídrica do solo na

fisiologia do algodoeiro CNPA 7H, encontraram reduções na ordem de 23% e 53% ao décimo quarto dia de estresse no número de maçãs por planta. Segundo Beltrão (2006), essas fases (formação de capulhos) são desencadeadas desde o florescimento até a abertura dos capulhos, durante um período variável, depois do qual se obtém a fibra, considerada o principal produto do algodão. Corroborando, também, Snowden et al. (2014), que observaram reduções de 60% no número de capulhos quando comparados os tratamentos com déficit hídrico de 3 semanas a partir do florescimento versus o tratamento controle, pois resultados semelhantes foram aqui encontrados no tratamento de déficit na fase de aparecimento da primeira maçã; por fim, Gwathmey et al. (2011) afirmam que o déficit hídrico no início do florescimento tende a aumentar a queda de botões florais, enquanto que o déficit hídrico no final do mesmo reduz a taxa de florescimento e retenção de maçãs, o que corrobora também com os resultados aqui obtidos.

Quanto ao fator cultivar, verificou-se menor valor do número de capulhos por planta (NCP) na cultivar BRS 336 do que na cultivar BRS 286, com valores médios de 7,63 e 9,81 capulhos por planta, respectivamente (Figura 5B). Segundo Iqbal et al. (2010), Baloch et al. (2011) e Niu et al. (2013), a tolerância ao estresse abiótico, incluindo tolerância a seca, varia de acordo com o genótipo.

Desdobrando o efeito do fator cultivar dentro das estratégias de aplicação de déficit hídrico (períodos de déficit) no peso médio de capulho (PMC), verificou-se que as cultivares BRS 286 e BRS 336 diferenciaram estatisticamente entre si em todos os períodos de aplicação do déficit hídrico, exceto na fase de maçã (P5). No geral, o PMC da cultivar BRS 336 foi menos afetado do que o da BRS 286 pelos déficits hídricos aplicados principalmente (Figura 6A).

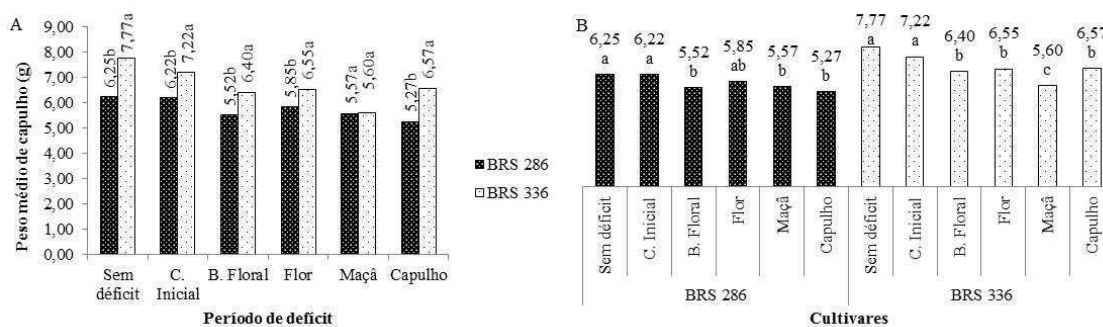


Figura 6. Desdobramento (A) das cultivares dentro de cada período de déficit e (B) dos períodos de déficits dentro de cada cultivar para a variável peso médio de capulho (PMC_g). Pombal, PB, 2015

Analisando o desdobramento dos períodos de déficit dentro das cultivares no peso médio de capulho (PMC), observa-se que a cultivar BRS 286 apresentou as maiores médias

de PMC nos períodos de déficit P1 e P2 (testemunha e déficit hídrico na fase de crescimento inicial); por sua vez, a cultivar BRS 336, apresentou o mesmo comportamento; no geral, para ambas as cultivares, à medida que se aplicou os períodos de déficit nas diferentes fases fenológicas do algodoeiro, o PMC decresceu mais, a partir da fase de botão floral, a aplicação de déficit hídrico às plantas das cultivares de algodoeiro estudado foi mais restritivo (Figura 6B).

Portanto, as cultivares BRS 286 e BRS 336, apresentaram divergências entre si na maioria dos tratamentos de déficit estudados e quanto ao padrão varietal que é de 5,5 a 6,0 g (para a BRS 286 - SILVA FILHO et al., 2008) e de 6,6 g (para a BRS 336 - MORELLO et al., 2011), com alguns tratamentos apresentando PMC médios acima ou abaixo destes padrões (Figura 6A e 6B).

Silva et al. (1998), estudando o efeito do déficit hídrico sobre a fenologia e a tecnologia de fibra do algodoeiro CNPA 6H, encontraram resultados semelhantes da presente pesquisa, ao relatarem diminuição no peso do capulho por plantas submetidas ao estresse hídrico.

Verificou-se efeito dos períodos de aplicação do déficit sobre a produtividade do algodão em caroço (ProdAC). A ProdAC foi decrescente quando as plantas foram submetidas a supressão da irrigação nas diferentes fases fenológicas registrados nas fases de crescimento inicial (P2), botão floral (P3), flor (P4) maçã (P5) e capulho (P6) com reduções médias de 36,80, 40,89, 56,55, 71,61 e 36,86%, respectivamente, em relação ao tratamento sem déficit hídrico (P1). As fases fenológicas de flor (floração) e maçã (frutificação) apresentaram-se ser as mais sensíveis ao déficit hídrico (Figura 7A). Tais resultados corroboram Zonta et al. (2015) e Zonta et al. (2017) que afirmam que o déficit na irrigação do algodoeiro proporcionou declínio na produtividade de algodão em caroço, devido consequência da acentuada queda de flores e maçãs jovens, refletindo na produtividade da cultura, e também Onder et al. (2009), que demonstraram que a irrigação com déficit causa decréscimo na produtividade e nos componentes do rendimento, como observados nesse trabalho.

Quanto às cultivares avaliadas, a BRS 286 e a BRS 336 apresentaram produtividades de algodão em caroço semelhantes (3.033,08 e 2.908,93 kg ha⁻¹, respectivamente) (Figura 7B). Almeida et al. (2017), avaliando a produção de cultivares de algodoeiro herbáceo sob déficit hídrico encontraram resultados similares, em termos de produtividade.

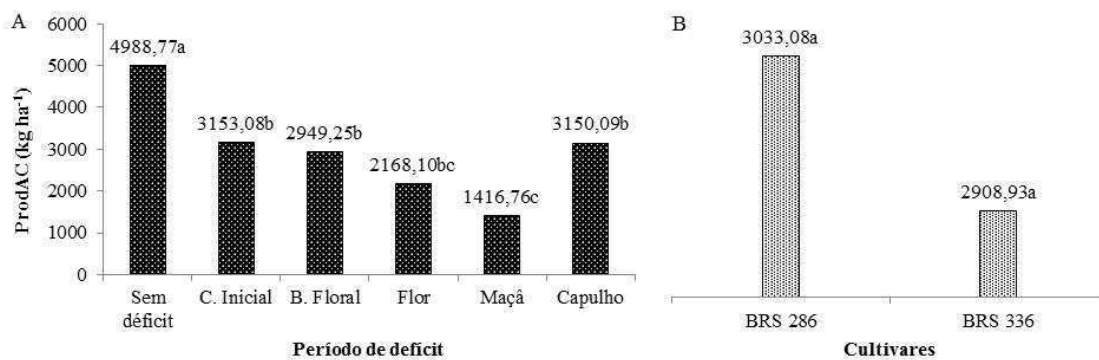


Figura 7. Médias da produtividade de algodão em caroço (ProdAC_kg ha⁻¹) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015

Estes dados também corroboram resultados obtidos por Jalota et al. (2006) e Almeida et al. (2017) os quais afirmam que a formação de capulhos é uma fase de crescimento muito sensível ao estresse hídrico, e que o déficit hídrico promoveu queda de botões florais, abortamento de flores e/ou queda de maçãs e capulhos, acarretando, conseqüentemente, menor produtividade. Zonta et al. (2017), por sua vez, afirmam que quando o déficit hídrico é aplicado nessas fases (formação de flor e maçã), a planta apresenta menor formação e queda acentuada das estruturas reprodutivas formadas (flores e maçãs jovens), o chamado shedding (queda), que compromete a produtividade, o que corrobora os resultados aqui obtidos.

Sousa Júnior et al. (2005), Cordão Sobrinho et al. (2007) e Mendez-Natera et al. (2007) reportaram que baixos níveis de água no solo ocasionaram redução na produtividade do algodão. Ademais, os mesmos autores verificaram que o déficit hídrico reduz o florescimento e a retenção das maçãs e causa a formação inadequada das diferentes partes da planta como hastes, folhas e maçãs, ocasionando queda na produção.

A adequada disponibilidade hídrica proporciona aumento de produtividade. Por outro lado, a deficiência hídrica diminui a produtividade (NUNES FILHO et al., 1998; CORDÃO SOBRINHO et al., 2007).

O comportamento da produtividade de algodão em pluma (ProdAP) foi similar ao da produtividade de algodão em caroço (ProdAC), sendo decrescente quando as plantas foram submetidas a supressão da irrigação nas diferentes fases fenológicas, registrados nas fases de crescimento inicial (P2), botão floral (P3), flor (P4), maçã (P5) e capulho (P6), com reduções médias de 36,76, 37,45, 55,92, 73,46 e 35,90%, respectivamente, em relação ao tratamento sem déficit hídrico (P1). As fases fenológicas de flor (floração) e maçã (frutificação) foram as mais sensíveis ao déficit hídrico (Figura 8A).

A cultivar BRS 286 apresentou produtividade de algodão em pluma maior pois possui característica varietal de maior percentagem de fibra do que a BRS 336 (1.346,86 e 1.125,00

kg ha⁻¹, respectivamente) (Figura 8B). Exceto no tratamento P1 (sem déficit hídrico), em todos os demais tratamentos de déficit os valores médios de produtividade apresentaram-se abaixo do padrão varietal (Figura 8B) que é de 1.995 kg ha⁻¹ para a cultivar BRS 286 e de 1.527 kg ha⁻¹ para a cultivar BRS 336, segundo Silva Filho et al. (2008) e Morello et al. (2011), respectivamente.

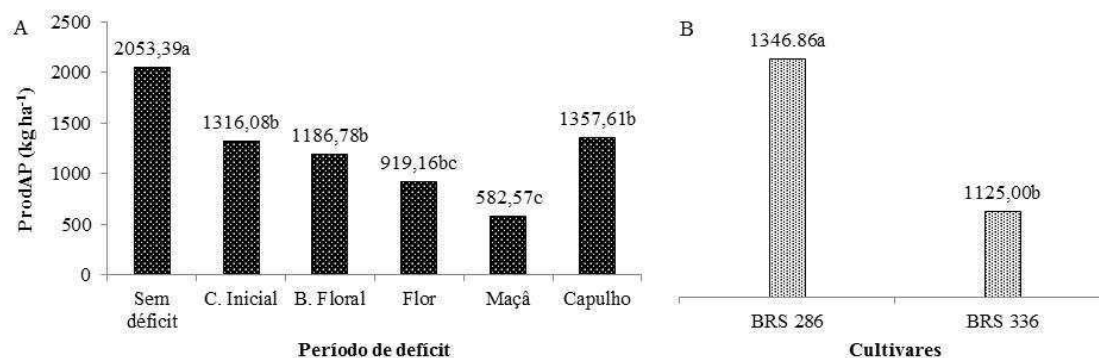


Figura 8. Médias da produtividade de algodão em pluma (ProdAP_kg ha⁻¹) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015

Ainda quanto a produtividade de algodão em pluma, a mesma foi influenciada pela produtividade de algodão em caroço e pela percentagem de fibras das cultivares. Por fim, as cultivares avaliadas apresentaram produtividade de algodão em pluma inferior à média nacional que foi de 1.473,2 kg ha⁻¹ na safra 2016/17 (CONAB, 2017).

Os resultados apresentados acima, corroboram Wen et al. (2013) que testando diversas cultivares de algodão com irrigação sob déficit hídrico encontraram decréscimos no rendimento de algodão em pluma.

De maneira geral, para a produtividade de algodão em caroço e em pluma, observou-se que quando o déficit hídrico foi aplicado no crescimento inicial (P2) e na fase de aparecimento de botões florais (P3) (Figura 7 e 8), esses tratamentos foram menos afetados, uma vez que a planta teve tempo de se recuperar do estresse hídrico, como constatado no estudo da fisiologia destas cultivares, tendo pouco comprometimento na produtividade de algodão em caroço e em pluma. O déficit hídrico aplicado na fase de capulhos (P6) também não influenciou seriamente as produtividades, devido ao fato de que a maioria das maçãs já estavam formadas nessa fase. Este comentário corrobora Zonta et al. (2017) ao afirmarem que se pode apresentar uma perspectiva para o uso da irrigação com déficit hídrico controlado na cultura do algodoeiro, aplicando-se menores lâminas de irrigação nestas fases (P2, P3 e P6) onde o algodoeiro é mais tolerante à seca, o que elevaria a eficiência no uso da água de irrigação.

Ainda com relação à produtividade de algodão em caroço e pluma, Guinn e Mauney (1984) afirmam em suas pesquisas que a restrição hídrica (severa) quando aplicada reduz a produtividade do algodoeiro em função do decréscimo do número de capulhos por área, que ocorre devido ao decréscimo no florescimento e queda de maçãs jovens. Demais autores como Pettigrew (2004) e Wen et al. (2013) também apontam que a limitação hídrica no algodoeiro causa a queda de maçãs e conseqüentemente uma menor produtividade. Loka e Oosterhuis (2012) afirmam que o estágio reprodutivo é o mais sensível ao estresse hídrico na cultura do algodoeiro, enquanto Kock et al. (1990), Plaut et al. (1992) e Radin et al. (1992), e afirmam em seus trabalhos que a fase de enchimento das maçãs é a mais sensível ao estresse hídrico, corroborando com os resultados aqui encontrados.

Na Figura 9, estão os resultados médios obtidos para a variável percentagem de fibra. O algodoeiro quando submetido ao tratamento P3 apresentou valor médio menor que os demais tratamentos de déficit, mas não se diferenciando estatisticamente de P1 e P5, enquanto que quando submetido ao tratamento P6 apresentou maior valor entre eles, porém sendo estatisticamente igual ao P4 (Figura 9A). Observam-se assim divergências da percentagem de fibra quanto aos períodos de aplicação do déficit hídrico, embora em todos as fases em que as plantas de algodoeiro passaram por restrição hídrica, ou não, a percentagem de fibra foi superior a 40%, assemelhando-se aos valores/resultados encontrados por Basal et al. (2009), Onder et al. (2009) e Hussein et al. (2011), onde os mesmos afirmam que a percentagem de fibra não é afetada pelo déficit hídrico, mas sim determinada pelas características hereditárias das cultivares.

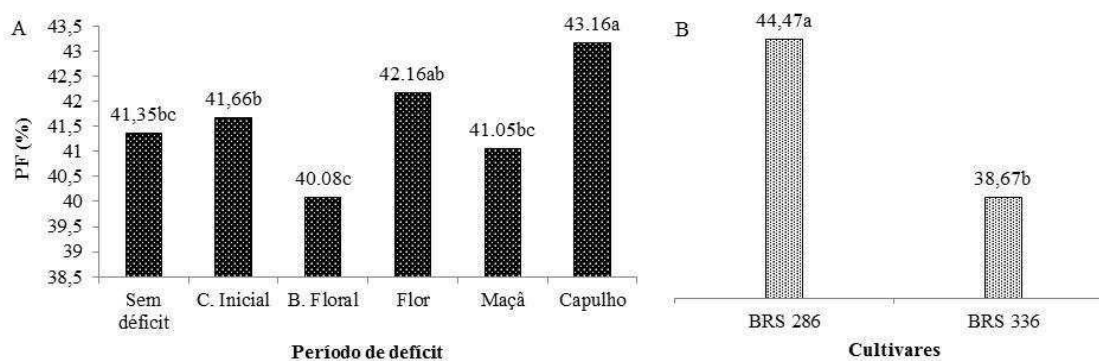


Figura 9. Médias da percentagem de fibra (PF %) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015

A cultivar BRS 286 apresentou valor médio (44,47%) acima do padrão varietal que é de 39,5 a 41,0% (SILVA FILHO et al., 2008); já a cultivar BRS 336 apresentou valor médio (38,67%) dentro do padrão varietal que é de 38,0 a 39,5% (MORELLO et al., 2011). A BRS cultivar 286 apresentou maior percentagem de fibra do que a BRS 336 (Figura 9B).

Os resultados acima mencionados, corroboram Zonta et al. (2015) que, avaliando o efeito da irrigação no rendimento e qualidade das fibras do algodoeiro, encontraram resultados semelhantes, onde a cultivar BRS 336 apresentou o menor desempenho no rendimento de algodão em pluma, como também os menores desempenhos com relação a porcentagem de fibra e produtividade de algodão em caroço. Resultados opostos, foram encontrados por Almeida et al. (2017) avaliando a produção de cultivares de algodoeiro herbáceo sob déficit hídrico, os quais encontraram resultados diferentes, em termos de porcentagem de fibra, onde os tratamentos e as cultivares estudadas não diferiram entre si.

Segundo Zonta et al. (2017), quando se trata de irrigação com déficit hídrico controlado, um importante fator a ser avaliado, principalmente em regiões áridas e semiáridas, onde a disponibilidade hídrica é limitada, é a eficiência de uso da água (EUA) das culturas. Na Figura 10, observa-se os resultados médios obtidos para esta variável.

O algodoeiro quando submetido ao tratamento P1 apresentou valor médio (EUA) maior que os demais tratamentos de déficit, enquanto que submetido ao tratamento P5 apresentou o menor valor (EUA) absoluto, se igualando estatisticamente apenas ao tratamento P4 (Figura 10A). Para o fator Cultivar, ambas as cultivares apresentaram mesma EUA (Figura 10B).

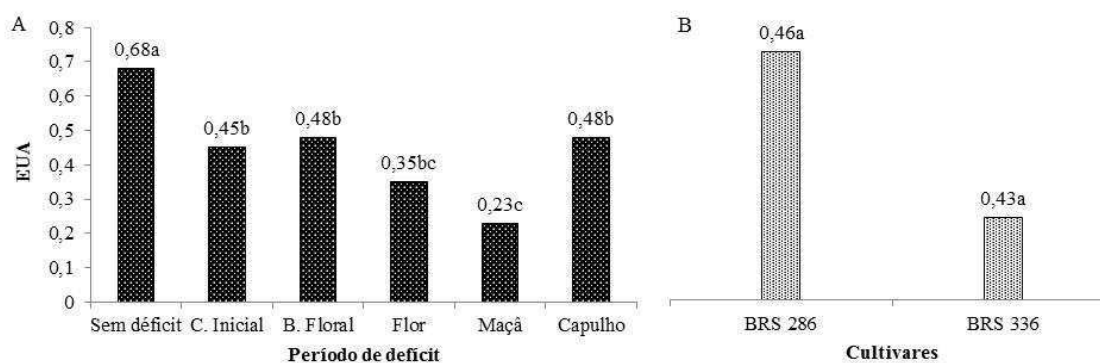


Figura 10. Médias da eficiência de uso da água (EUA_kg m³) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015

Observa-se que à medida que foi aplicado os períodos de déficit nas diferentes fases fenológicas do algodoeiro, a EUA decresceu (de P1 para P6). Como o volume aplicado foi praticamente o mesmo (pouca variação) do P2 ao P6, o que determinou essa variável foi à produtividade, ou melhor, o efeito dos períodos de déficit sobre a produtividade, deste modo como o P2, P3 e P6 sofreram os menores efeitos.

Comparando-se aos resultados obtidos pela Embrapa Algodão (2006), cuja eficiência global do uso de água para o rendimento de algodão em caroço varia de 0,4 a 0,6 kg m⁻³, todos os tratamentos se encontram dentro dessa faixa, exceto o P4 e P5 (0,35 e 0,23 kg m⁻³).

A diminuição da EUA nos tratamentos com déficit hídrico pode ser atribuída a diminuição no número de órgãos reprodutivos em relação aos órgãos vegetativos, ou seja, diminuição do índice de colheita. Deve-se observar também que em áreas onde a água é fator limitante, como na região semiárida, maximizar a EUA é frequentemente mais rentável economicamente para o produtor do que maximizar a produtividade (GEERTS & RAES, 2009).

Zonta et al. (2017), trabalhando com 8 cultivares de algodoeiro herbáceo submetidas a deficiência hídrica em diferentes estádios da cultura, afirmaram que o comportamento com relação à EUA para todas as cultivares foi bem parecido, variando na média de 0,39 a 0,84 kg m⁻³, com os piores resultados ocorrendo no geral para os tratamento de restrição hídrica na emissão de maçã e flor, sendo que para os tratamento com restrição hídrica no crescimento inicial e na emissão de botões florais não houve diferença estatística, como também, as cultivares, em sua maioria, se comportaram de forma bem parecida quando submetidas ao déficit hídrico, independente da fase do ciclo de cultivo, corroborando com os resultados aqui encontrados.

Com relação à faixa de valores, observa-se que a eficiência de uso da água (EUA) obtida pode ser considerada alta, com exceção do tratamento com déficit na fase de aparecimento da primeira flor (P4) e da primeira maçã (P5), visto que em trabalhos realizados por Dagdalen et al. (2009), Singh et al. (2010) e Zonta et al. (2016), foram encontrados valores de EUA variando de 0,4 a 0,8 kg m⁻³ nos tratamentos bem irrigados, ou seja, sem déficit hídrico. Informações apontadas por Zonta et al. (2017) demonstraram que a irrigação com déficit hídrico controlado pode ser uma opção para economia de água na irrigação do algodoeiro, se for realizada nas fases onde a cultura é mais tolerante ao estresse hídrico, que são as fases de crescimento inicial, emissão de botões florais e de capulhos.

A cultivar BRS 336 apresentou menor desempenho no número de capulho por planta (7,63), em produtividade de algodão em pluma (1.114,17 kg ha⁻¹) e em percentagem de fibra (38,19%), mas foi melhor no peso médio de capulhos (6,68 g), sendo ambas as cultivares semelhantes em desempenho na produção de algodão em caroço e na eficiência de uso de água.

De maneira geral, praticamente para todas as variáveis estudadas, observou-se redução quando aplicou-se o déficit hídrico nos períodos de emissão de flor e maçã. Corroborando com a presente pesquisa, Bauer et al. (2012) afirmam que o problema do déficit hídrico no início do florescimento é que a cultura está aclimatada para o crescimento vegetativo, o qual não possui restrições, devido a planta estar em ótimas condições hídricas; Segundo Oosterhuis & Wullschleger (1987), o início repentino do estresse hídrico em uma planta previamente não

estressada pode causar severos danos às plantas; Brito et al. (2011), afirmam em seus trabalhos que as fases reprodutivas coincidem com a fase onde ocorre o aumento da demanda de água pela cultura, que nestas fases varia de 2,5 a 6 mm dia⁻¹, assim, o déficit hídrico nessas fases tem consequências mais severas como afirmam Bauer et al. (2012); para Yeats (2014), as maçãs são menos afetadas pelo déficit hídrico e manterão o crescimento após as folhas e entrenós terem parado de crescer. Isso ocorre porque a água é fornecida às maçãs pelo floema e não pelo xilema; logo, não é dependente do gradiente de potencial hídrico entre a planta e o solo ou atmosfera (ZONTA et al. 2017). Ainda, segundo Yeats (2014), o abortamento de estruturas frutíferas pode ocorrer até 14 dias após a antese (< 2 cm de diâmetro), quando o espessamento da parede da célula, entre o fruto e o caule, evita que uma camada de abscisão seja formada. Guinn (1982) apresenta outra interpretação, que seria a de que os botões florais grandes e as flores são menos sensíveis ao shedding (queda) sob estresse hídrico do que as maçãs jovens, o que corrobora com os resultados aqui obtidos.

4. CONCLUSÕES

A ocorrência de déficit hídrico durante as fases de surgimento de flores e maçãs no algodoeiro herbáceo foram as mais prejudiciais aos componentes da produção da cultura, com substanciais perdas e as que ofereceram as menores eficiências do uso de água da cultura.

O tratamento sem déficit hídrico promoveu maior número de capulhos, peso de capulho, produtividade em caroço e de pluma e maior eficiência de uso da água para as cultivares BRS 286 e BRS 336 de algodoeiro herbáceos avaliadas;

Os componentes da produção da cultivar BRS 286, perante os déficits hídricos testados, foram superiores aos obtidos na cultivar BRS 336, exceto no peso médio dos capulhos.

A eficiência de uso da água pelo algodoeiro herbáceo, perante os déficits hídricos testados, foi estatisticamente igual para ambas cultivares.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, E. S. A. B de; PEREIRA, J. R.; AZEVEDO, C. A. V de; ARAÚJO, W. P.; ZONTA, J. H.; CORDÃO, M. A. Algodoeiro herbáceo submetido a déficit hídrico: Produção. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v.13, n.1, p.22-28, 2017.

AMARAL, J. A. B. do; SILVA, M. T. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do gergelim por manejo de irrigação. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, v.12, n.1, p.25-33, 2008.

ARAÚJO, L. F de; BERTINI, C. H. C de M.; BLEICHER, E.; VIDAL NETO, F das C.; ALMEIDA, W. S de. Características fenológicas, agronômicas e tecnológicas da fibra em diferentes cultivares de algodoeiro herbáceo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.8, n.3, p.448-453, 2013.

BALOCH, M. J.; KHAN, N. U.; JATOI, W. A.; HASSAN, G.; KHAKHWANI, A. A.; SOOMRO, Z. A.; VEESAR, N. F. Drought tolerance studies through WSSI and stomata in upland cotton. *Pakistan Journal of Botany, Karachi*, v.43, N.5, p.2479-2484, 2011.

BASAL, H.; DAGDELEN, N.; UNAY, A.; YILMAZ, E. Effects of deficit drip irrigation ratios on cotton (*Gossypium hirsutum L.*) yield and fiber quality. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v.195, p19-29, 2009.

BAUER, P.; FAIRCLOTH, W.; ROWLAND, D.; RITCHIE, G. Water-sensitivity of cotton growth stages. In: PERRY, C.D.; BARNES, E. (Ed.) *Cotton irrigation management for humid regions*. Cary: Cotton Incorporated, 2012. Section 5, p.17-20.

BELTRÃO, N. E. de M. *Fisiologia da produção do algodoeiro*. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. 8 p. (Embrapa Algodão. Circular Técnica, 94).

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. *Manual de Irrigação*. 8ª ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 625p.

BEZERRA, J. R. C.; SILVA e LUZ, M. J.; PEREIRA, J. R.; SANTANA, J. C. F.; DIAS, J. M.; SANTOS, J. W.; SANTOS, T. SILVA. Efeito do déficit hídrico no solo sobre o rendimento e a fibra do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, v. 7, n. 2/3, p.727-734, 2003.

BRITO, G. G. de; SOFIATTI, V.; LIMA, M. M. de A.; CARVALHO, L. P. de; SILVA FILHO, J. L. da. Physiological traits for drought phenotyping in cotton. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.33, n.1, p.117-125, 2011.

CARVALHO, L. P.; COSTA, J. N da; SANTOS, J. W. dos; ANDRADE, F. P de. Adaptabilidade e estabilidade em cultivares de algodoeiro herbáceo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.30, n.2, p.207-213, 1995.

CAVALCANTI, F. J. de A. (Coord.). Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª. aproximação. 2 ed. rev. Recife: IPA, 2008. 212 p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira: Grãos. Sétimo Levantamento, Abril - 2017. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 27 abr. 2017.

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

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, n.1, p.111-120, 2009.

EMBRAPA ALGODÃO. Cultivo do algodão irrigado/irrigação: necessidades hídricas. Versão Eletrônica. 2ed. Campina Grande, Embrapa Algodão, Disponível em: sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrrigado_2ed/necessidadshidricas.html (Sistemas de produção, 3). 2006.

FAGGION, F.; OLIVEIRA, C. A. S.; CHRISTOFIDIS, D. Uso eficiente da água: uma contribuição para o desenvolvimento sustentável na agricultura. Revista Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia, v.2, n.1, p.187-190, 2009.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

GEERTS, S.; RAES, D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agricultural Water Management, v.96, p.1275-1284, 2009.

GUINN, G. Fruit age and changes in abscisic acid content, ethylene production, and abscission rate of cotton fruits. Plant Physiology, v.69, n.2, p.349-352, 1982.

GUINN, G.; MAUNEY, J. R. Moisture effects on cotton. I. Effects of moisture status on flowering. Agronomy Journal, v.76, n.1, p.90-94, 1984.

GWATHMEY, C. O.; LEIB, B. G.; MAIN, C. L. Lint Yield and Crop Maturity Responses to Irrigation in a Short-Season Environment. The Journal of Cotton Science, v.15, n.1, p.1-10, 2011.

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

IQBAL, K.; AZHAR, F. M.; KHAN, I. A.; ULLAH, E. Assessment of cotton (*Gossypium hirsutum*) germplasm under water stress condition. International Journal of Agriculture & Biology, v.12, n.2, p. 251-255, 2010.

JALOTA, S. K.; SOOD, A.; CHAHAL, G. B. S.; CHOUDHURY, B. U. Crop water productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) – Wheat (*Triticum aestivum* L.) system as

influenced by deficit irrigation, soil texture and precipitation. *Agricultural Water Management*, v.84, p.137-146, 2006.

KOCK, J de; BRUYN, L. P de; HUMAN J. J. The relative sensitivity to plant water stress during the reproductive phase of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Irrigation Science*, v.11, n.4, p.239-244, 1990.

LOKA, D. A.; OOSTERHUIS, D. M. Water stress and reproductive development in cotton. In OOSTERHUIS, D. M.; COTHREN, J. T. (Eds.). *Flowering and Fruiting in Cotton*. Cordova: The Cotton Foundation, 2012. chapter 5, p.51-58.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO S.; PALARETTI, L. F. *Irrigação princípios e métodos*. Viçosa: Ed. UFV. 2009. 355p.

MENDEZ-NATERA, J. R.; LARA, L.; GIL-MARÍN, J. A. Efecto Del Riego por goteo em el crecimiento inicial de três cultivares de algodón (*Gossypium hirsutum* L.). *Idesia*, v.25, n.2, p.7-15, 2007.

MORELLO, C de L.; PEDROSA, M. B.; CHITARRA, L. G.; SUASSUNA, N. D.; SILVA FILHO, J. L da; FREIRE, E. C.; BENITES, F. R. G.; FARIAS, F. J. C; LAMAS, F. M.; ANDRADE, F. P.; BARROSO, P. A. V.; RIBEIRO, P. A. V.; GODINHO, V. de P. BRS 336 cultivar de alta qualidade de fibra para cultivo no cerrado e no semiárido do Brasil. Campina Grande: Embrapa Algodão. 2011, 2 p. (folder).

NIU, G.; RODRIGUEZ, D.; DEVER, J.; ZHANG, J. Growth and physiological responses of five cotton genotypes to sodium chloride and sodium sulfate saline sater irrigation. *The Journal of Cotton Science*, v.17, n.3, p.233-244, 2013.

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

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, 2009.

OOSTERHUIS, D. M., WULLSCHLEGER, S. D. Osmotic adjustment in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaves and roots in response to water stress. *Plant Physiology*, v.84, n.4, p.1154-1157, 1987.

PETTIGREW, W. Moisture deficit effects on cotton lint yield, yield components, and boll distribution. *Agronomy Journal*, v.96, n.2, p.377-383, 2004.

PLAUT, Z.; BEN-HUR, M.; MEIRI, A. Yield and vegetative growth as related to plant water potential of cotton irrigated with a moving sprinkler system at different frequencies and wetting depths. *Irrigation Science*, v.13, n.1, p.39-44, 1992.

RADIN, J. W.; REAVES, L. L.; MAUNEY, J. R.; FRENCH, O. F. Yield enhancement by frequent irrigation during fruiting. *Agronomy Journal*, v.84, n.4, p.551-557, 1992.

SHAH, M. K. N.; MALIK, S. A.; MURTAZA, N.; ULLAH, I.; RAHMAN, H.; YOUNIS, U. Early and rapid flowering coupled with shorter boll maturation period offers selection criteria for early crop maturity in upland cotton. *Pakistan Journal of Botany*, v.42, n.5, p.3569-3576, 2010.

SILVA FILHO, J. L. da; PEDROSA, M. B.; MORELLO, C. de L.; FREIRE, E. C.; ALENCAR, A. R de; ANDRADE, F. P.; CHITARRA, L. G.; FARIAS, F. J. de C.; VIDAL NETO, F. das C. BRS 286 Cultivar de Alta produtividade de Pluma de Porte Baixo, para Cultivo no Estado da Bahia. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008, 2 p 1 folder.

SILVA, B. B.; SOUZA, C. B de; RAO, T. V. R.; AZEVEDO, P. V.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J. Efeitos do déficit hídrico sobre a fenometria e a tecnologia de fibra do algodoeiro herbáceo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, v.2, n. 1, p.42-46, 1998.

SINGH, Y.; RAO, S. S; REGAR, P. L. Deficit irrigation and nitrogen effects on seed cotton yield, water productivity and yield response factor in shallow soils of semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, v.97, n.7, p. 965-970, 2010.

SNOWDEN, C.; RITCHIE, G.; THOMPSON, T. Water use efficiency and irrigation response of cotton cultivars on subsurface drip in west Texas. *The Journal of Cotton Science*, v.17, n.1, p.1-9, 2013.

SNOWDEN, M. C.; RITCHIE, G. L.; SIMAO, F. R.; BORDOVSKY, J. P. Timing of episodic drought can be critical in cotton. *Agronomy Journal*, v. 106, n.2, p. 452-458, 2014.

SOUZA, J. G. de; BELTRÃO, N. E. de M.; SANTOS, J. W. dos. Influência da saturação hídrica do solo na fisiologia do algodão em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, v.1, n.1, p.63-71, 1997.

SOUSA JÚNIOR, S. P. de; SOARES, F. A. L.; SIQUEIRA, E. da C.; GHEYI, H. R.; FERMANDES, P. D.; BELTRÃO, N. E. de M. Germinação, crescimento e produção do algodoeiro colorido BRS Verde sob estresse salino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p. 236-241, 2005. Suplemento.

SUN, Y.; NIU, G.; ZHANG, J.; DEL VALLE, P. Growth responses of an interspecific cotton breeding line and its parents to controlled drought using an automated irrigation system. *The Journal of Cotton Science*, v.19, n.2, p.290-297, 2015.

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

WEN, Y.; ROWLAND, D. L.; PICCINNI, G.; COTHREN, J. T.; LESKOVAR, D. I.; KEMANIAN, A. R.; WOODARD, J. D. Lint yield, lint quality, and economic returns of cotton production under traditional and regulated deficit irrigation schemes in southwest Texas. *The Journal of Cotton Science*, v.17, n.1, p.10-22, 2013.

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.

ZONTA, J. H.; BEZERRA, J. R. C. B.; SOFIATTI, V.; FARIAS, F. J. C.; CARVALHO, L. P. de. Efeito da irrigação no rendimento e qualidade de fibras em cultivares de algodoeiro herbáceo. Revista Caatinga, v.28, n.4, p.43-52, 2015.

ZONTA J. H.; BRANDÃO, Z. N.; VALDINEI, S.; BEZERRA, J. R. C.; MEDEIROS, J da C. Irrigation and nitrogen effects on seed cotton yield, water productivity and yield response factor in semi-arid environment. Australian Journal of Crop Science, v.10, n.1, p.118-126, 2016.

ZONTA, J. H.; BRANDÃO, Z. N.; RODRIGUES, J. I da S.; VALDINEI, S. Cotton response to water deficits at different growth stages. Revista Caatinga, v. 30, n. 4, p. 980-990, 2017.

CAPÍTULO III

Características da fibra de cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico

ARAÚJO, W. P. **Características da fibra de cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola – Irrigação e Drenagem), Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, Brasil.

RESUMO

A cultura do algodão sempre foi uma das principais opções agrícolas do Nordeste brasileiro. Apesar de ser uma cultura tolerante ao déficit hídrico no solo, tem seu rendimento e qualidade da fibra consideravelmente afetados devido às secas que ocorrem periodicamente nesta região. Nesse contexto, objetivou-se com esse trabalho, avaliar os parâmetros tecnológicos da fibra de cultivares de algodoeiro herbáceo, cultivadas na região semiárida do Nordeste brasileiro, submetidas a períodos de déficit hídrico nas fases fenológicas. O experimento foi conduzido em condições de campo, na Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campus de Pombal, PB. Os tratamentos foram formados em esquema de parcelas subdivididas constituídos de 6 períodos (P) de déficit hídrico ((P1 = tratamento sem déficit (testemunha, 100% irrigada durante todo o ciclo), P2 = déficit hídrico na fase de crescimento inicial, P3 = déficit hídrico na fase de aparecimento do primeiro botão floral, P4 = déficit hídrico na fase de aparecimento da primeira flor, P5 = déficit hídrico na fase de aparecimento da primeira maçã e P6 = déficit hídrico na fase de aparecimento do primeiro capulho) e 2 cultivares de algodoeiro herbáceo (C1 = BRS 286 e C2 = BRS 336), no delineamento em blocos casualizados, em parcelas subdivididas (períodos de déficit_parcelas; cultivares_subparcelas) com 4 repetições. As características tecnológicas de fibra avaliadas foram Comprimento, Uniformidade, Índice de fibras curtas, Resistência, Alongamento à ruptura, Índice micronaire, Maturidade, Reflectância, Grau de amarelo (+b) e Índice de fiabilidade. Com exceção da maturidade, da refletância e do grau de amarelo da fibra, os déficits hídricos aplicados nas diferentes fases fenológicas das cultivares do algodoeiro herbáceo afetaram a qualidade da fibra. Com exceção do índice de fibras curtas, do alongamento e do índice de micronaire, o tratamento sem déficit de água promoveu os melhores valores da fibra. O algodoeiro herbáceo produziu fibras de melhor qualidade quando o déficit hídrico ocorreu nas fases de crescimento inicial e maçã. A cultivar BRS 336 do algodoeiro produziu fibras de melhor qualidade que a cultivar BRS 286, independentemente da época de aplicação do déficit hídrico. As cultivares utilizadas possuem características de fibra em conformidade com os padrões varietais e comerciais de fibra média (BRS 286) e longa (BRS 336).

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* H., estresse hídrico, qualidade da fibra.

CHAPTER IV

Fiber characteristics of upland cotton cultivars under strategies to apply water deficit.

ARAÚJO, W. P. **Fiber characteristics of upland cotton cultivars under strategies to apply water deficit.** 2018. Thesis (Doctorate in Agricultural Engineering - Irrigation and Drainage), Graduate on Agricultural Engineering, UFCG, Campina Grande-PB, Brazil.

ABSTRACT

Cotton cultivation has always been one of the main agricultural options in Brazilian Northeast. Although it is a tolerant crop to the water deficit in the soil, its fiber yield and quality is considerably affected due to the droughts that occur periodically in this region. In this context, the purpose of this study was to evaluate the technological characteristics of the fiber of upland cotton cultivars grown in the Brazilian Northeast semi-arid region, subject to periods of water deficit in the phenological phases. The experiment was conducted under field conditions, at Federal University of Campina Grande - UFCG, Campus of Pombal, Paraíba State, Brazil. The treatments were formed in a split plot scheme consisting of 6 periods (P) of water deficit (P1 = treatment without deficit (control, 100% irrigated throughout the cycle), P2 = water deficit in the initial growth phase, P3 = water deficit at the onset of the first flower bud phase, P4 = water deficit at the onset of the first flower phase, P5 = water deficit at the onset of the first fruit phase, and P6 = water deficit at the onset of the first open fruit phase) and 2 upland cotton cultivars (C) (C1 = BRS 286 and C2 = BRS 336), in a randomized block design, in subdivided plots (periods of deficit_Plots, cultivars_Subplots) with 4 replicates. Fiber length, uniformity, short fiber index, resistance, Elongation, micronaire index, maturity, reflectance, yellow degree (+ b) and elongation index were evaluated. With the exception of maturity, reflectance and yellow degree of fiber, the water deficits applied in the different phenological phases of the herbaceous cotton cultivars affected the fiber quality. With the exception of the short fiber, elongation and micronaire index, the treatment without water deficit promoted the best fiber values. The herbaceous cotton was more tolerant to the deficit in the initial growth and apple stages. In general, cultivar BRS 336 was more tolerant to applied water deficits than cultivar BRS 286. The cultivars used have fiber characteristics in accordance with varietal and commercial standards of medium (BRS 286) and long (BRS 336) fiber.

Key words: *Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* H., water stress, fiber quality.

1. INTRODUÇÃO

O algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.), dicotiledônea de elevada importância econômica e social, cultivada em mais de 100 países do mundo e sua fibra, seu principal produto, veste quase metade da humanidade (43%) e é a única que produz economicamente fibra (41% em média com relação ao peso seco do algodão em rama), óleo (14 a 28 % com relação ao peso seco da semente) e proteína (média de 26% com relação ao peso seco da semente), tendo um elevado valor biológico (BELTRÃO, 2006).

Na região semiárida do Brasil, o cultivo do algodão irrigado pode ser uma excelente oportunidade para o setor algodoeiro, visto que às características climáticas dessa região são capazes de produzir fibras de ótima qualidade (BRITO et al., 2011). Segundo Zonta et al. (2015a) deve-se buscar nas pesquisas melhorias no manejo da irrigação do algodoeiro visando obtenção de fibras de alta qualidade.

Na região semiárida do Nordeste, esta malvácea sempre se sobressaiu como um dos suportes dentre as principais culturas de subsistência (SOUSA, 1994) e, embora seja considerada uma cultura relativamente tolerante à seca, seu rendimento pode ser consideravelmente reduzido, quando ocorrem déficits de umidade durante seu ciclo de desenvolvimento (BEZERRA et al., 2003).

O algodoeiro precisa, para seu crescimento e desenvolvimento de uma quantidade de água adequada definida de acordo com o solo e clima. A falta de água em períodos críticos do ciclo compromete o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas (HUSSEIN et al., 2011; LUO et al., 2013). Beltrão et al. (2001) afirmam que a escassez de água afeta o crescimento do algodoeiro, cujos efeitos mais críticos ocorrem nos estádios de seu ciclo fenológico de floração e de formação e desenvolvimento dos frutos (ALMEIDA et al., 2016). Yazar et al. (2002) afirmam que quando ocorre estresse hídrico durante a estação de crescimento do algodoeiro, a produtividade final pode ser afetada, visto que a mesma depende da produção e retenção de capulhos, e ambos podem decrescer com o estresse hídrico. Para Pettigrew (2004), quando acontece estresse hídrico nas fases iniciais do desenvolvimento, as fibras são as mais afetadas porque envolvem vários mecanismos

fisiológicos de expansão celular. Na fase inicial de alongamento da fibra, que vai até os 15 dias após a antese, o estresse hídrico inibe o alongamento, comprimento e uniformidade da fibra (LOKHANDE & REDDY, 2014). Beltrão et al. (2008), afirmam que a ocorrência de déficit hídrico no período de alongamento da fibra ocasiona redução no seu comprimento.

Devido à presença marcante da interação genótipo e meio ambiente no algodoeiro, não se deve esperar que um único cultivar possa adaptar-se a todas as regiões de cultivo no Brasil, sendo importante assim a identificação de cultivares mais adequadas a cada região. Logo, o sucesso de um bom desempenho agrônomo do algodoeiro herbáceo dependerá da escolha correta da cultivar a ser plantada, do ambiente e do manejo cultural (ARAÚJO et al., 2013).

É necessário conhecer as características agrônomicas e industriais das cultivares comercializadas no Brasil a fim de assegurar, aos produtores, escolhas que lhes sejam técnica e economicamente vantajosas. A utilização de cultivares que se adaptem às diferentes condições edafoclimáticas constitui fator essencial para se obter incremento na produtividade de qualquer cultura. Segundo Beltrão & Azevedo (2008), simultaneamente com as características gerais e específicas buscadas em cada programa de melhoramento desenvolvido no Brasil, existem características agrônomicas e tecnológicas da fibra, consideradas padrão mínimo a serem apresentadas por uma cultivar de algodão com vista ao atendimento à indústria têxtil. De maneira geral, as cultivares devem apresentar boa resposta à aplicação de insumos, incluindo água, fertilizantes químicos, inseticidas, herbicidas, fungicidas, reguladores de crescimento e desfolhantes. É exigida boa adaptação à colheita mecanizada, porte ereto, capulhos bem aderidos às cápsulas e que não caiam mesmo após fortes chuvas e ventos. Devem apresentar sistema radicular vigoroso e profundo; possuírem alta capacidade de fixação de capulhos nas plantas, inclusive até nos ponteiros; e suportar espaçamentos estreitos e altas densidades de plantas/metro linear de sulco (EMBRAPA ALGODÃO, 2006).

As necessidades hídricas da cultura variam com os estágios fenológicos, em razão da fitomassa, apresentar um mínimo no estágio inicial, após a emergência, e um máximo no período compreendido entre a floração e a frutificação; se houver déficit hídrico neste último estágio de desenvolvimento, poderá ocorrer redução de produtividade de até 50%. O conhecimento das necessidades hídricas das culturas, em seus diferentes estágios fenológicos, é importante para a agricultura irrigada, porque, associada aos demais fatores de produção, permite ao irrigante a obtenção de altas produtividades com máxima economia de água. Uma vez que a irrigação é a principal atividade consumidora de água e, considerando-se o aumento dos custos com energia, além da concorrência pelos recursos hídricos e energéticos entre os setores industrial, urbano e agrícola, torna-se necessário definir quando e quanto irrigar,

visando atender às necessidades hídricas das plantas, de maneira racional. Embora o algodoeiro necessite de níveis de umidade no solo mais altos no período entre a floração e a formação das maçãs e no período de frutificação, por etapas, as plantas podem suportar curtos períodos de deficiência hídrica sem apresentar reduções significativas no rendimento (EMBRAPA ALGODÃO, 2014).

Portanto, neste capítulo, objetivou-se estudar o efeito do déficit hídrico no solo aplicado nas diferentes fases fenológicas do desenvolvimento do algodoeiro, nas características da fibra das cultivares BRS 286 e BRS 336 de algodoeiro herbáceo, visando relacionar o uso racional da água com a produção sustentável da cultura no semiárido paraibano, identificando o manejo mais adequado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em condições de campo entre os meses de junho a dezembro de 2015 na área experimental do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA), pertencente à Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Pombal, PB, localizada nas seguintes coordenadas geográficas: latitude 06^o 47' 52,15" S, longitude 37^o 48' 10" W e 175 m de altitude em relação ao nível médio do mar - NMM, distante 401 km da capital da Paraíba (João Pessoa).

Segundo a classificação de Koppen, o clima predominante da região é do tipo BSh, ou seja, semiárido quente e seco, apresentando um período de chuvas irregulares entre os meses de fevereiro a junho e um período de seca entre os meses de julho a janeiro com precipitação média anual de 750 mm e evapotranspiração média anual de 2000 mm.

O solo é um Neossolo Flúvico (aluvião), área plana, no qual coletou-se amostras nos intervalos de profundidades de 0-20 e 20-40 cm, as quais foram encaminhadas ao Laboratório de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal de Campina Grande – LIS/UFCG, Campina Grande, PB, para análise e caracterização dos atributos físico-hídricos (Tabela 1) e químicos (Tabela 2).

Tabela 1. Atributos físico-hídricos do solo da área experimental. Pombal, PB. 2015

Fração Granulométrica	%	Potencial matricial	Conteúdo de água (% base solo seco)	
			0 - 20 cm	20 - 40 cm
Areia	80,00	0,1 atm	15,33	15,66
Silte	14,51	0,33 atm	11,69	10,84
Argila	5,49	1,0 atm	8,45	7,96
Classificação Textural	Areia Franca	5,0 atm	5,45	5,55
Densidade do Solo	1,48	10,0 atm	5,22	5,14
Densidade de Partículas	2,64	15,0 atm	4,95	4,31
Porosidade (%)	43,94	Água disponível	6,74	6,53

Fonte. Laboratório de Irrigação e Salinidade, UFCG, Campina Grande, PB.

Tabela 2. Atributos químicos do solo da área experimental. Pombal, PB. 2015

Características químicas	Intervalo de Profundidade	
	0 - 20 cm	20 - 40 cm
Complexo sortivo ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)		
Cálcio (Ca^{2+})	4,28	4,03
Magnésio (Mg^{2+})	1,40	1,89
Sódio (Na^+)	0,14	0,15
Potássio (K^+)	0,42	0,27
Fosforo Assimilável ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$)	51,5	49,0
Nitrogênio (%)	0,07	0,05
Matéria Orgânica (%)	1,16	0,78
Extrato de Saturação		
pH _{ps}	6,45	6,46
CE _{es} (mmhos cm^{-1})	1,17	0,80
Cloreto (meq L^{-1})	6,25	5,50
Carbonato (meq L^{-1})	0,00	0,00
Bicarbonato (meq L^{-1})	3,80	4,60
Sulfato (meq L^{-1})	Ausência	Ausência
Cálcio (Ca^{2+}) (meq L^{-1})	10,00	4,00
Magnésio (Mg^{2+}) (meq L^{-1})	10,12	6,87
Sódio (Na^+) (meq L^{-1})	2,56	2,37
Potássio (K^+) (meq L^{-1})	1,76	0,35
Salinidade	Não salino	Não salino
Classe do solo	Normal	Normal

Fonte. Laboratório de Irrigação e Salinidade, UFCG, Campina Grande, PB.

Utilizou-se na irrigação água captada no Rio Piancó, perenizado pelo açude de Coremas, pertencente à Bacia Hidrográfica do Piranhas-Açu. O fornecimento de água se deu diariamente por meio de tanque pipa e armazenamento em cisterna no CCTA, próximo à área experimental. A caracterização química e a classificação quanto ao risco de salinização da água utilizada, encontra-se no Quadro 1.

Quadro 1. Caracterização química e classificação da água de irrigação. Pombal, PB. 2015

pH	7,44	Carbonatos (meq L^{-1})	0,00
Condutividade Elétrica (dS.m^{-1})	0,315	Bicarbonato (meq L^{-1})	1,6
Cálcio (meq L^{-1})	0,61	Cloretos (meq L^{-1})	0,88
Magnésio (meq L^{-1})	0,75	Sulfatos (meq L^{-1})	Presente
Sódio (meq L^{-1})	1,46	Relação de Adsorção de Sódio (RAS)	1,78

Potássio (meq L ⁻¹)	0,19	Classe	C ₂ S ₁
---------------------------------	------	--------	-------------------------------

Fonte: Laboratório de Irrigação e Salinidade, UFCG, Campina Grande, PB.

A água apresentou salinidade C₂S₁ (CE = 0,315 dSm⁻¹) e baixa razão de adsorção de sódio (RAS = 1,78), podendo ser usada para irrigação sempre que houver um grau moderado de lixiviação e cuidados especiais no preparo do solo.

Instalação e Condução do Experimento

O preparo da área foi realizado de forma mecanizada, inicialmente com limpeza da área, seguido por aração e gradagem, visando o destorroamento e nivelamento do solo; em seguida, procederam as seguintes etapas: (1) marcação, com uso de piquetes, da área experimental; (2) adubação de fundação; (3) montagem do sistema de irrigação, e (4) plantio.

Em função dos resultados da análise química do solo, as adubações foram realizadas em três épocas. A primeira, em fundação, com aplicação de 30 kg ha⁻¹ de Nitrogênio (N), 40 kg ha⁻¹ de Fósforo (P₂O₅) e 10 kg ha⁻¹ de Potássio (K₂O), na forma de uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente; a segunda e a terceira, em cobertura, efetuadas no surgimento dos botões florais (30 a 40 dias após germinação - DAG) e no florescimento médio (60 a 70 DAG), com aplicação de 30 kg ha⁻¹ de Nitrogênio (N) e 5 kg ha⁻¹ de Potássio (K₂O) na forma de ureia e cloreto de potássio, respectivamente, em cada cobertura, conforme recomendação para o algodoeiro (CAVANCANTI et al., 2008). Não houve necessidade de calagem.

As cultivares de algodoeiro herbáceo foram plantadas em fileiras simples no espaçamento de 1,0 m entre linhas x 0,10 m entre plantas.

A aplicação de água foi realizada por um sistema de irrigação localizado, com fitas gotejadoras e emissores espaçados por 10 cm. Cada tratamento foi constituído por uma linha lateral, espaçada das demais linhas por 1 m x 1 m com 6 metros de comprimento, cada. As fitas gotejadoras (linha lateral) foram conectadas a uma linha secundária de tubo PVC com diâmetro de 32 mm. Cada linha lateral continha um registro de passagem para aplicar os tratamentos determinados para cada fase. A tubulação principal foi composta por um tubo de PVC de 50 mm.

Posteriormente, após a montagem do sistema de irrigação e início da condução do experimento, foi realizado teste de distribuição de água no campo. Através deste, verificou-se que a precipitação média aplicada e medida foi de 8,86 mm de água h⁻¹, sendo a eficiência de

uniformidade de aplicação (Ea) determinado como sendo 91%, conforme metodologia de Bernardo et al. (2008).

Manejo da irrigação

As irrigações foram efetuadas diariamente, sempre pela manhã, baseadas na disponibilidade de água no solo para as plantas. O volume de água de reposição foi calculado considerando a água evapotranspirada pela cultura representada como a diferença entre o conteúdo de água do solo na capacidade de campo e o conteúdo atual de água médio do solo medido nas profundidades de 0,10; 0,20; 0,30 e 0,40 m, mensurados antes das irrigações. O conteúdo atual de água do solo foi determinado pelo método da reflectometria no domínio do tempo (TDR), por meio de uma sonda Delta-T-PR2 introduzida através de tubos de acesso instalados em cada tratamento.

De posse dos dados do conteúdo atual de água do solo, e com auxílio de uma planilha eletrônica editada no Excel, onde foram registrados os valores diários do conteúdo atual de água do solo e a disponibilidade de água para as plantas, calculou-se a lâmina de reposição de água e o tempo da irrigação para os tratamentos, servindo de base para a determinação da Lâmina Líquida de Irrigação (LLIR), usando-se a Equação 01, adaptada de Mantovani et al. (2009).

$$LLIR = (CC - UA) / 10 \times D \times Z \quad (\text{Eq. 01})$$

Onde: LLIR: Lâmina líquida de irrigação (cm);
CC: capacidade de campo (% base solo seco);
UA: umidade atual do solo (% base solo seco);
D: densidade do solo;
Z: profundidade efetiva da raiz (cm).

A lâmina bruta de irrigação (LBIR) foi determinada a partir dos dados da LLIR e da eficiência de aplicação da irrigação (Ea) do sistema de irrigação utilizado, usando-se a Equação 02.

$$LBIR = LLIR/Ea \quad (\text{Eq. 02})$$

De posse do valor referente à lâmina de 100%, o tempo necessário de aplicação da lâmina de reposição foi calculado usando-se a Equação 03.

$$TI = LBIR /Ia \quad (\text{Eq. 03})$$

Onde: TI: tempo de irrigação (h);

Ia: intensidade de aplicação do sistema (mm h^{-1}).

Na Figura 1, apresenta-se a Umidade Relativa Máxima (%), a Mínima (%) e a Média (%) observadas durante os 117 Dias do experimento. As medições foram feitas, sempre às 9:00 e 15:00 horas, por meio de dois termohigrômetros instalados na área experimental.

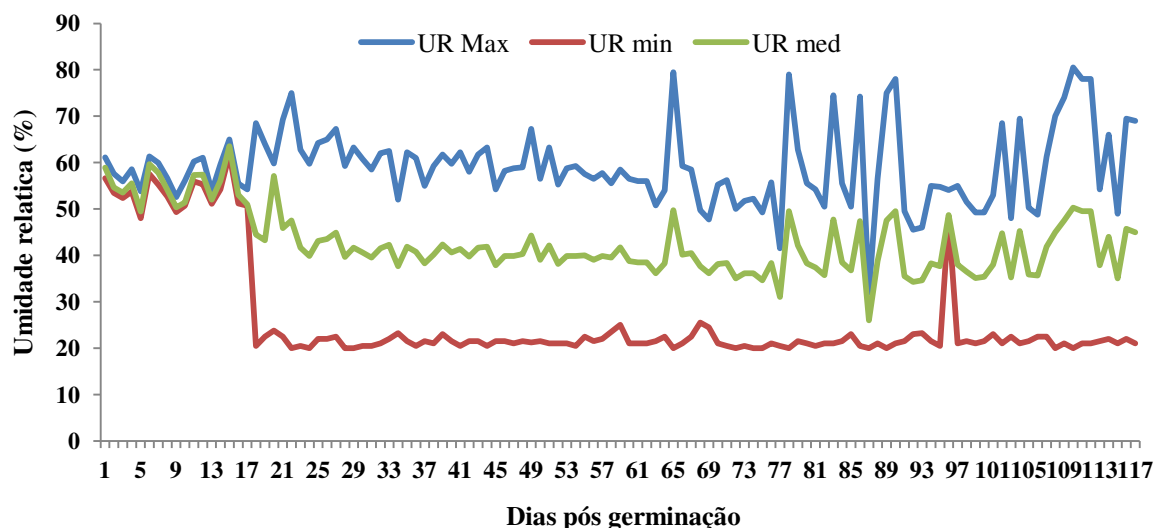


Figura 1. Umidade Relativa Máxima (*UR Max*) (%), Mínima (*UR Min*) (%) e Média (*UR Med*) (%) observadas durante os 117 dias pós germinação do algodoeiro herbáceo. Pombal, PB. 2015

Na Figura 2, apresenta-se a Temperatura Máxima ($^{\circ}\text{C}$), Mínima ($^{\circ}\text{C}$) e Média ($^{\circ}\text{C}$) durante os 117 dias do experimento.

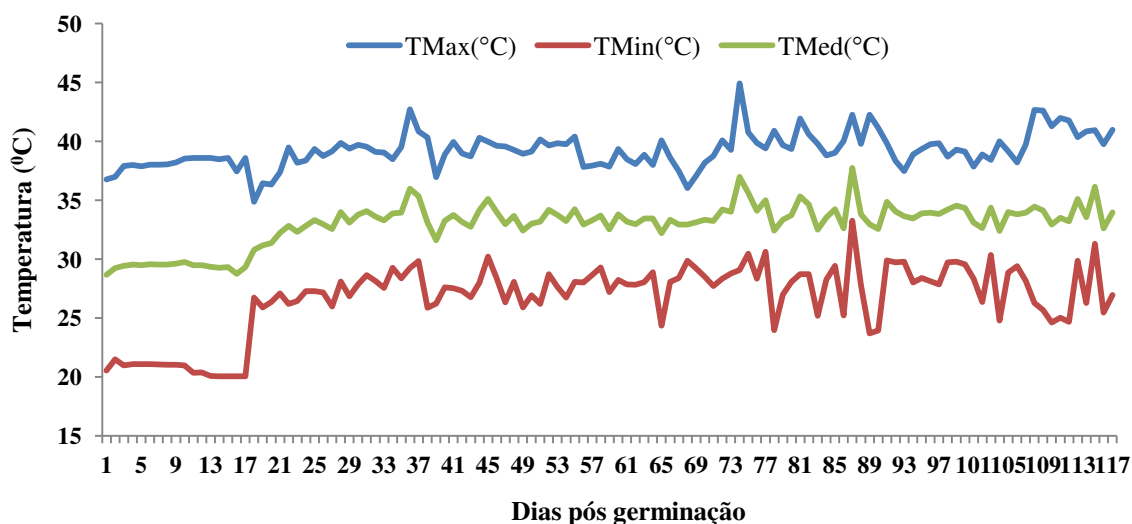


Figura 2. Temperatura Máxima (*TMax*) ($^{\circ}\text{C}$), Mínima (*TMin*) ($^{\circ}\text{C}$) e Média (*TMed*) ($^{\circ}\text{C}$), diárias observadas durante os 117 dias pós germinação do algodoeiro herbáceo. Pombal, PB. 2015

As temperaturas do ar foram medidas com um termômetro de mercúrio e a precipitação pluviométrica com um pluviômetro instalado próximo ao experimento. A Evapotranspiração de Referência (ET_o) calculada pelo método proposto por Hargreaves e Samani, seguindo metodologia contida em Mantovani et al. (2009) através da Equação 04.

$$ET_o = 0,0023 Ra (T_{máx} - T_{mín})^{0,5} (T_{méd} + 17,8) \quad (\text{Eq. 04})$$

Onde: T_{máx}, T_{mín}, T_{méd}, em °C, representam, respectivamente, as temperaturas, máximas, mínimas e médias e Ra a radiação solar no topo da atmosfera.

Tratamentos e Delineamento experimental

Os tratamentos foram formados por um esquema de parcelas subdivididas, constituindo-se, as parcelas, por 6 períodos (P) de déficit hídrico [P1 = tratamento sem déficit (testemunha, 100% irrigada durante todo o ciclo), P2 = déficit hídrico na fase de crescimento inicial, P3 = déficit hídrico na fase de aparecimento do primeiro botão floral, P4 = déficit hídrico na fase de aparecimento da primeira flor, P5 = déficit hídrico na fase de aparecimento da primeira maçã e P6 = déficit hídrico na fase de aparecimento do primeiro capulho] e, as subparcelas, por 2 cultivares (C) de algodoeiro herbáceo (C1 = BRS 286 e C2 = BRS 336), no delineamento blocos casualizados, totalizando 48 subparcelas experimentais. Depois de aplicado o período de estresse hídrico por respectiva fase fenológica, o qual durou 14 dias em cada tratamento, estes voltaram a ser irrigados até o final do ciclo da cultura. Cada subparcela foi constituída de uma linha de 6 m de comprimento, espaçada das demais por 1 m de largura, com área útil de 4 m², deixando 1 m de cada lado para efeito de bordadura. Cada bloco ficou com área de 144 m² e a área total do experimento foi de 24 m x 27 m (648 m²) (Figura 3).

BLOCO I		BLOCO II		BLOCO III		BLOCO IV	
P2	C1	P5	C1	P6	C1	P4	C1
	C2		C2		C2		C2
P5	C2	P6	C2	P4	C2	P1	C2
	C1		C1		C1		C1
P6	C1	P4	C1	P1	C1	P3	C1
	C2		C2		C2		C2
P4	C2	P1	C2	P3	C2	P2	C2
	C1		C1		C1		C1
P1	C1	P3	C1	P2	C1	P5	C1
	C2		C2		C2		C2
P3	C2	P2	C2	P5	C2	P6	C2
	C1		C1		C1		C1

Figura 3. Croqui do experimento. Pombal, PB. 2015. Legendas: P = períodos de déficit hídrico; C = cultivares

Variáveis analisadas

Características tecnológicas da fibra

Para cada cultivar de algodoeiro, as características tecnológicas da fibra foram determinadas numa amostra padrão de 20 capulhos coletados na área útil de cada subparcela, no terço médio da planta conforme metodologia no instrumento HVI (High Volume Instrument) do Laboratório de Fibras e Fios da Embrapa Algodão em Campina Grande, PB. As características tecnológicas de fibra avaliadas foram: Comprimento (mm); Uniformidade (%); Índice de fibras curtas (%); Resistência ($\text{gf}/\text{tex}^{-1}$); Alongamento à ruptura (%); Índice micronaire ($\mu\text{g}/\text{pol}$); Maturidade (%); Reflectância (%); Grau de amarelo e Índice de fiabilidade.

Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância através do teste F, sendo as médias dos níveis ou tratamentos dos fatores, ambos qualitativos, comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 2, se encontram os tratamentos de aplicação de déficit hídrico nas diferentes fases fenológicas das cultivares de algodoeiro herbáceo avaliadas, especificando, por datas e idade das plantas do período quando os déficits foram aplicados. As lâminas de irrigação totais aplicadas durante o ensaio nas cultivares de algodão foram de 732,41; 686,65; 608,39; 603,53; 610,85 e 649,67 mm, respectivamente, nos tratamentos P1, P2, P3, P4, P5 e P6.

Quadro 2. Detalhamento dos tratamentos de aplicação de déficit hídrico. Pombal, PB. 2015

Tratamentos	Período de aplicação do déficit	Início do déficit	Final do déficit	Dias com irrigação após déficit
Sem déficit (P1)	-	-	-	-
Déficit na fase de crescimento inicial (P2)	22/07 a 04/08 (14 dias)	29 DAG	43 DAG	71
Déficit na fase de botão floral (P3)	03/08 a 16/08 (14 dias)	40 DAG	54 DAG	60
Déficit na fase de flor (P4)	18/08 a 31/08 (14 dias)	54 DAG	68 DAG	46
Déficit na fase de maçã (P5)	26/08 a 08/09 (14 dias)	62 DAG	76 DAG	38
Déficit na fase de capulho (P6)	03/10 a 16/10 (14 dias)	100 DAG	114 DAG	0

DAG = dias após germinação

Devido a maior concentração de raízes do algodoeiro na camada de 0,0 a 0,40 m de profundidade, conforme Amaral & Silva (2008), os perfis de umidade do solo foram avaliados nesta camada, em todos os tratamentos de períodos de déficit hídrico (Figura 3), comparando estes aos conteúdos de água na Capacidade de campo ($22,9 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), Ponto de Murcha Permanente ($6,9 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e Conteúdo de Água Disponível ($16,08 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$).

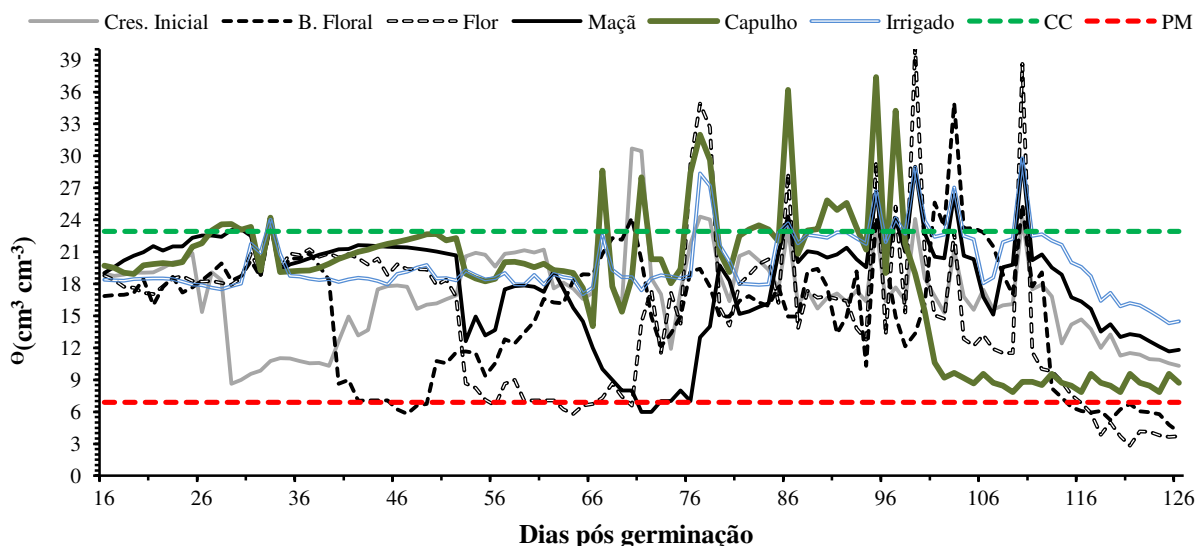


Figura 4. Variação do conteúdo de água do solo na camada de 0-40 cm de profundidade durante 126 dias pós germinação do algodoeiro herbáceo para os diferentes tratamentos de déficit hídrico. Pombal, PB. 2015 (CC = capacidade de campo; PM = ponto de murcha)

De acordo com a Figura 4, observa-se que a umidade no solo, ao final de cada período de déficit hídrico nos estágios foi bem próxima do ponto de murcha permanente (linha em vermelho - que representa o limite inferior do Ponto de Murcha Permanente), o que demonstra que a planta realmente estava sob estresse hídrico. Segundo Sun et al. (2015), a tolerância ao estresse hídrico depende do estágio de crescimento da planta e, quando ocorre déficit hídrico em estágios críticos, como o reprodutivo, o crescimento e desenvolvimento da planta pode ser afetado. Assim, é muito provável que no presente estudo as funções metabólicas da planta e pelos tanto a qualidade da fibra do algodoeiro tenham sido severamente afetadas.

3.1. Características tecnológicas da fibra

Observa-se, na Tabela 3, efeito significativo do fator Período de déficit (P) sobre todas as variáveis da fibra estudadas, ao nível de 1% de probabilidade, exceto maturidade, reflectância e grau de amarelo. Quanto ao fator Cultivar (C), houve efeito significativo sobre todas as variáveis da fibra a 1% de probabilidade. Em relação à interação entre os fatores (P x C) não houve efeito significativo em nenhuma das variáveis estudadas, significando que o efeito dos períodos de déficit hídrico testados não dependeu das cultivares estudadas, e vice-versa.

Zonta et al (2015b) estudando o efeito da irrigação no rendimento e qualidade de fibras em cultivares de algodoeiro herbáceo corroboram o efeito da irrigação sobre todas as variáveis da fibra estudadas na presente pesquisa. De forma similar, Zonta et al. (2017), estudando a influência da forma de amostragem na análise da qualidade da fibra e do déficit de água no algodoeiro irrigado encontraram efeito da irrigação sobre todas as variáveis da

fibra. Tal comportamento também foi observado por outros autores, como Wen et al. (2013) que afirmaram que muitas características de qualidade das fibras são influenciadas diretamente pelos déficits hídricos aplicados ao solo em diferentes fases fenológicas.

Almeida et. al. (2016), estudando o efeito de períodos de déficits hídricos, em diferentes fases fenológicas de diferentes cultivares, sob a qualidade da fibra do algodoeiro, encontraram diferença significativa, para as variáveis da fibra a nível de 1% de probabilidade, entre os tratamentos de irrigação e entre as diferentes cultivares estudadas.

Tabela 3. Resumo da análise de variância do comprimento (UHM_mm), uniformidade (UNF_%), índice de fibras curtas (SFI_%), resistência (STR_gf/tex⁻¹), alongamento à ruptura (ELG_%), índice micronaire (MIC_μg/pol), maturidade (MAT_%), reflectância (Rd_%), grau de amarelo (+b) e índice de fiabilidade (CSP) da fibra de duas cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas. Pombal, PB. 2015

FV	GL	UHM	UNF	SFI	STR	ELG	MIC	MAT	Rd	+b	CSP
		Quadrados médios									
Bloco	3	0,32	1,96	0,13	1,27	0,0047	0,01	0,000017	0,87	0,07	36258,57
Períodos de déficit (P)	5	26,28**	17,76**	5,02**	20,60**	1,0103**	0,58**	0,000158 ^{ns}	2,51 ^{ns}	0,58 ^{ns}	1272342,47**
Erro 1	15	2,20	0,98	0,29	3,15	0,2315	0,07	0,000055	0,78	0,42	72402,59
Cultivar (C)	1	128,38**	27,00**	8,41**	127,72**	17,2800**	0,46**	0,002408**	7,36**	17,16**	2697534,18**
(P x C)	5	0,33 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,1115 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,000033 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,30 ^{ns}	7875,73 ^{ns}
Erro 2	18	1,48	1,11	0,61	2,90	0,1756	0,04	0,000040	0,34	0,30	59672,81
Total	47										
Média Geral		30,67	85,81	6,51	33,67	4,44	5,01	0,89	83,67	9,70	3039,89
CV 1 (%)		4,85	1,16	8,38	5,27	10,82	5,38	0,83	1,06	6,72	8,85
CV 2 (%)		3,97	1,23	12,06	5,06	9,43	4,20	0,71	0,70	5,72	8,04

^{ns}, **, * : não significativo e significativo a $p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$; respectivamente (Teste F).

Verifica-se que o menor comprimento da fibra, 27,26 mm, foi encontrado quando o déficit hídrico foi aplicado na fase de aparecimento do primeiro capulho (Figura 5A), significativamente diferente de todos os demais tratamentos de déficit, e estes, não diferenciando entre si. Nesta variável, as cultivares também se diferenciaram entre si, com destaque para a cultivar BRS 336 classificada como algodão de fibra muito longa, obtendo média de 32,31 mm, significativamente superior a cultivar BRS 286 que obteve 29,04 mm, classificando-se, este último, como algodão de fibra longa, de acordo com a classificação industrial de fibras de algodão (SANTANA et al. 2008). Ambas as cultivares apresentaram valores médios dentro do padrão varietal que é de 29,1 a 31,3 mm para a cultivar BRS 286 e de 32,0 a 34,0 mm para BRS 336, segundo Silva Filho et al. (2008) e Morello et al. (2011), respectivamente (Figura 5B).

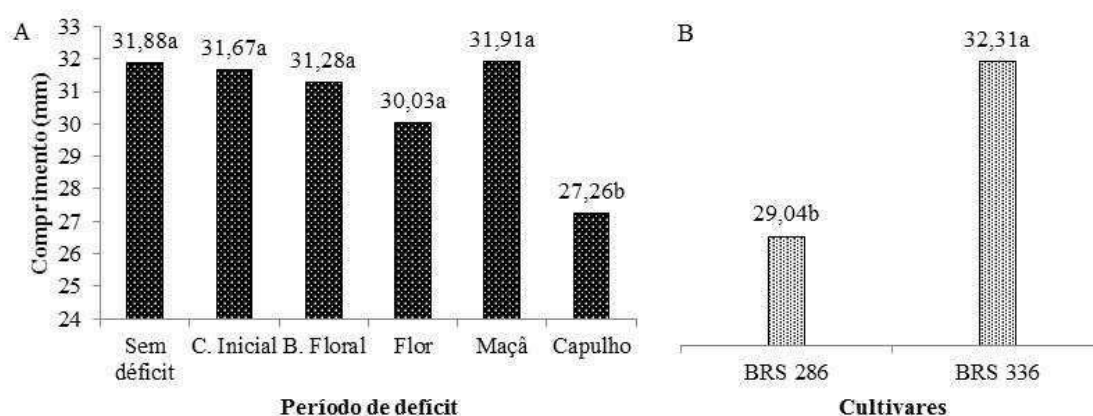


Figura 5. Médias do comprimento da fibra (UHM) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015

O déficit hídrico na fase de aparecimento do primeiro capulho (P6) reduziu, comparado aos demais tratamentos, o comprimento da fibra, observando assim, que déficits hídricos acentuados nesta fase fenológica produzem fibras de qualidade inferior. Esse comportamento também foi observado por outros autores, como Wen et al. (2013) que afirmaram que muitas características de qualidade das fibras são influenciadas diretamente pelos déficits hídricos aplicados ao solo em diferentes fases fenológicas. Abidi et. al. (2010) indicam que quando o déficit ocorre na fase de crescimento da fibra, dentro de 3 semanas após a antese, pode comprometer o comprimento das fibras formadas nesses capulhos. Kim (2015) afirma que os capulhos, de uma forma geral, desenvolvem-se rapidamente até 16 dias após a antese,

alcançando seu tamanho máximo aproximadamente após 24 dias e atingido a maturês entre 40 e 60 dias após a antese.

Os resultados corroboram os encontrados por Almeida et al. (2016) que, estudando a qualidade da fibra sob déficit hídrico em todas as fases fenológicas do algodoeiro, exceto na fase de capulho, encontraram efeito significativo do déficit hídrico sobre o comprimento da fibra. Os resultados encontrados confirmam também os obtidos por Pettigrew (2004) que afirma que a ocorrência de estresse hídrico logo após o florescimento e durante a fase de alongamento da fibra reduziu seu comprimento devido à ligação direta com os mecanismos fisiológicos de expansão celular. Do mesmo modo, Beltrão et al. (2008), observaram que a ocorrência de déficit hídrico no período de alongamento da fibra reduziu significativamente o comprimento da fibra.

Autores como Bradow e Davidonis (2000), Bauer et al. (2009) e Feng et al. (2011), mencionam em seus trabalhos que pode ocorrer variação nos componentes da fibra dentro de uma mesma planta e, trabalhando-se com amostras padrão, como é o caso da presente pesquisa, onde são coletados capulhos do terço médio das plantas, o resultado da análise dos componentes da fibra pode ser mascarado, não representando a real condição da parcela ou talhão, principalmente quando trabalha-se com experimentos nos quais são aplicados estresses abióticos, como o estresse hídrico. Segundo Kelly et al. (2015), os valores de comprimento da fibra variam em função da posição do capulho na planta, sendo maior no terço médio e menor nas posições superiores. Assim, quando se colhe amostras do terço médio, os valores tendem a ser superestimados em relação a colheita de amostras representativas de toda planta.

Igualmente ao comprimento da fibra, o menor valor de uniformidade da fibra (82,91%) foi encontrado no déficit hídrico aplicado na fase de aparecimento do primeiro capulho (P6), o mesmo se diferenciando dos demais tratamentos de déficit, e estes, não se diferenciando entre si (Figura 6A).

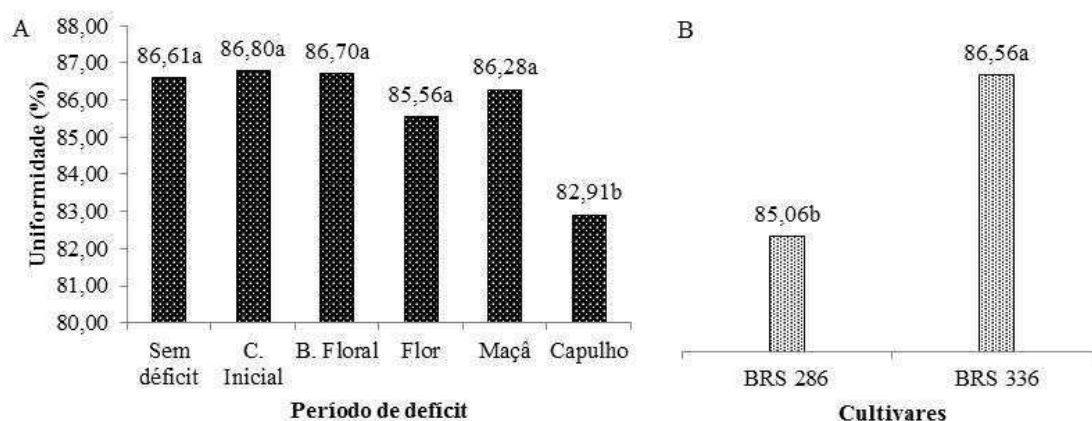


Figura 6. Médias da uniformidade da fibra (UNF) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015

As cultivares também se diferenciaram entre si, com destaque para a cultivar BRS 336 (86,56%) classificada como algodão de fibra muito uniforme, obtendo média superior a cultivar BRS 286 (85,06%) classificada como algodão de fibra uniforme, de acordo com a classificação industrial, conforme Santana et al. (2008). Ambas as cultivares apresentaram valores médios dentro do padrão varietal, de 83,5 a 85,5% para a cultivar BRS 286 e de 82,6 a 86,3% para BRS 336, segundo Silva Filho et al. (2008) e Morello et al. (2011), respectivamente (Figura 6B).

Com exceção do período de déficit hídrico aplicado na fase de aparecimento do primeiro capulho (P6), o alongamento e a uniformidade da fibra nos outros tratamentos continuaram a serem irrigados após o final de seus períodos de déficit. No entanto, quando o déficit hídrico ocorreu na fase de aparecimento do primeiro capulho, o alongamento e uniformidade da fibra pararam, pois após o período de déficit, a irrigação foi suspensa definitivamente devido chegar ao final o ciclo o algodoeiro, assim, este tratamento produziu os menores valores de comprimento e uniformidade da fibra do algodão. Corroboram estes resultados Wen et al. (2013) que afirmam que condições ambientais como o déficit hídrico, pode diminuir a taxa de alongamento ou encurtar o período de alongamento das fibras, diminuindo seu comprimento e uniformidade.

Considerando a variável índice de fibras curtas observa-se que o maior valor (pior índice) foi obtido quando o déficit hídrico foi aplicado na fase de aparecimento do primeiro capulho, índice significativamente superior aos obtidos nos outros tratamentos, os quais não se diferenciando entre eles (Figura 7A). Bradow & Davidonis (2000), afirmam que o índice de fibras curtas é dependente, além do genótipo, da disponibilidade hídrica.

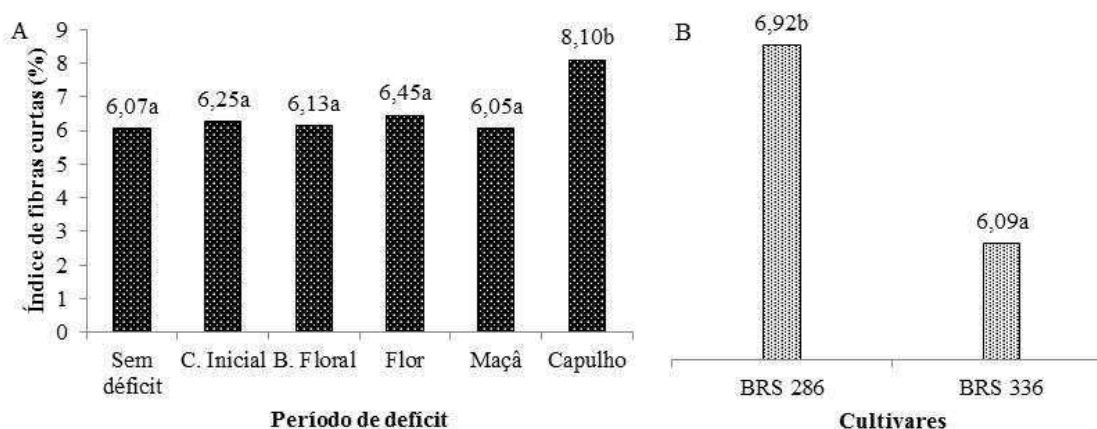


Figura 7. Médias do índice de fibras curtas (SFI) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015

Comparando-se a Bradow & Davidson (2000), que afirmam que, apesar do comprimento da fibra ser um traço primariamente genético, o índice de fibras curtas é dependente, além do genótipo, das condições de cultivo, dentre elas a disponibilidade hídrica, o presente resultado foi semelhante à afirmativa deste autor apenas no fator Cultivar. Quando o déficit hídrico ocorreu na fase de aparecimento do primeiro capulho, o alongamento da fibra parou devido a que após o período de déficit, a irrigação foi suspensa definitivamente produzindo um índice de fibra curta de 8,10%, correspondendo este a uma fibra de baixa qualidade, desfavorável para o mercado, segundo o critério de Santana et al. (2008).

A variável Índice de fibras curtas também foi afetada pelas cultivares, com destaque para a cultivar BRS 336 com uma média de 6,09%, significativamente menor que o índice encontrado para a cultivar BRS 286 de 6,92% (Figura 7B). Ambas cultivares foram classificadas como algodão de fibra curta baixo, de acordo com a classificação industrial (SANTANA et al., 2008). Apenas a cultivar BRS 336 apresentou valor médio dentro do padrão varietal que é de 4,6 a 7,3%, segundo Morello et al. (2011). Os resultados aqui encontrados foram satisfatórios, pois segundo Cordão Sobrinho et al. (2015) quanto menor for o índice de fibras curtas, melhor será o desempenho no processo da fabricação do fio e maior o interesse do mercado pelo produto.

Observa-se que a menor resistência da fibra foi encontrada na fase de aparecimento do primeiro capulho ($30,67 \text{ gf/tex}^{-1}$), significativamente igual ao valor encontrado para o déficit aplicado na fase de aparecimento da primeira flor ($33,11 \text{ gf/tex}^{-1}$) que por sua vez não se diferenciou dos demais tratamentos (Figura 8A).

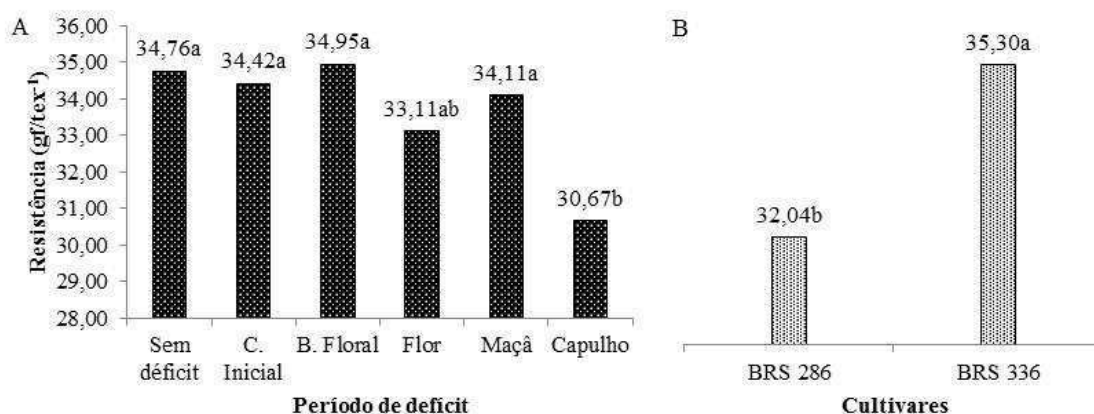


Figura 8. Médias da resistência da fibra (STR) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015

A resistência da fibra média para a cultivar BRS 286 foi de 32,04 gf/tex^{-1} e de 35,30 gf/tex^{-1} para a cultivar BRS 336, sendo ambas classificadas como algodão de resistência forte e muito forte, respectivamente, de acordo com a classificação industrial de Santana et al. (2008). Ambas as cultivares apresentaram valores médios acima do padrão varietal que é de 27,8 a 31,5 gf/tex^{-1} para a cultivar BRS 286 e de 31,0 a 34,2 gf/tex^{-1} para a BRS 336, segundo Silva Filho et al. (2008) e Morello et al. (2011), respectivamente (Figura 8B). As cultivares aqui estudadas apresentaram médias da resistência da fibra que se enquadram nas características desejáveis pela indústria. De acordo com Cordão Sobrinho et al. (2015) e Zhao et al. (2012), quanto maior a resistência da fibra, maior seu valor comercial na tecelagem, no ganho de qualidade e na produtividade.

A cultivar BRS 336 obteve resistência maior que a BRS 286, resultados importantes, pois segundo Zhao et al. (2012) o comprimento e a resistência da fibra são determinantes significativos da qualidade da fibra. No entanto, Bradow & Davidonis (2000) concluíram que a resistência das fibras apresenta correlação negativa com a produtividade.

Quanto ao alongamento a ruptura da fibra, observa-se que os melhores valores foram encontrados nos tratamentos sem déficit (P1) e com déficits hídricos aplicados nas fases de crescimento inicial (P2) e de maçã (P5), os mesmos não se diferenciando dos demais tratamentos, exceto com o déficit aplicado na fase de aparecimento do primeiro capulho (Figura 9A). Em síntese, o déficit hídrico aplicado nessas duas fases (P2 e P5), diminuiu o alongamento à ruptura da fibra do algodoeiro, pois segundo Cordão Sobrinho et al. (2015), quanto menor o alongamento à ruptura maior será a resistência do fio. Desejando-se economizar água, o déficit hídrico aplicado na fase de maçã (P5) que utilizou 610,85mm seria o mais recomendado. Deve-se lembrar que as lâminas de irrigação totais aplicadas durante o

ensaio nas cultivares de algodoeiro herbáceo foram de 732,41; 686,65; 608,39; 603,53; 610,85 e 649,67 mm, respectivamente, nos tratamentos P1, P2, P3, P4, P5 e P6.

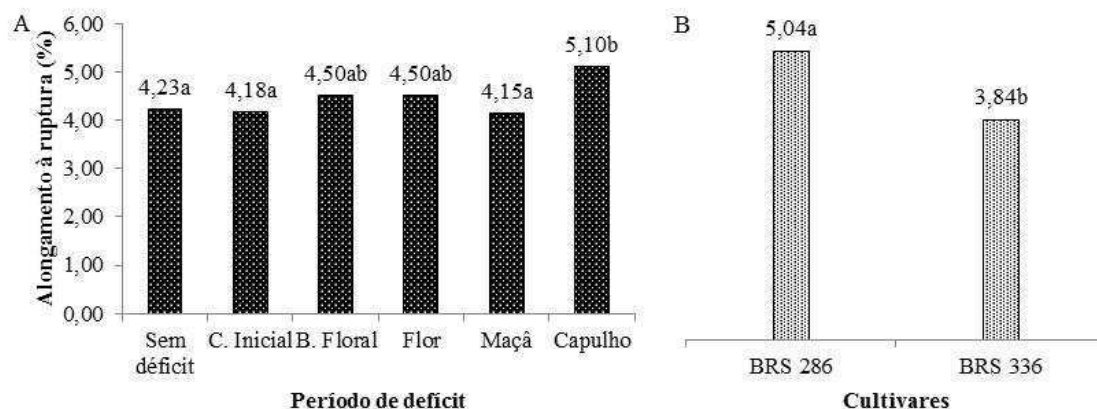


Figura 9. Médias do alongamento à ruptura da fibra (ELG) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015

O déficit hídrico aplicado nas fases de botão floral (P3), flor (P4) e capulho (P6), afetaram negativamente o alongamento da fibra do algodoeiro. Segundo Freire (2015), o processo de formação da fibra se dá a partir da fecundação da flor, devido a isso, déficit hídrico nesta fase pode afetar negativamente a qualidade da fibra.

A média obtida para o alongamento à ruptura foi de 5,04% para a cultivar BRS 286 e de 3,84% para a cultivar BRS 336, respectivamente, sendo classificadas como baixa e muito baixa, de acordo com a classificação industrial, conforme Santana et al. (2008) (Figura 9B). Ambas as cultivares apresentaram valores médios abaixo do padrão varietal que é de 7,5 a 9,5% para a cultivar BRS 286 e de 4,6 a 7,1% para BRS 336, segundo Silva Filho et al. (2008) e Morello et al. (2011), respectivamente.

O maior índice de micronaire (e pior índice) foi encontrado com o déficit hídrico aplicado na fase de aparecimento do primeiro capulho (P6), sendo significativamente maior que nos demais tratamentos de déficit aplicados, e estes, não se diferenciando entre si (Figura 10A). Fibras com índices de micronaire altos são fibras muito grossas, muitas irregulares e imperfeitas devido à redução de fibras na seção transversal do fio.

As cultivares estudadas se comportaram significativamente diferentes com os déficits de água nas diferentes fases fenológicas, com valor médio de 4,92 e 5,11 $\mu\text{g pol}^{-1}$ para a cultivar BRS 286 e BRS 336, respectivamente (Figura 10B). Ambas as cultivares encontram-se acima do padrão varietal que é de 3,9 a 4,5 e de 4,0 a 4,9 $\mu\text{g pol}^{-1}$ para a cultivar BRS 286 e BRS 336, respectivamente, segundo Silva Filho et al. (2008) e Morello et al. (2011). Quanto à

classificação industrial, os valores médios obtidos pelas fibras das cultivares BRS 286 e BRS 336 para o índice de micronaire, foram classificados como média e grossa, respectivamente, de acordo com Santana et al. (2008) e Kljun et al. (2014).

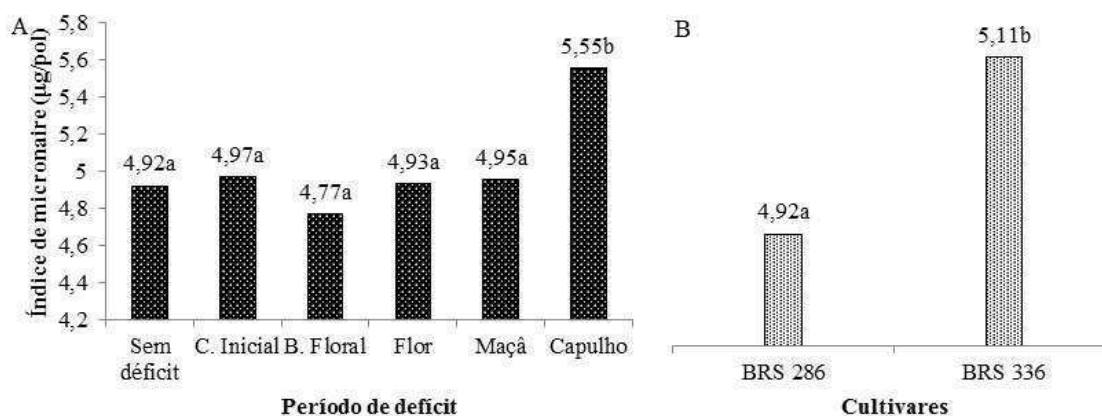


Figura 10. Médias do índice de micronaire da fibra (MIC) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015

De acordo com Ge (2007), fibras de algodão com índices de micronaire maior de 5,0 µg/pol são fibras de algodão muito grossas, com muitas irregularidades e imperfeições devido à redução de fibras na seção transversal do fio. Fibras com micronaire até 3,80 µg/pol são classificadas como finas e é recomendada para fabricar fios finos, tendo maior valor comercial nas tecelagens. Valores mais baixos de micronaire (< 3,5) sugerem que a fibra é imatura podendo ocasionar neps (pontos com diâmetro 200% e 280% acima da média, comprimento médio de 3 mm) e, conseqüentemente baixa afinidade tintorial no acabamento (KLJUN et al. 2014). Segundo Cordão Sobrinho et al. (2015), manter um valor de micronaire constante é importante visto que, um fluxo de fibras grossas provoca perda de resistência do fio e redução da eficiência no processo, enquanto fibras finas, provocam um aumento de neps nas cardãs e aumento na ruptura no processo, além de defeito no tingimento. Zhao et al. (2013) afirmam que o micronaire e a maturidade da fibra, são parâmetros importantes de qualidade comercial que orientam a gestão na produção de fibras.

Diversos autores como Cordão Sobrinho et al. (2015) e Zonta et al. (2015a) tem relatado índices micronaire acima de 5,0 µg/pol em experimentos com algodão irrigado, sendo considerada uma fibra grossa, e acima do tolerável pelo mercado. De acordo com Zonta et al. (2017) os elevados índices micronaire encontrados podem estar associados a forma de coleta da amostra de fibras a partir da Amostra Padrão, na qual coleta-se capulhos principalmente de 1ª posição, os quais, segundo Belot & Dutra (2015), apresentam os valores

mais elevados. Para este parâmetro, corroborando com os obtidos na presente pesquisa, onde foi encontrado valores de índice micronaire bem próximo ou acima de 5,0 $\mu\text{g}/\text{pol}$ (algodão de fibra grossa), não sendo aceitável/tolerável pela moderna indústria têxtil.

Com exceção da fase de aparecimento dos capulhos, os tratamentos de períodos de déficit hídrico, não afetaram a maturidade da fibra do algodoeiro (Figura 11A).

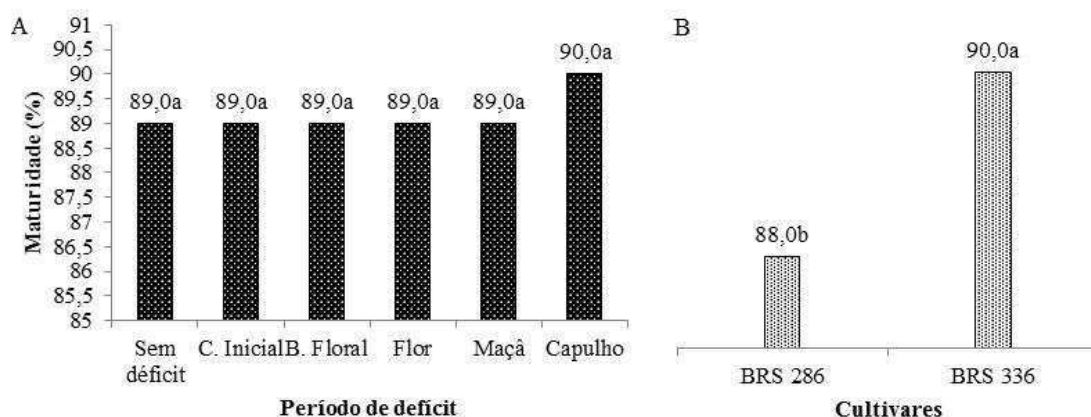


Figura 11. Médias da maturidade da fibra (MAT) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015

A cultivar BRS 336 apresentou uma maturidade média de 90%, significativamente maior que a cultivar BRS 286 que foi de 88%, sendo classificadas, respectivamente, como algodão de maturidade alta e muito alta, de acordo com Santana et al. (2008) (Figura 11B). A maturidade das fibras é um parâmetro muito importante para a indústria têxtil visto que as fibras imaturas possuem menor capacidade de absorção da tinta, tornando o tecido desuniforme (KELLY et al., 2015; KIM, 2015). Sua variabilidade tem impacto negativo no produto final, principalmente no tingimento.

Com relação à reflectância (Rd%), relacionada com à cor da fibra, os períodos de déficit, não afetaram o comportamento da maturidade (Figura 12A).

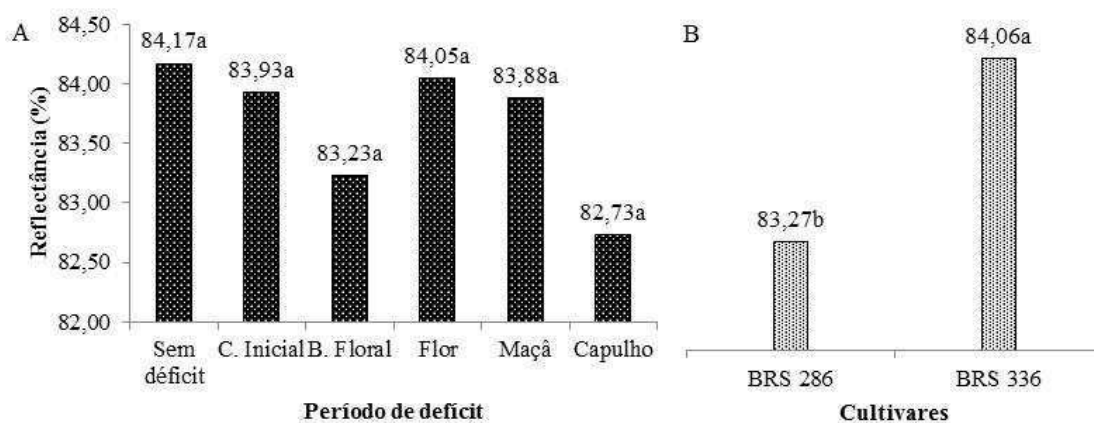


Figura 12. Médias da reflectância da fibra (Rd) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015

A cultivar BRS 336 apresentou uma reflectância média de 84,06%, significativamente maior que a encontrada na cultivar BRS 286 (83,27%) (Figura 12B). Ambas as cultivares apresentaram valores médios acima do padrão varietal que é de 75 a 80% para a cultivar BRS 286 e de 68,4 a 82,8% para a BRS 336, segundo Silva Filho et al. (2008) e Morello et al. (2011), respectivamente. Quanto à classificação industrial, a reflectância foi classificada como algodão de fibra branco para ambas as cultivares (SANTANA et al. 2008).

Esses resultados segundo Cordão Sobrinho et al. (2015) são satisfatórios, uma vez que, quanto maior a reflectância da fibra, menor será seu acinzentamento e em consequência, maior o interesse para a cadeia do algodão e da indústria têxtil por ter um maior valor agregado ao produto. Corroborando a presente pesquisa, Santana et al. (2001) encontraram resultados semelhantes em um ensaio avaliando características intrínsecas de fibra do algodão no Nordeste do Brasil.

Ao igual que para a reflectância, os tratamentos de déficit hídrico não afetaram o grau de amarelo da fibra (+b) (Figura 13A). O grau de amarelo entre as cultivares foi sim afetado pelos tratamentos de déficits, tendo a BRS 286 um maior grau de amarelo (10,30) e a BRS336 um menor grau de amarelo (9,10), sendo todos classificados como branco (SANTANA et al. 2008). Segundo Bradow & Davidonis (2000), a cor da fibra está diretamente ligada a fatores ambientais durante a estação de cultivo, que neste trabalho foi o estresse hídrico em diferentes fases fenológicas. Zonta et al. (2015b) afirmam que a aplicação de desfolhantes e dessecantes, ataque de pragas, entre outros, também podem influenciar a cor da fibra.

Ambas as cultivares apresentaram valores médios do grau de amarelo da fibra acima do padrão varietal que é de 7,0 a 9,0% para a cultivar BRS 286 e de 4,9 a 8,6% para BRS 336, segundo Silva Filho et al. (2008) e Morello et al. (2011), respectivamente (Figura 13B).

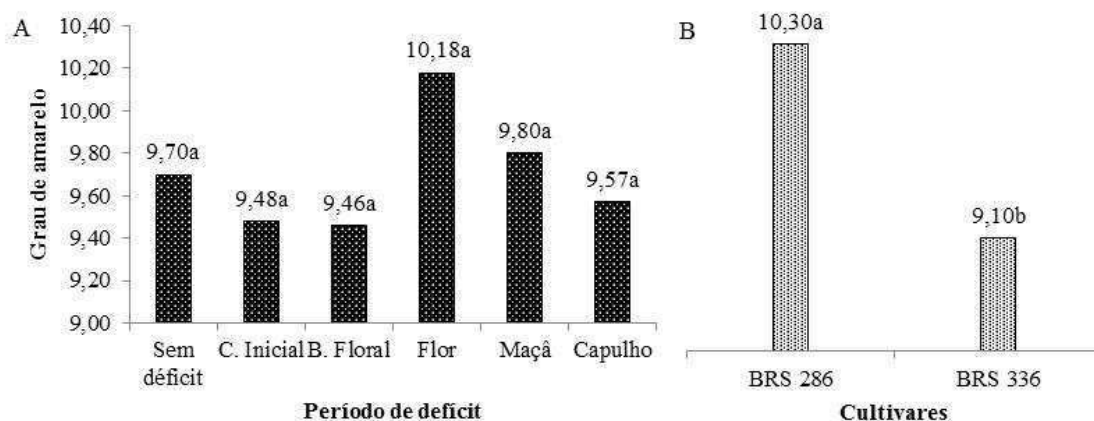


Figura 13. Médias do grau de amarelo da fibra (+b) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015

Segundo Cordão Sobrinho et al. (2015) conhecer o valor do grau de amarelo é importante, pois a coloração da fibra nem sempre pode ser vista a olho nu e sim somente com luz ultravioleta e, se não controlado o grau de amarelo na mistura, pode haver problemas tais como barramento no fio, no tecido e na malha.

O índice de fiabilidade foi menor quando se aplicou o déficit hídrico na fase de aparecimento do primeiro capulho (P6), diferenciando-se significativamente dos demais tratamentos de déficit aplicados, e estes, não se diferenciando entre si (Figura 14A).

A média obtida para o índice de fiabilidade da cultivar BRS 286 foi de 2802,83 e de 3276,95 para a cultivar BRS 336 (melhor índice), ambas classificadas como muito altos (SANTANA et al. 2008) (Figura 14B). Quanto ao padrão varietal, os valores aqui encontrados foram superiores aos encontrados por Silva Filho et al. (2008) e Morello et al. (2011), respectivamente. Estes resultados são satisfatórios, pois segundo Cordão Sobrinho et al. (2015) os índices de fiabilidade alcançados (maior que a média varietal) traduzem a característica da resistência dos fios que depende especialmente das fibras individuais.

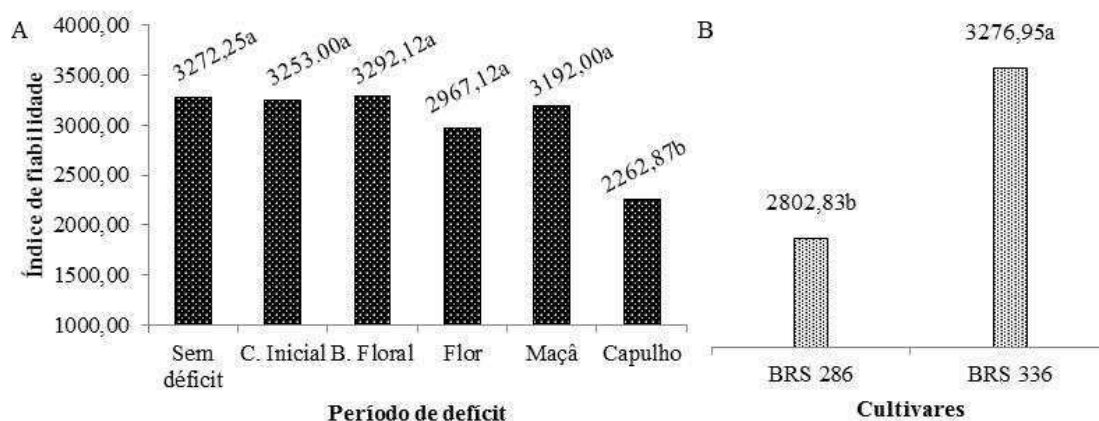


Figura 14. Médias do índice de fiabilidade (CSP) do algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico nas fases fenológicas (A. Períodos de déficit; B. Cultivares). Pombal, PB. 2015

Com exceção dos déficits aplicados na fase do aparecimento do primeiro botão floral (P3), da primeira flor (P4) e do primeiro capulho (P6), que afetaram negativamente a qualidade da fibra do algodoeiro, os tratamentos sem déficit (P1), com déficits hídricos nas fases de crescimento inicial (P2) e de maçã (P5), promoveram os melhores valores em todas as variáveis analisadas, indicando que os déficits nestes períodos de déficits, nas cultivares BRS 286 e BRS 336, possibilitaram padrões de fibra exigidos pelo mercado e para a indústria do algodão.

Observa-se que a cultivar BRS 336 apresentou os melhores resultados para quase todas as características de fibra avaliadas, exceto para o índice micronaire. Porém, apesar de apresentar resultados inferiores, a cultivar BRS 286 apresentou resultados dentro do padrão varietal e assim, também esta cultivar atende à maioria das características tecnológicas da fibra exigidas pela moderna indústria têxtil. Os resultados obtidos no presente trabalho demonstram que as duas cultivares avaliadas possuem potencial para cultivo irrigado na região semiárida, desde que seja realizado o correto manejo da irrigação e demais tratamentos culturais. As diferenças encontradas entre as cultivares eram esperadas, pois segundo Bradow & Davidonis (2000), sempre existem diferenças nas características de qualidade da fibra entre cultivares de distintos genótipos.

Bradow e Davidonis (2000), Bauer et al. (2009) e Feng et al. (2011) indicam que a variação ambiental que ocorre dentro do dossel da planta, entre plantas ou parcelas, faz com que as características da fibra apresentem uma grande variabilidade quanto ao capulho, planta e parcela. Desta forma, quanto mais uniforme e representativa das condições da planta e da parcela como um todo for à amostragem, mais representativos serão os resultados da análise

dos componentes da fibra (ZONTA et al. 2017). Para não ocorrer à possibilidade de subestimar ou superestimar os resultados, Zonta et al. (2017) apontam que para a determinação da qualidade das fibras em ensaios de estresse hídrico, a coleta de amostras que representem os capulhos de todas as posições frutíferas da planta é a mais indicada, buscando evitar estimativas equivocadas dos resultados. Os mesmos autores afirmam que quando aplicado estresse hídrico em diferentes fases do ciclo fenológico da cultura, este estresse irá incidir sobre capulhos em diferentes fases de crescimento e maturação, influenciando-os diferentemente, evidenciando um fato que possa ter acontecido no presente ensaio.

4. CONCLUSÕES

Com exceção da maturidade, da refletância e do grau de amarelo da fibra, os déficits hídricos aplicados nas diferentes fases fenológicas das cultivares do algodoeiro herbáceo afetaram a qualidade da fibra;

Com exceção do índice de fibras curtas, do alongamento e do índice de micronaire, o tratamento sem déficit de água promoveu os melhores valores da fibra;

O algodoeiro herbáceo produziu fibras de melhor qualidade quando o déficit hídrico ocorreu nas fases de crescimento inicial e maça;

A cultivar BRS 336 do algodoeiro produziu fibras de melhor qualidade que a cultivar BRS 286, independentemente da época de aplicação do déficit hídrico.

As cultivares utilizadas possuem características de fibra em conformidade com os padrões varietais e comerciais de fibra média (BRS 286) e longa (BRS 336).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIDI, N.; CABRALES, L.; HEQUET, E. F. Fourier transform infrared spectroscopic approach to the study of the secondary cell wall development in cotton fiber. *Cellulose*, v.17, n.2, p.309-320, 2010.

ALMEIDA, E. S. A. B. de; PEREIRA, J. R.; AZEVEDO, C. A. V. de; ARAÚJO, W. P.; ZONTA, J. H.; LIMA, R. F. de. Algodoeiro herbáceo submetido a déficit hídrico: Qualidade da fibra. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v.12, n.3, p.251-257, 2016.

AMARAL, J. A. B. do; SILVA, M. T. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do gergelim por manejo de irrigação. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, v.12, n.1, p.25-33, 2008.

ARAÚJO, L. F de; BERTINI, C. H. C de M.; BLEICHER, E.; VIDAL NETO, F das C.; ALMEIDA, W. S de. Características fenológicas, agrônômicas e tecnológicas da fibra em diferentes cultivares de algodoeiro herbáceo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.8, n.3, p.448-453, 2013.

BAUER, P. J.; FOULK, J. A.; GAMBLE, G. R.; SADLER, E. J. A comparison of two cotton cultivars differing in maturity for within-canopy fiber property variation. *Crop Science*. v.49, n.2, p.651-657, 2009.

BELOT, J. L.; DUTRA, S. G. Qualidade da fibra do algodão de Mato Grosso: variabilidade das características HVI das principais variedades cultivadas - Safra 2013/2014. *Circular Técnica* 18. 2015. Cuiabá, Brazil: Instituto Mato-Grossense do Algodão.

BELTRÃO, N. E. M.; ALMEIDA, O. A.; PEREIRA, J. R.; FIDELES FILHO, J. Metodologia para estimativa do crescimento do fruto e do volume absoluto e relativo da planta do algodoeiro. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas, Campina Grande*, v.5, n.1, p.283-289, 2001.

BELTRÃO, N. E. M. Fisiologia da produção do algodoeiro. Campina Grande: Embrapa algodão, 2006. (Embrapa Algodão. Circular Técnica, 94).

BELTRÃO, N. E. de M. AZEVEDO, D. M. P. de; CARDOSO, G. D.; VALE, L. S. do; ALBUQUERQUE, W. G. de. Ecofisiologia do algodoeiro. In: BELTRÃO, N. E. de M. AZEVEDO, D. M. P. de. *O agronegócio do algodão no Brasil*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2 v. 2008. 1.309p.

BELTRÃO, N. E. DE M.; AZEVEDO, D. M. P. DE. Contribuição do melhoramento ao cultivo do algodão. In: Beltrão, N. E. de M.; Azevedo, D. M. P. de. (Eds.). *O agronegócio do algodão no Brasil*. Brasília- DF: Embrapa Algodão, 2008. v.1, p.271-279.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de Irrigação. 8ª ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 625p.

BEZERRA, J. R. C.; SILVA E LUZ, M. J. da; PEREIRA, J. R.; SANTANA, J. C. F. de; DIAS, J. M.; SANTOS, J. W. dos; SANTOS, T. da S. Efeito do déficit hídrico no solo sobre o

rendimento e a fibra do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201. Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas. Campina Grande, v.7, n.2/3, p.727-734, 2003.

BRADOW, J. M.; DAVIDONIS, G. H. Quantitation of fiber quality and the cotton production-processing interface: a physiologist's perspective. The Journal of Cotton Science, Baton Rouge, v. 4, n. 1, p. 34-64, 2000.

BRITO, G. G. de; SOFIATTI, V.; LIMA, M. M. de A.; CARVALHO, L. P. de; SILVA FILHO, J. L. da. Physiological traits for drought phenotyping in cotton. Acta Scientiarum Agronomy, Maringá, v.33, n.1, p.117-125, 2011.

CAVALCANTI, F. J. de A. (Coord.). Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2^a. aproximação. 2 ed. rev. Recife: IPA, 2008. 212 p.

CORDÃO SOBRINHO, F. P.; GUERRA, H. O. C.; ARAUJO, W. P.; PEREIRA, J. R.; ZONTA, J. H.; BEZERRA, J. R. C. Fiber quality of upland cotton under different irrigation depths. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Campina Grande. v.19, n.11, p.1057–1063, 2015.

EMBRAPA ALGODÃO. Cultivo do algodão irrigado: cultivares. Versão Eletrônica 2ed. Campina Grande, Embrapa Algodão, Disponível em: http://sistemas.deproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodão/AlgodaoIrrigado_2ed/cultivares.html . 2006.

EMBRAPA ALGODÃO. Cultivo do algodão irrigado. Versão Eletrônica 3ed. https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaoalf6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=7717&p_r_p_-996514994_topicoId=7975. 2014. Acesso em: 15 jan. 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

FENG, L.; BUFON, V. B.; MILLS, C. I.; HEQUET, E. F; BORDOVSKY, J. P.; KEELING, W.; BEDNARZ, C. W. Effects of irrigation, cultivar, and plant density on cotton within-boll fiber quality. Agronomy Journal. v.103, n.2, p.297-303, 2011.

FREIRE, E. C. Fatores que afetam a qualidade das fibras. In: FREIRE, E. C. Algodão no cerrado do Brasil. Brasília: Positiva. Cap 19, p.653-750, 2015.

GE, Y. Mapping In-field cotton fiber quality and relating it to soil moisture. Texas A & M University, TX. 2007.

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

KELLY, B., ABIDI, N.; ETHRIDGE, D.; HEQUET, E. F. Fiber to Fabric. In: Cotton, 2nd ed., Agron. Monogr. 57. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI. p. 665-744. 2015. (Cotton. 2nd. ed. David D. Fang and Richard G. Percy, editors. Agronomy Monograph 57.).

KIM, H. J. Chapter 5: Fiber biology, pp 97-127. In Fang, D.D. & Percy, R.G. (ed) Cotton, 2nd edition, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America. Madison, WI. 2015.

KLJUN, A.; EI-DESSOUKY, H. M.; BENIANS, T. A.; GOUBET, F.; MEULEWAETER, F.; KNOX, J. P.; BLACKBURN, R. S. Analysis of the physical properties of developing cotton fibers. *European Polymer Journal*, v.51, p.57-68, 2014.

LOKHANDE, S.; REDDY, K. R. Reproductive and fiber quality responses of upland cotton to moisture deficiency. *Agronomy Journal*, v. 106, n. 3, p. 1060-1069, 2014.

LUO, H.; ZHANG, H.; HAN, H.; HU, Y.; ZHANG, Y.; ZHANG, W. Effects on water storage in deeper soil layers on growth yield, and water productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in arid areas of northwestern china. *Irrigation and Drainage*, v.63, n.1, p.59-70, 2013.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO S.; PALARETTI, L. F. Irrigação princípios e métodos. Viçosa: Ed. UFV. 2009. 355p.

MORELLO, C. de L.; PEDROSA, M. B.; CHITARRA, L. G.; SUASSUNA, N. D.; SILVA FILHO, J. L. da; FREIRE, E. C.; BENITES, F. R. G.; FARIAS, F. J. C; LAMAS, F. M.; ANDRADE, F. P.; BARROSO, P. A. V.; RIBEIRO, P. A. V.; GODINHO, V. de P. BRS 336 cultivar de alta qualidade de fibra para cultivo no cerrado e no semiárido do Brasil. Campina Grande: Embrapa Algodão. 2011, 2 p. (folder).

PETTIGREW, W. T. Moisture deficit effects on cot-ton lint yield, yield components, and boll distribution. *Agronomy Journal*, Madson, v. 96, n. 2, p. 377-383, 2004.

SANTANA, J. L.; COSTA, J. N. da; FERRAZ, I.; OLIVEIRA, L. M. Q. M. de. Tecnologia da fibra de linhagens e cultivares de algodoeiro herbáceo, avaliadas em ensaio regional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., 2001, Campo Grande. Anais. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 2001. p.1093-1095.

SANTANA, J. C. F de; WANDERLEY, M. J. R.; BELTRÃO N. E. De M.; AZEVEDO, D. M. P. de; LEÃO, A. B.; VIEIRA, D. J. Características da fibra e do fio do algodão. In: BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. (Ed.). O agronegócio do algodão no Brasil. 2 ed. revista e ampl. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 1099-1120. 2008.

SILVA FILHO, J. L. da; PEDROSA, M. B.; MORELLO, C. de L.; FREIRE, E. C.; ALENCAR, A. R de.; ANDRADE, F. P.; CHITARRA, L. G.; FARIAS, F. J. de C.; VIDAL NETO, F. das C. BRS 286 Cultivar de Alta produtividade de Pluma de Porte Baixo, para Cultivo no Estado da Bahia. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008, 2 p, 1 folder.

SOUSA, C. B. de. Estudo de parâmetros morfofisiológicos na cultura do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.) em condições diferenciadas de Irrigação no Vale do Assu, RN. 1994, 71p. Dissertação de Mestrado – Campina Grande, UFPB-CCT, 1994.

SUN, Y.; NIU, G.; ZHANG, J.; DEL VALLE, P. Growth responses of an interspecific cotton breeding line and its parents to controlled drought using an automated irrigation system. *The Journal of Cotton Science*, v.19, n.2, p.290-297, 2015.

WEN, Y.; ROWLAND, D. L.; PICCINNI, G.; COTHREN, J. T.; LESKOVAR, D. I.; KEMANIAN, A. R.; WOODARD, J. D. Lint yield, lint quality, and economic returns of cotton production under traditional and regulated deficit irrigation schemes in southwest Texas. *The Journal of Cotton Science*, Baton Rouge, v.17, n.1, p.10-22, 2013.

YAZAR, A.; SEZEN, S. M.; SESVEREN, S. LEPA and trickle irrigation of cotton in the Southeast Anatolia Project (GAP) area in Turkey. *Agricultural Water Management*, v.54, p.189-203, 2002.

ZHAO, W.; LI, J. LI, Y.; YIN, J. Effects of drip system uniformity on yield and quality of Chinese cabbage heads. *Agricultural Water Management*, v.110, p.118-128, 2012.

ZONTA, J. H.; BEZERRA, J. R. C. B.; SOFIATTI, V.; FARIAS, F. J. C.; CARVALHO, L. P de. Efeito da irrigação no rendimento e qualidade de fibras em cultivares de algodoeiro herbáceo. *Revista Caatinga, Mossoró*, v.28, n.4, p.43-52, 2015a.

ZONTA, J. H.; BEZERRA, J. R. C.; SOFIATTI, V.; BRANDÃO, Z. N. Yield of cotton cultivars under different irrigation depths in the Brazilian semi-arid region, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n.8, p.748–754, 2015b.

ZONTA, J. H.; BRANDÃO, Z. N.; RODRIGUES, J. I. S.; BRAUN, H.; PEREIRA, A.; LOURENÇO, E. R. C.; SOFIATTI, V. Influence of boll sampling method and water stress on fiber quality of irrigated cotton (*Gossypium hirsutum* L.), *African Journal of Agricultural Research*, v.12, n.34, p.2667-2674, 2017.