



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**ANTONIO FLÁVIO BATISTA DE ARAÚJO**

**IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR DO ALGODOEIRO COM ÁGUA RESIDUÁRIA**  
**TRATADA SOB CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS: RESPOSTAS FISIOLÓGICAS,**  
**PRODUTIVIDADE E ANÁLISE ECONÔMICA**

**FORTALEZA**

**2022**

ANTONIO FLÁVIO BATISTA DE ARAÚJO

IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR DO ALGODOEIRO COM ÁGUA RESIDUÁRIA  
TRATADA SOB CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS: RESPOSTAS FISIOLÓGICAS,  
PRODUTIVIDADE E ANÁLISE ECONÔMICA

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e drenagem.

Orientador: Professor Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda.

Coorientador: Professor Dr. Fernando Bezerra Lopes.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

A687i Araújo, Antonio Flávio Batista de.  
Irrigação suplementar do algodoeiro com água residuária tratada sob condições semiáridas: Respostas fisiológicas, produtividade e análise econômica / Antonio Flávio Batista de Araújo. – 2022.  
86 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda.

Coorientação: Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes.

1. *Gossypium* *hissutum*. 2. Irrigação suplementar. 3. Reúso de água. 4. Fotossíntese. I. Título.

CDD 630

---

ANTONIO FLÁVIO BATISTA DE ARAÚJO

IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR DO ALGODOEIRO COM ÁGUA RESIDUÁRIA  
TRATADA SOB CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS: RESPOSTAS FISIOLÓGICAS,  
PRODUTIVIDADE E ANÁLISE ECONÔMICA

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e drenagem.

Aprovado em: 21/10/2022.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes (Coorientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa

Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr. Eduardo Santos Cavalcante

Universidade Federal de Ceará (UFC)

---

Dr. Nizomar Falcão Bezerra

EMATERCE

---

Dr. Fabio Aquino de Albuquerque

EMBRAPA ALGODÃO

A Deus.

A minha esposa Silvanira Dantas de Araujo, aos meus filhos: Arthur Dantas de Araujo, Eduardo Dantas de Araujo e André Dantas de Araujo. Aos meus pais, Francisco Aniceto de Araujo e Terezinha Batista de Araujo.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade de uma vida saudável e pela lucidez e compreensão de respeitar e tratar a todos com igualdade e justiça.

A minha esposa Silvanira Dantas de Araujo, aos meus filhos: Arthur Dantas de Araujo, Eduardo Dantas de Araujo e André Dantas de Araujo.

Aos meus pais, Francisco Aniceto de Araujo e Terezinha Batista de Araujo, aos meus irmãos e demais familiares pelo irrestrito apoio.

A FUNCAP – Fundação Cearense de Apoio a Pesquisa pela concessão da bolsa e a todos que fazem a secretaria da ciência e tecnologia do Estado do Ceará.

A SEDET (Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho do Estado do Ceará) e a ADECE (Agencia de desenvolvimento do Ceará) pelo apoio financeiro na condução do experimento.

A CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará, pela cooperação técnica e concessão do efluente tratado da ETE do Município de Russas.

Ao DENA - Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará pela eficiente condução do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

Ao professor Alexandre pela maneira atenciosa e democrática de tratar a todos na condição de coordenador do programa e ao professor Claudivan (orientador), pela competência e dedicação na transferência de conhecimentos e pela maneira gentil e solidária de apoiar a todos igualmente.

Aos professores: Eunice Maia de Andrade, Fernando Lopes Bezerra, Raimundo Nonato Távora, Zé Carlos, Magrão, Marlos Bezerra, Adunias Teixeira, Alexsandro, Thales, Izabel. Agradeço aos demais funcionários do PPGEA especialmente a Ana Maria e Ivna.

Aos colegas: Roney, Erick, Erialdo, Melina, Thales, Neisvaldo, Marcelo, Bruno, Adriana, Mardones, Juvenaldo, Iorrana, Luciana, Wembley, Julia, Saúde pelo apoio e companheirismo.

Agradeço a todos pela agradável convivência, especialmente aos colegas: Aureliano, Eduardo, Jonnathan e a Leila pelo companheirismo e o espírito cooperativo no compartilhamento das tarefas e na troca de experiências e conhecimentos.

Agradecer especialmente ao professor Omar Pereira (In memoriam), pelo exemplo de simplicidade, caráter e dedicação à família e aos amigos.

Muito obrigado a todos!

## RESUMO

A frustração de safras por déficit hídrico no semiárido brasileiro na estação chuvosa quase sempre caracterizada por prolongados veranicos tem comprometido a produção e a produtividade agrícola das culturas em regime de sequeiro no semiárido brasileiro. O uso das águas residuárias tratadas em estações de tratamento de esgotos na irrigação suplementar, desponta como uma estratégia para incrementar a produção agrícola de forma sustentável durante a estação das chuvas, eliminando, pelo menos parcialmente, as perdas associadas aos veranicos. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os impactos da irrigação suplementar com águas residuárias tratadas no algodoeiro, sem e com adubação química, simulando-se as condições de umidade do solo baseada em uma série histórica de dados de precipitação dos últimos 30 anos durante os meses de fevereiro a maio para a região do Baixo Jaguaribe-CE, considerando-se cenários normais, seca e seca severa. A pesquisa foi desenvolvida durante o período de Agosto-Dezembro de 2020 em uma área vizinha a ETE – Estação de Tratamento de Esgotos da Cagece – Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará no Município de Russas – CE, sob as coordenadas geográficas: 4° 56' 25" S, 37° 58' 33" W, e altitude 20,51m. O ensaio foi instalado em delineamento em blocos ao acaso, com arranjo dos tratamentos em parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram formadas pelos cenários hídricos (normal, seca e seca severa), definidos com base em série histórica de dados de 30 anos. As subparcelas foram compostas pela suplementação ou não com águas residuárias tratada, sendo as lâminas aplicadas nos veranicos (pelo menos 5 dias sem chuvas). As subsubparcelas foram formadas pela presença ou ausência da adubação com NPK. Foram utilizadas sementes da cultivar BRS 433 B2RF semeadas no espaçamento de 0,7m entre linhas e 0,3m entre covas, com duas plantas por cova. Os resultados obtidos apontam a eficácia da irrigação suplementar com águas residuárias em todo ciclo vegetativo e reprodutivo do algodoeiro minimizando os riscos da frustração de safras, potencializando a agricultura de sequeiro em regiões semiáridas. A lâmina de irrigação suplementação com águas residuárias foi benéfica ao algodoeiro principalmente, nos regimes hídricos simulados (seca e seca severa). A adubação nos tratamentos que receberam suplementação com águas residuárias não proporcionou incremento nas respostas fotossintéticas foliares, demonstrando que a suplementação por si só já é benéfica à fisiologia do algodoeiro, comprovando o potencial fertilizante das águas residuárias em substituição a adubação química a base de NPK.

**Palavras-Chave:** *Gossypium hirsutum* L.; irrigação suplementar; reúso de água; fotossíntese; produção de fibra.

## ABSTRACT

Crop failure due to water deficit in the Brazilian semi-arid region in the rainy season, almost always characterized by prolonged dry spells, has compromised the production and agricultural productivity of rainfed crops in the Brazilian semi-arid region. The use of treated wastewater in sewage treatment plants in supplementary irrigation emerges as a strategy to increase agricultural production in a sustainable way during the rainy season, eliminating, at least partially, the losses associated with dry spells. In this context, the present work aimed to evaluate the impacts of supplementary irrigation with treated wastewater on cotton, without and with chemical fertilization, simulating soil moisture conditions based on a historical series of precipitation data from the last 30 years. during the months of February to May for the region of Baixo Jaguaribe-CE, considering normal, drought and severe drought scenarios. The research was developed during the period of August-December 2020 in an area neighboring the ETE - Sewage Treatment Station of Cagece - Companhia de Agua e Esgoto do Estado do Ceará in the Municipality of Russas - CE, under the geographical coordinates: 4th 56' 25''S, 37° 58' 33''W, and altitude 20.51m. The trial was installed in a randomized block design, with treatments arranged in sub-divided plots, with four replications. The plots were formed by the water scenarios (normal, drought and severe drought), defined based on a 30-year historical data series. The subplots were composed by supplementation or not with treated wastewater, and the blades were applied in the dry season (at least 5 days without rain). The subsubplots were formed by the presence or absence of fertilization with NPK. Seeds of the cultivar BRS 433 B2RF were used, sown at a spacing of 0.7m between rows and 0.3m between holes, with two plants per hole. The results found indicate the effectiveness of supplementary irrigation with wastewater throughout the vegetative and reproductive cycle of cotton, minimizing the risks of crop failure, enhancing rainfed agriculture in semi-arid regions. The irrigation depth supplementation with wastewater was beneficial to cotton mainly in simulated water regimes (drought and severe drought). Fertilization in treatments that received supplementation with wastewater did not provide an increase in foliar photosynthetic responses, demonstrating that supplementation alone is already beneficial to the physiology of cotton, proving the fertilizing potential of wastewater to replace chemical fertilization based on NPK.

**Keywords:** *Gossipium hirsutum* L.; supplemental irrigation; water reuse; photosynthesis; fiberproduction.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Precipitação nos meses de Fev-Mai de 1974-2019, Russas-CE .....	23
Figura 2 – Lagoas de estabilização operadas pela CAGECE .....	25
Figura 3 – Lâminas e verânicos regime hídrico normal .....	35
Figura 4 – Lâminas e verânicos regime hídrico seca .....	35
Figura 5 – Lâminas e verânicos regime hídrico seca severa.....	36
Figura 6 – Conj. Moto bomba .....	36
Figura 7 – Sucção dupla .....	37
Figura 8 – Linhas de distribuição .....	37
Figura 9 – Leitura das trocas gasosas .....	38
Figura 10 – Coleta de dados biométricos .....	38
Figura 11 – Depth of simulated rain with fresh water, supplemental irrigation with treated domestic sewage (SI with TDS), and total water depth applied during the cotton cycle .....	62
Figura 12 – Added value for the different simulated water scenarios, supplemental irrigation with treated wastewater (SI) and presence and absence of NPK fertilization, depending on the area cultivated with BRS 433 cotton .....	72
Figura 13 – Farmers' income for the different simulated water scenarios supplemental irrigation with treated wastewater (SI) and presence or absence of NPK fertilization, depending on the area cultivated with BRS 433 cotton .....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lâminas totais aplicadas durante o ciclo do algodoeiro (BRS 433) .....	34
Tabela 2 – Resumo da análise de variância para as trocas gasosas foliares do Algodoeiro 25 DAP em função dos cenários hídricos, com e sem Irrigação suplementar com águas residuárias, com e sem adubação NPK Para as variáveis: Temperatura foliar; Transpiração (E); Concentração Interna de CO <sub>2</sub> (C <sub>i</sub> ); Fotossíntese (A) .....	40
Tabela 3 – Teste de médias da interação regimes hídricos x suplementação com águas residuárias 25 DAP para as variáveis: taxa de fotossíntese (A); taxa de transpiração(E); concentração interna de CO <sub>2</sub> (C <sub>i</sub> ); temperatura foliar .....	41
Tabela 4 – Resumo da análise de variância para as trocas gasosas foliares do Algodoeiro 54 DAP em função dos cenários hídricos, com e sem Irrigação suplementar com águas residuárias, com e sem adubação NPK Para as variáveis: Transpiração (E); Fotossíntese (A); Condutância Estomática (gs) .....	42
Tabela 5 – Teste de médias da interação regimes hídricos x suplementação com Águas residuárias 54 DAP para as variáveis: condutância estomática (gs); Taxa de fotossíntese (A); taxa de transpiração (E) .....	43
Tabela 6 – Teste de médias da interação adubação x irrigação suplementar com Águas residuárias 54 DAP para as variáveis: condutância estomática(gs); Taxa de fotossíntese(A); taxa de transpiração(E) .....	44
Tabela 7 – Teste de médias da interação Regimes hídricos x Adubação 54 DAP Para variável fotossíntese (A) .....	44
Tabela 8 – Resumo da análise de variância para as trocas gasosas foliares do algodoeiro 78 DAP em função dos cenários hídricos, com e sem irrigação suplementar, com e sem adubação NPK para as variáveis condutância estomática; taxa de	45

fotossíntese(A);	taxa	de
transpiração(E) .....		
Tabela 9 – Teste de médias da interação regimes hídricos x suplementação com águas residuárias para as variáveis de condutância estomática (gs); taxa de fotossíntese (A); taxa de transpiração (E) 78 DAP .....		46
Tabela 10 – Resumo da análise de variância para número de folhas (NF), área foliar (AF); altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), matéria seca da aérea (MSPA) do algodoeiro 25 DAP.....		48
Tabela 11 – Valores médios da matéria seca da parte aérea (MSPA); altura da planta (AP); diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF) do algodoeiro em Função dos cenários hídricos simulados, da suplementação ou não com Águas residuárias, e da presença ou ausência da adubação com NPK.....		49
Tabela 12 - Resumo da análise de variância para número de folhas (NF), área foliar (AF), altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), matéria seca da Parte aérea (MSPA) do algodoeiro 54 DAP .....		50
Tabela 13 – Teste de médias da interação regime hídrico simulado x da presença ou ausência da adubação com NPK para as variáveis número de folhas(NF); área foliar (AF) 54 DAP.....		51
Tabela 14 – Teste de médias da interação da suplementação ou não com águas residuárias tratada x da presença ou ausência da adubação com NPK para as variáveis área foliar(AF); diâmetro do caule(DC) 54 DAP .....		51
Tabela 15 – Teste de médias da interação regime hídrico simulado x suplementação ou não com águas residuárias tratada 54 DAP .....		52
Tabela 16 – Resumo da análise de variância para número de folhas (NF), área foliar (AF), altura da planta (AP), matéria seca da parte aérea (MSPA) do Algodoeiro 78 DAP .....		53
Tabela 17 – Teste de médias da interação regime hídrico simulado x da presença ou Ausência da adubação com NPK para as variáveis número de folhas(NF) área foliar (AF) 78 DAP .....		54

Tabela 18 – Teste de médias da interação regime hídrico simulado x da presença ou ausência da adubação com NPK para as variáveis número de folhas (NF); area foliar (AF) 78 DAP.....	54
Tabela 19 – Chemical analysis of the soil of the experimental, Ceará, Brasil .....	60
Tabela 20 – Chemical analysis of fresh water (FW) and treated domestic sewage (TDS) in the city of Russas, Ceará, Brazil.....	61
Tabela 21 – Summary of analysis of variance for cotton yield (total, seed, and lint), expressed in $\text{kg ha}^{-1}$ , physical water yield (PWP), efficiency of supplemental irrigation ( $\text{WUE}_{\text{SI}}$ ), stomatal conductance ( $g_s$ ), photosynthesis rate ( $A$ ) and shoots dry mass (SDM) as a function of water scenarios, supplemental irrigation (SI) with treated wastewater, and chemical fertilization .....	66
Tabela 22 – Cotton yield (total, seed, and lint), expressed in $\text{kg ha}^{-1}$ , physical water productivity (PWP), efficiency of supplemental irrigation ( $\text{WUE}_{\text{SI}}$ ), stomatal conductance ( $g_s$ ), photosynthesis rate ( $A$ ) and shoots dry mass as a function of water scenarios, supplemental irrigation (SI) with treated wastewater and chemical fertilization.....	67
Tabela 23 – Summary of analysis of variance for fiber length (UHM), fiber uniformity (UNF), short fiber index (SFI), and micronaire index (MIC) of cotton, as a function of water scenarios, supplemental irrigation with treated wastewater (SI), and chemical fertilization.....	70
Tabela 24 – Fiber uniformity (UNF) and micronaire index (MIC) of cotton, as a function of water scenarios and supplemental irrigation with treated wastewater.....	71

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	17
<b>2.1</b>	<b>Agricultura de sequeiro</b> .....	17
<b>2.2</b>	<b>A cultura do algodão</b> .....	18
<b>2.3</b>	<b>Veranico e déficit hídrico</b> .....	20
<b>2.4</b>	<b>Irrigação suplementar</b> .....	22
<b>2.5</b>	<b>Águas residuárias</b> .....	23
<b>2.6</b>	<b>Classificação das formas de reuso das águas residuárias segundo a Organização Mundial da Saúde – OMS, (WHO, 1973)</b> .....	26
	<b>CAPITULO I – IMPACTOS DA IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR COM ÁGUAS RESIDUÁRIAS TRATADAS E DA ADUBALÇÃO COM NPK SOBRE AS TROCAS GASOSAS FOLIARES E PRODUÇÃO DE BIOMASSA NO ALGODOEIRO</b> .....	29
<b>3</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	32
<b>3.1</b>	<b>HIPÓTESES</b> .....	33
<b>3.2</b>	<b>OBJETIVO GERAL</b> .....	33
<b>3.3</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	33
<b>3.4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	33
<b>3.5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	39
<b>3.6.1</b>	<i>Trocas gasosas foliares</i> .....	39
<b>3.6.2</b>	<i>Biometria e produção de biomassa</i> .....	47
<b>3.7</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	55
	<b>CHAPTER II – FIBER QUALITY, YIELD AND PROFITABILITY OF COTTON IN RESPONSE TO SUPPLEMENTAL WASTEWATER IRRIGATION AND NPK FERTILIZATION</b> .....	56
<b>4</b>	<b>INTRODUCTION</b> .....	58
<b>4.1</b>	<b>MATERIAL AND METHODS</b> .....	60
<b>4.2</b>	<b>RESULTS AND DISCUSSION</b> .....	65
<b>4.3.1</b>	<i>Crop yield, leaf gas exchange, and water use efficiency</i> .....	65
<b>4.3.2</b>	<i>Technological quality of fiber</i> .....	69

4.3.3	<i>Economic analysis</i> .....	72
4.4	<b>CONCLUSIONS</b> .....	75
7	<b>CONCLUSÕES GERAIS</b> .....	77
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	78

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O semiárido brasileiro ocupa uma área de 1,03 milhão de km<sup>2</sup> (pouco mais de 18% do território nacional) e abriga aproximadamente 27 milhões de habitantes, cerca de 12% da população brasileira. A área do semiárido está encravada nos estados de: Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Norte de Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. A precipitação pluviométrica variando entre 200-800 mm ano<sup>-1</sup>, valor muito inferior ao índice de evaporação potencial que alcança até 3.000 mm ano<sup>-1</sup>, gerando um déficit hídrico desafiador para agricultura da região (ASA BRASIL, 2017; IBGE, 2018; 2019).

A ocorrência de secas e irregularidades das chuvas no tempo e no espaço causam prejuízos enormes para o setor agropecuário no ambiente semiárido. Os longos períodos de estiagem resultam em frustrações de safras em regimes de sequeiro, prejudicando a produção de grãos e de forragens. Além disso, as secas sequenciais reduzem o volume de água dos reservatórios superficiais, impactando de forma direta todas as atividades produtivas, especialmente a agricultura irrigada. Essas dificuldades dos cultivos irrigados apontam para a necessidade do uso de águas residuárias tratadas, além do melhor aproveitamento da água das chuvas e melhoria na eficiência do uso da água (ARAUJO, 2012; SANTOS *et al.*, 2012; FAO 2019).

Com o avanço dos impactos da atividade agrícola sobre os recursos naturais e a previsão das mudanças climáticas, se faz necessário à adoção e/ou adaptação de novos modelos de produção, principalmente, nas regiões semiáridas (EMBRAPA, 2003; PEDROTTI, 2015; GHEYI, 2016).

Em regiões semiáridas a irrigação se apresenta como prática indispensável para garantir e incrementar a produção vegetal. Nessas regiões afetadas pela escassez e irregularidade na distribuição das chuvas, a irrigação suplementar com águas de qualidade marginal, incluindo as águas residuárias tratadas em culturas de sequeiro no período da quadra chuvosa se apresenta como importante ferramenta para minimizar a frustração de safras com menos água de irrigação e melhor aproveitamento das águas da chuva (SCHWERZ *et al.*, 2015; CAVALCANTE *et al.*, 2020).

A frustração de safras nas regiões semiáridas quase sempre ocasionadas por prolongados veranicos, comprometendo a produção das culturas cultivadas em regime de sequeiro, requer sistemas produtivos mais eficientes e culturas mais resistentes ao déficit hídrico. Nesse contexto, à irrigação suplementar com águas residuárias se apresenta como

importante ferramenta para incrementar a produção agrícola oportunizando a sustentabilidade hídrica das regiões secas (GHEYI *et al.*, 2012).

A irrigação suplementar com águas residuárias, além de importante fonte hídrica alternativa, tem comprovada eficiência na nutrição das plantas pelo seu elevado potencial como fonte de nutrientes essenciais, como: nitrogênio, fósforo e potássio, isso contribui para o aumento da produtividade das culturas, minimizando custos de produção em substituição aos fertilizantes químicos, contribuindo com o exercício da agricultura economicamente viável, socialmente justa e ecologicamente correta (LIMA *et al.*, 2006; BARROSO; WOLF, 2011; BARRETO *et al.*, 2013; ZAILTON *et al.*, 2014; SOUZA *et al.*, 2015; ANDRADE, 2019).

A irrigação suplementar com água residuária tratada pode minimizar a frustração de safras da cultura do algodão, ocasionada por frequentes veranicos durante a estação chuvosa, e é fonte potencial de nutrientes minerais para a cultura. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar os impactos da irrigação suplementar com águas residuárias e da adubação com NPK sobre a fisiologia, qualidade e produtividade do algodão herbáceo variedade BRS 433 B2RF, sob diferentes cenários hídricos simulados (Normal, Seca e Seca Severa) para a região do Baixo Jaguaribe, Ceará.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Agricultura de sequeiro

A agricultura de sequeiro praticada no semiárido não tem assegurado bom desempenho agrícola regional, as propriedades rurais encravadas no semiárido brasileiro continuam expostas a secular vulnerabilidade aos efeitos das estiagens prolongadas ocasionando frustrações de safras e baixa produção vegetal (MENEZES; SANTOS 1981).

A ausência de políticas públicas continuadas e duradouras de incentivo à agricultura, especificamente na agricultura familiar, tem desacelerado a evolução da atividade agrícola em regiões semiáridas, apesar das adversidades, modelos de produção de convivência com o semiárido vêm sendo implementados focados na sustentabilidade hídrica comprometida com o atendimento da demanda dos sistemas produtivos e da sociedade, favorecendo a oferta continuada tanto qualitativa quanto quantitativamente de água (VIEIRA, 2002).

A influência do regime de chuvas associado à ausência de tecnologia de sementes, manejo, adubação, assistência técnica e acesso ao crédito, resultam em baixas produtividades da agricultura de sequeiro no semiárido comparado a outras regiões (PEREIRA, 2018). Na perspectiva de superar as adversidades e garantir níveis de produtividade satisfatórios na agricultura de sequeiro nessas regiões, os objetivos concentram-se na adoção de modelos produtivos mais eficientes associados a modelos de previsão de rendimentos das culturas de sequeiro em função dos fenômenos climáticos (SILVA *et al.*, 2002).

Os sistemas agrícolas em condições de dependência de chuvas caracterizam-se pelo alto risco de perdas de safras, em uma estratégia de redução dos riscos, o monitoramento climático, as tecnologias de captação e armazenamento de água de chuva, os sistemas de preparo de solo e o uso de cultivares tolerantes e adaptadas aos estresses hídrico, salino e as altas temperaturas são requisitos mínimos recomendados para minimizar a frustração de safras e incrementar a produção da agricultura de sequeiro em regiões semiáridas (EMBRAPA SEMIARIDO: CONHECIMENTO, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, 2014).

A sustentabilidade da agricultura de sequeiro em regiões semiáridas carece de sistemas de produção mais eficientes associados a práticas de retenção de umidade do solo, uso de lâminas de irrigação complementares e fertilização do solo, garantindo a produção e o aumento da produtividade da água das chuvas em culturas de subsistência no semiárido brasileiro. Brito et al. (2012) concluíram que o efeito conjunto da irrigação de salvação e da

adubação orgânica proporcionaram aumentos de 54,5% e de 237,3% nas produtividades do feijão-caupi e do milho respectivamente, no semiárido pernambucano.

O avanço da agricultura de sequeiro no semiárido nordestino enseja a estruturação da agricultura familiar, dados do censo agropecuário (2017) referenciam que a nível Nacional 23% da atividade agropecuária brasileira é executada pela agricultura familiar, com baixa eficiência de produção e crescente degradação dos recursos naturais em face da falta de assistência técnica adequada e acesso ao crédito rural, no estado do Ceará a agricultura familiar representa 39,66% de toda produção agropecuária estadual (IBGE, 2019).

A sustentabilidade da atividade agropecuária nessas regiões depende de uma conjunção de esforços, sendo indispensável à integração das academias, principalmente, com a extensão rural, na multiplicação dos resultados exitosos dos inúmeros experimentos desenvolvidos nas universidades com foco na sustentabilidade hídrica na atividade agropecuária do semiárido do nordeste brasileiro em nível de produtor. Dentre os inúmeros experimentos exitosos com práticas de convivência com o semiárido que apontam viabilidade na produção vegetal com produtividades satisfatórias, destaca-se a irrigação suplementar com águas de qualidade marginal durante a quadra invernososa, incluindo águas salobras e residuárias, oportunizando modelos de produção capazes de superar a frustração de safras das culturas de sequeiro por déficit hídrico (MELO *et al.*, 2019; SANTOS JUNIOR *et al.*, 2021).

## **2.2 A cultura do algodão**

O algodão, também chamado de ouro branco, proporcionou um fluxo de riqueza transformando substancialmente a economia cearense desde o século XIX ainda na condição de capitania, a importância do algodão como principal fonte de riqueza na economia cearense se estendeu por todo o século XX, até a década de 1970, o aparecimento de novas pragas especialmente o bicudo, arruinaram a cotonicultura cearense, levando a uma gradual perda de importância na economia (CUNHA, 2020).

Dados da EMBRAPA (2014) citam a cultura do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. raça *latifolium* Hutch.) em condições de sequeiro, como uma das mais importantes para os pequenos e médios produtores da base familiar da região semiárida do Brasil até a década de 1980, diversos problemas concorreram para inviabilizar a produção algodoeira no Nordeste, a incapacidade de convivência com o bicudo (*Anthonomus grandis*, Boheman)

desestruturou a cadeia produtiva do algodão no Nordeste, o Brasil saiu da condição de grande exportador para grande importador de algodão.

Na última década o Brasil vem recuperando a produção de algodão, segundo dados da ETENE (2021), Índia, China, Estados Unidos, Brasil e Paquistão, responderam por 74% do total da fibra produzida no planeta na safra 2019/2020, o Brasil foi destaque na exportação da fibra ocupando a segunda posição no ranking mundial, os maiores produtores são os Estados de: Mato Grosso, Bahia, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul, o semiárido nordestino figura em pequena escala de produção, no sertão do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e sul da Bahia.

O algodão no semiárido brasileiro pode voltar a desempenhar um papel central para o desenvolvimento sustentável da região nordeste, uma das alternativas com comprovada eficácia, são os consórcios agroecológicos para sua inserção em mercados globais orgânicos e do comércio justo, os resultados obtidos na pesquisa científica sinalizam para a construção de sistemas de produção para viabilizar a reestruturação da cultura do algodão no semiárido Nordeste ecologicamente correto e socialmente justo (SILVA *et al.*, 2009; ARAUJO FILHO *et al.*, 2013; MATOS *et al.*, 2020).

A cultura do algodão herbáceo (*G. hirsutum*) teve grande contribuição socioeconômica para o desenvolvimento da atividade agrícola em todo país com forte impacto na região semiárida do nordeste brasileiro, sua reestruturação vem evoluindo com o desenvolvimento de novas cultivares mais resistentes ao ataque de pragas e doenças, especificamente ao bicudo, com melhor produtividade e qualidade da fibra associadas a boas práticas de manejo e conservação de solo e água (ALVES *et al.*, 2019; BÉLOT; VILELA, 2020).

Com solos e condições climáticas adequadas ao cultivo do algodão, o Estado do Ceará pode voltar a figurar como grande produtor, para tanto, será necessário à adoção de novos modelos de produção, aliando técnica e tecnologia voltadas para o aumento da produtividade, Ceará competitivo (2021), cita que mais importante que o aumento da área plantada, é a nova fase que atravessa a cultura do algodão no Estado do Ceará, com o aumento significativo da produtividade e profissionalismo da cadeia produtiva.

A cotonicultura vem se revitalizando no País, consolidada na região centro oeste, em nível de nordeste, com a adoção de novas tecnologias e o manejo adequado do cultivo das novas cultivares BRS 286 e BRS 433 B2RF, com aptidão para elevada produtividade de pluma

e níveis adequados de resistência as principais doenças de ocorrências em condições de cerrado e no Estado da Bahia e demais regiões semiáridas (EMBRAPA 2008; 2017).

### **2.3 Veranico e déficit hídrico**

A escassez hídrica tende a ser agravada devido aos efeitos das mudanças climáticas globais, que poderá tornar os períodos de chuvas mais prolongados e intensos em áreas de maior precipitação e, em regiões seca a maior frequência dos veranicos com baixas e irregulares precipitações e clima mais quente, tornando as estiagens mais frequentes e prolongadas impactando negativamente a agricultura de sequeiro (MARENGO; VALVERDE, 2007; SOARES; NOBREGA, 2009; CAPAZ; NOGUEIRA, 2014).

O aumento do consumo de água em todo o mundo também preocupa. Segundo a ANA (2020), o consumo brasileiro de água para irrigação, abastecimento urbano e utilização na indústria foi de 1.630 metros cúbicos por segundo. Em 2040, a expectativa é de que esse consumo aumente para 2.576 m<sup>3</sup>/s.

Os veranicos são eventos frequentes durante a quadra invernososa nas regiões semiáridas do nordeste brasileiro, dados climatológicos da região Jaguaribana do Estado do Ceará, local onde se desenvolveu o experimento, registram veranicos de até 28 dias consecutivos sem ocorrência de precipitação, ocasionando déficit hídrico resultando em baixas produtividades e frustração de safras nas culturas exploradas em regime de sequeiro (ROCHA *et al.*, 2020).

A utilização de dados meteorológicos fornecidos pelos órgãos responsáveis pela previsão da quadra invernososa indicando a distribuição das chuvas, quantidade e a ocorrência de veranicos nas regiões semiáridas, oportunizam o desenvolvimento de modelos produtivos capazes de superar os efeitos provocados por déficit hídrico no decorrer dos veranicos garantindo a produção agrícola de algumas culturas mesmo em condições de veranicos, expressando a relevância do planejamento agrícola (MENEZES *et al.*, 2010; 2015).

Na perspectiva das mudanças climáticas com cenários que apontam o agravamento da escassez hídrica em regiões semiáridas, Marengo (2006) destaca a necessidade da integração dos estudos das mudanças climáticas focado na elaboração de estratégias eficientes na adaptação e mitigação dos impactos negativos sobre os recursos hídricos e a atividade agrícola.

A mudança climática associada aos efeitos da seca tende a tornar cada vez mais adversa a atividade agrícola nas regiões semiáridas, Tavares *et al.* (2019) alertam para o risco

de grandes mudanças no setor agrícola do semiárido com efeitos deletérios para economia regional e nacional, caso não haja a implementação de modelos produtivos eficientes de convivência com a seca e as mudanças climáticas, resultará no avanço da desertificação e perda da biodiversidade, ocasionando a redução na capacidade de absorção de carbono pelas plantas, estima-se que as áreas desertificadas são responsáveis por 4% do total das emissões globais.

O principal fator da mudança climática é a modificação na disponibilidade hídrica do solo com fortes impactos sobre a produção vegetal, a baixa umidade do solo ocasiona diminuição no teor hídrico das folhas resultando em déficit hídrico, provocando o fechamento estomático modificando todo o processo fotossintético. Magalhães *et al.* (2012) encontraram resultados comprovando que a senescência foliar evidencia o estresse pela falta de água, gerando fortes impactos nos atributos de produção na cultura do milho.

O estresse hídrico sobre as plantas é capaz de provocar danos durante todo o estágio do desenvolvimento. O planejamento agrícola com plantio em períodos favoráveis e o uso de espécies tolerantes em consonância com a irrigação suplementar e o uso de cobertura morta, podem proporcionar as plantas boas condições de cultivo diminuindo danos oriundos do déficit hídrico, podendo ainda, incrementar a produtividade das culturas mesmo em períodos de baixa disponibilidade hídrica concluíram (ARAUJO JUNIOR *et al.*, 2019).

Os impactos na produção agrícola ocasionados pelo déficit hídrico devem ser minimizados por uma conjunção de conhecimentos e técnicas adequadas, tais como: zoneamento agrícola, calendário de plantio, práticas conservacionistas, irrigação suplementar com águas de qualidade marginal, reciclagem de nutrientes e adubação orgânica (BERGAMASCHI, 2006; ARAUJO, 2009).

Amaral *et al.* (2016) referenciam o uso de variedades resistentes ao estresse hídrico e aplicação de lâminas deficitária em determinadas fases de desenvolvimento da planta, como estratégias exitosas, em experimento testando diferentes genótipos de milho concluíram que uma redução de até 30% na lâmina de água (chuva + irrigação) não causou impacto significativo no rendimento.

Até mesmo as culturas tolerantes ao estresse hídrico estão expostas aos efeitos negativos ocasionados pelo déficit hídrico, o algodoeiro mesmo sendo uma planta tolerante ao estresse hídrico, a deficiência de umidade no solo em determinadas fases do ciclo de cultivo causa severos danos, afetando as estruturas reprodutivas e, conseqüentemente, redução na produtividade concluíram (ALVES *et al.*, 2019).

## 2.4 Irrigação suplementar

As plantas cultivadas em regime de sequeiro em regiões semiáridas quase sempre submetidas a déficit hídrico ocasionado por irregularidade na distribuição das chuvas, tem resultado em baixa produção vegetal e frequente frustração de safras, a irrigação suplementar tem comprovado eficiência no suprimento hídrico adequado ao crescimento e desenvolvimento das culturas minimizando os impactos sobre a produção e na frustração de safras na agricultura de sequeiro (EMBRAPA, 2007).

Há décadas a irrigação suplementar ou de salvação vem sendo praticada objetivando minimizar os impactos do déficit hídrico sobre a produção vegetal em regiões semiáridas, Silva *et al.* (1981) citam como estratégia eficiente no combate a frustração de safras em pequenas áreas agrícolas de sequeiro o aproveitamento das águas de chuvas provenientes do escoamento superficial acumuladas em barreiros para aplicação na irrigação de salvação, Santos *et al.* (2015) ressaltam a importância da barragem subterrânea na conservação de umidade do solo na produção de fruteiras com melhor aproveitamento da água das chuvas e diminuição na aplicação de lâminas de irrigação de salvação.

A irrigação suplementar ou de salvação tem minimizado a frustração de safras por déficit hídrico nas regiões semiáridas, as águas de qualidade marginal incluindo as águas salobras e o reuso tem se destacado como importantes fontes hídricas para elevar a produção e a produtividade na cadeia da agricultura de sequeiro, Cavalcante (2020) concluiu que a irrigação suplementar com água salobra reduziu o estresse hídrico na cultura do milho durante os veranicos, Melo *et al.* (2020) apontam as águas cinzas como fonte hídrica adequada na irrigação suplementar em quintais produtivos não causando impactos negativos nas características químicas do solo.

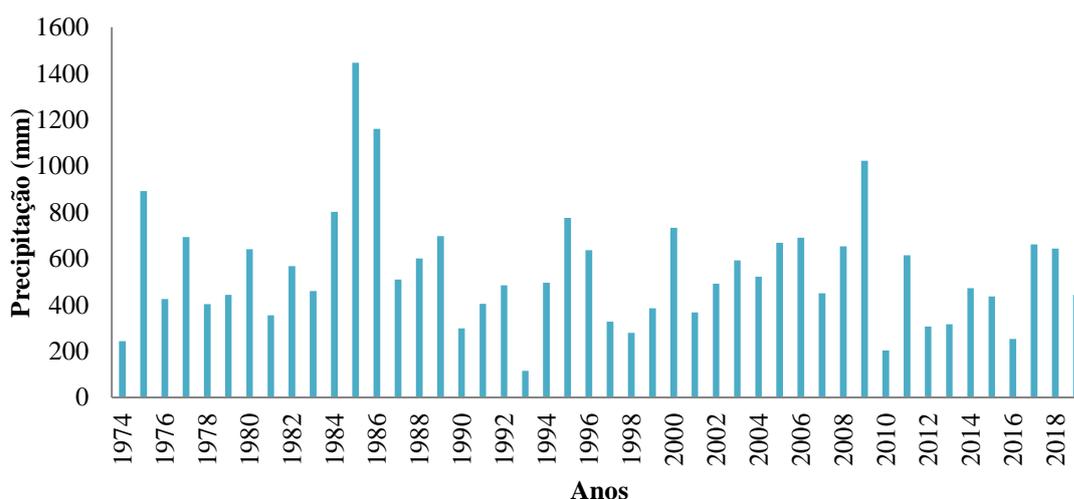
A irrigação suplementar tem comprovada eficiência na estabilização da produtividade das culturas em regime de sequeiro com acentuada variabilidade causada por déficit hídrico quando as condições climáticas são influenciadas por fenômenos naturais durante a quadra chuvosa, Pilau *et al.* (2018) destacam a importância da irrigação suplementar na eficiência climática minimizando a variabilidade na produtividade da soja no Estado do Rio Grande Sul.

A irrigação suplementar ou complementar é uma importante ferramenta para suprir a deficiência hídrica vegetal ocasionada pela irregularidade na distribuição das chuvas, Brunini e Turco (2020), concluíram que a deficiência hídrica impacta negativamente tanto a

produtividade quanto a qualidade das lavouras, tornando a irrigação complementar ou suplementar cada vez mais necessária para melhorar a produção canavieira.

A irrigação suplementar em regiões semiárida com fontes hídricas alternativas incluindo as águas residuárias desponta como ferramenta necessária para suprir o déficit hídrico das culturas durante a quadra chuvosa ocasionada pela grande variabilidade espaço-temporal e quantitativa das precipitações, impactando negativamente a agricultura de sequeiro, resultando em baixa produção e frequentes frustrações de safras, dados pluviométricos do Município de Russas durante o período de 1974-2019 local onde foi instalado o experimento, registram quadras chuvosas com precipitações totais variando entre 200 - 1.400mm (FUNCEME, POSTO 127) destaca-se a grande variabilidade das precipitações durante a quadra chuvosa no semiárido cearense (Figura 1).

Figura1- Precipitação nos meses de Fev-Mai de 1974-2019, Russas-CE.



## 2.5 Águas residuárias

A utilização de águas residuárias tratadas desponta como nova fonte hídrica alternativa para fins agrícolas com potencial para se transformar numa ação ecologicamente adequada de relevante interesse público, o reuso das águas residuárias diminuem a aplicação de fertilizantes químicos no solo, como também evita a poluição dos recursos hídricos ao serem lançados no ambiente aquático resultando em alívio na demanda e elevação na oferta de água para uso mais restritivos (SANTOS *et al.*, 2018).

O reuso de água no Brasil para fins agrícolas tem sido exercido na informalidade e sem maiores cuidados com o meio ambiente e a saúde pública, apenas 27% dos Estados da Federação dispõem de alguma legislação estadual ou municipal (MOURA *et al.*, 2020).

Dentre os vários desafios da boa gestão das águas em regiões secas, destacam-se: redução das perdas, melhoria na eficiência da irrigação e o reúso das águas cita (ARAÚJO, 2012).

O Estado do Ceará evoluiu bem na questão do reuso no âmbito da legalidade, além da Lei Nº 16.033 de 20/06/2016 (D.O 22/06/2016) que Dispõe Sobre a Política Estadual de Reuso de Água não Potável no Âmbito do Estado do Ceará, com destaque para Resolução COEMA Nº 2 de 02/02/2017, publicada no DOE – CE em 21 de fevereiro de 2017, que dispõe sobre padrões e condições de lançamentos e reuso.

Dentre os 184 (Cento e oitenta e quatro) Municípios do Estado do Ceará, 152 (Cento e cinquenta e dois) são atendidos pela Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará - CAGECE e 32 (Trinta e dois) pelo o Serviço Autônomo de Água e Esgoto através das Prefeituras. Dados de junho de 2020 apontam índices de cobertura do sistema de esgotamento sanitário de 42,96% em todo o Estado, com mais de 4.720.803 quilômetros de rede coletora e 2,47 milhões de pessoas atendidas pela rede de esgoto da CAGECE. Somente na Capital, este índice é de 62,78%. A rede coletora de esgoto em Fortaleza tem uma extensão de 2.532.324 km (CAGECE, 2020; ARCE, 2017).

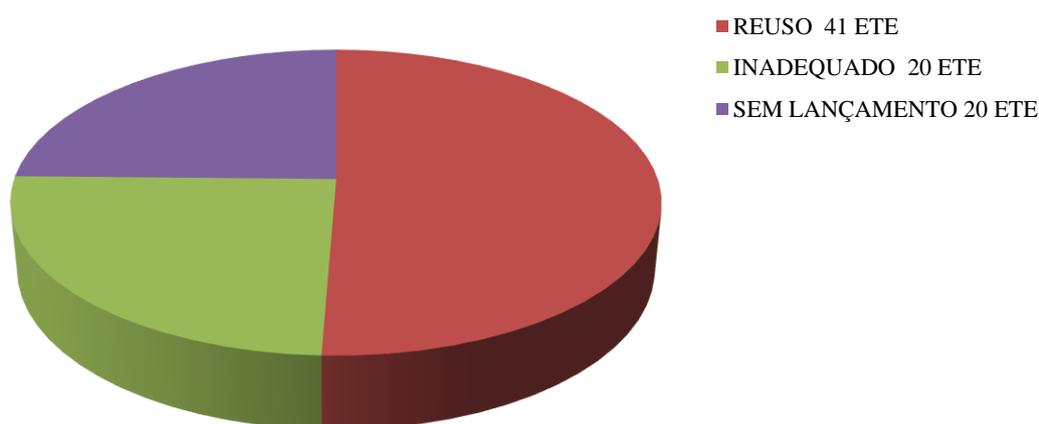
O Ceará cresceu 2,9% em quantidades de ligação de domicílios ligados a rede geral de esgotamento sanitário em 2019 em relação a 2016, superando as demais regiões do Nordeste que foi de 1,56% e do Brasil que foi de 0,95%, mesmo com a evolução, se faz necessário um esforço das instituições na universalização dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário para melhoria na qualidade de vida do povo cearense (IPECE, 2020).

O Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB, aprovado pelo Decreto nº 8.141 e pela Portaria nº 171, de 09 de abril de 2014 de 5 de dezembro de 2013, estipulou a universalização da oferta de água potável e da coleta e tratamento de esgotos até o ano 2033, projetando um cenário promissor na elevação da oferta de águas residuárias tratadas para cadeia produtiva da agricultura irrigada.

Segundo Araújo (2019) existem 81 estações de tratamento de esgoto - ETE através de lagoas de estabilização operadas pela CAGECE, com captação diária de águas residuárias bruta de 86.809,54 m<sup>3</sup>, dentre as 81 ETEs em operação, apenas 41 estações encontram-se em pleno funcionamento com lançamento regular de águas residuárias tratadas nos padrões da

Resolução COEMA N° 2 de 02 de Fevereiro de 2017 adequados ao reuso para fins agrícolas e florestais: aplicação de águas de reuso para a produção agrícola e cultivo de florestas plantadas, totalizando uma vazão de entrada para o processo de tratamento através de lagoas de estabilização de 47.369.500 l/dia. A Figura 2 mostra a distribuição das lagoas de estabilização operadas pela CAGECE.

Figura 2 – Lagoas de estabilização operadas pela CAGECE.



Fonte: (ARAUJO, 2019).

Campos (2002) analisando a influência da evaporação em 40 reservatórios superficiais no estado do Ceará encontraram resultados que apontam perdas por evaporação variando entre 7% - 18% do volume armazenado, seguindo essa metodologia, com um aporte diário correspondente a 47.369.500 milhões de litros/dia de efluente bruto acumulados nas lagoas de estabilização das estações de tratamento de esgotos da Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE), considerando-se uma perda equivalente a 15%, diariamente são lançados em corpos receptores 40.264.075 milhões de litros/dia de águas residuárias tratada apta ao reuso na irrigação.

Dentre os 32 Municípios que operam seus sistemas através do SAAE- Serviço Autônomo de Água e Esgoto foram visitados os Municípios de: Iguatu, Icó, Jaguaribe e Limoeiro do Norte, tais Municípios, não dispõem de informações concretas relativas à vazão do efluente tratado e lançado nos corpos d'água receptores, alguns municípios estimam a vazão de lançamento baseado no número de ligações legais registradas nos SAAE's, a exemplo o Município de Limoeiro do Norte, segundo informações do SAAE na pessoa do seu

superintendente, o senhor Valdo Lemos, a vazão do efluente ali gerado na ETE Cidade Alta e ETE Canafístula, totalizam 60l/s, o que foi comprovado através de testes de vazão ali realizados, utilizando-se a metodologia do balde, que consiste na cronometragem do tempo de enchimento do balde, onde se utilizou um balde com capacidade de 10l, com realização de três medições cronometradas na saída do tubo emissor, os resultados encontrados foram convergentes com os dados arquivados no SAAE, a vazão média encontrada na ETE da Cidade Alta foi equivalente a 15l/s e a vazão da ETE Canafístula foi de 45l/s, perfazendo o total de 60l/s, convergindo com a vazão total informada pelo SAAE.

As estações de tratamento de esgotos dos Municípios de: Icó, Jaguaribe e Limoeiro do Norte, estão localizadas em regiões de solos agricultáveis com alto potencial produtivo para agricultura com irrigação dos efluentes ali gerados, o que já vem sendo feito de forma aleatória e sem quaisquer monitoramentos de riscos ao meio ambiente e a saúde humana, o Município do Iguatu não dispõe de estação de tratamento de esgotos, o esgoto coletado passa apenas por processo de gradeamento para retirada de parte do material sólido, sendo lançado no corpo receptor sem o tratamento adequado, tal efluente disposto inadequadamente no rio Jaguaribe, é captado e reusado na irrigação de forrageiras ao longo das suas margens.

## **2.6 Classificação das formas de reuso das águas residuárias segundo a Organização Mundial da Saúde – OMS, (WHO, 1973)**

### **Reuso indireto**

Ocorre quando a água já utilizada, uma ou mais vezes para uso doméstico e industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída;

### **Reuso direto**

É o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como uso industrial, irrigação, recarga de aquífero e água potável;

### **Reciclagem interna:**

É o reuso da água internamente às instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle de poluição.

## **Classificação das formas de reuso de águas residuárias segundo a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES).**

### **Reuso potável**

**Reuso Potável Direto:** quando o esgoto recuperado, por meio de tratamento avançado, é diretamente reutilizado no sistema de água potável.

**Reuso Potável Indireto:** caso em que o esgoto, após tratamento, é disposto na coleção de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e finalmente utilizado como água potável.

### **Reuso não potável**

Este tipo de reuso apresenta um potencial muito amplo e diversificado. Por não exigir níveis elevados de tratamento, vem se tornando um processo viável economicamente e, conseqüentemente, com rápido desenvolvimento. Em função da diversidade de uso, pode ser classificado em:

**Reuso não potável para fins agrícolas:** embora, quando se pratica essa modalidade de reuso haja como subproduto, recarga do lençol subterrâneo o objetivo dela é a irrigação de plantas alimentícias, tais como árvores frutíferas, cereais, etc., e plantas não alimentícias, tais como pastagens e forrações, além de ser aplicável para dessedentação de animais.

**Reuso não potável para fins industriais:** abrange os usos industriais de refrigeração, águas de processo, para utilização em caldeiras, etc.

**Reuso não potável para fins recreacionais:** classificação reservada à irrigação de plantas ornamentais, campos de esportes, parques e também para enchimento de lagos ornamental, etc.

**Reuso não potável para fins domésticos:** são considerados aqui os casos de reuso de água para a rega de jardins para descargas sanitárias e utilização desse tipo de água em grandes edifícios.

**Reuso para manutenção de vazões:** a manutenção de vazões de cursos de água promove a utilização planejada de efluentes tratados, visando a uma adequada diluição de eventuais cargas poluidoras a eles carreadas, incluindo-se fontes difusas, além de propiciar uma vazão mínima na estiagem.

**Aquicultura:** consiste na produção de peixes e plantas aquáticas visando a obtenção de alimentos e/ou energia, utilizando –se os nutrientes presentes nos efluentes tratados.

**Recarga de aquíferos subterrâneos:** é a recarga dos aquíferos subterrâneos com efluentes tratados, podendo se dar de forma direta, pela injeção sob pressão, ou de forma indireta, utilizando-se águas superficiais que tenham recebido descargas de efluentes tratados a montante.

A presença de substâncias químicas e organismos patogênicos na água destinada ao reuso é a preocupação central de seus potenciais consumidores. A remoção dos contaminantes dependerá da eficiência dos sistemas de tratamento, cuja tecnologia, por sua vez dependerá da qualidade desejada para a água a ser produzida para reuso.

A Organização Mundial da Saúde destaca que os riscos associados às práticas de reuso têm relação com os contaminantes presentes na água recuperada, uma vez que os efluentes possuem produtos químicos tóxicos e microrganismos patogênicos em níveis muito acima dos suportados pelo homem.

### **Classificação das formas de reuso não potável no âmbito do Estado do Ceará**

A resolução Coema Nº 2 de 02/02/2017, publicada no DOE – CE em 21 de fevereiro de 2017, que dispõe sobre padrões e condições de lançamentos e o reuso:

O art. 37 Descreve o reuso direto de água não potável para efeito desta Resolução e abrange as seguintes modalidades:

**I – Reuso para fins urbanos:** utilização de água de reuso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações e combate de incêndio dentro da área urbana;

**II – Reuso para fins agrícolas e florestais:** Aplicação de águas de reuso para a produção agrícola e cultivo de florestas plantadas

**III – Reuso para fins ambientais:** utilização de água de reuso para a implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;

**IV – Reuso para fins industriais:** utilização de reuso em processos, atividades e operações industriais;

**V – Reuso na aquicultura:** utilização de água de reuso para a criação de animais ou para o cultivo de vegetais aquáticos.

### **3 CAPÍTULO I – IMPACTOS DA IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR COM ÁGUAS RESIDUÁRIAS TRATADAS E DA ADUBAÇÃO COM NPK SOBRE AS TROCAS GASOSAS FOLIARES E PRODUÇÃO DE BIOMASSA NO ALGODOEIRO.**

#### **RESUMO**

O uso das águas residuárias tratadas em lagoas de estabilização na irrigação suplementar, desponta como uma estratégia para incrementar a produção agrícola de forma sustentável durante a estação das chuvas, eliminando, pelo menos parcialmente, as perdas associadas aos veranicos, reduzindo os efeitos do déficit hídrico sobre a fisiologia e o crescimento das plantas. Neste trabalho avaliaram-se as trocas gasosas foliares e a produção de fitomassa do algodoeiro. A pesquisa foi desenvolvida durante o período de agosto-dezembro de 2020 em uma área vizinha a ETE – Estação de Tratamento de Esgotos da Cagece – Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará no Município de Russas – CE, sob as coordenadas geográficas: 4° 56' 25" S, 37° 58' 33" W, e altitude 20,51m. O ensaio foi instalado em delineamento em blocos ao acaso, com arranjo dos tratamentos em parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram formadas pelos cenários hídricos (normal, seca e seca severa), definidos com base em série histórica de dados de 30 anos. As subparcelas foram compostas pela suplementação ou não com águas residuárias tratada, sendo as lâminas aplicadas nos veranicos (pelo menos 5 dias sem chuvas). As subsubparcelas foram formadas pela presença ou ausência da adubação com NPK. Foram utilizadas sementes da cultivar BRS 433 B2RF semeadas no espaçamento de 0,7m entre linhas e 0,3m entre covas, com duas plantas por cova. As leituras para as avaliações das trocas gasosas foliares e coleta dos dados da biometria e da produção da biomassa da parte aérea foram realizadas aos (28, 54, 78 dias após o plantio). Os veranicos impactaram significativamente a atividade fotossintética das folhas do algodoeiro nos cenários de seca e seca severa, os resultados encontrados confirmam os impactos positivos da lâmina suplementar com águas residuárias nas trocas gasosas foliares regulando o processo fotossintético comprometido pelo o fechamento estomático das folhas do algodoeiro provocado pelo o estresse hídrico. A adubação nos tratamentos que receberam suplementação com águas residuárias não proporcionou incremento nas respostas fotossintéticas foliares, demonstrando que a suplementação por si só já é benéfica à fisiologia do algodoeiro, os resultados mostram ainda impactos dos cenários hídricos e da suplementação sobre a maioria das variáveis de crescimento das plantas do algodoeiro, incrementando a produção de biomassa e o vigor das

plantas de algodão durante a fase de desenvolvimento, independente da presença ou ausência da adubação com NPK. Esses efeitos foram significativos especialmente nos cenários de seca e seca severa.

**Palavras-chave:** *Gossypium hirsutum* L.; reuso de água; veranicos; irrigação suplementar.

## ABSTRACT

The use of treated wastewater in stabilization ponds in supplementary irrigation emerges as a strategy to increase agricultural production in a sustainable way during the rainy season, eliminating, at least partially, the losses associated with dry spells, reducing the effects of water stress on the physiology and growth of plants. In this work, leaf gas exchange and cotton biomass production were evaluated. The research was developed during the period of August-December 2020 in an area neighboring the ETE - Sewage Treatment Station of CAGECE - Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará in the Municipality of Russas - CE, under the geographical coordinates: 4th 56' 25"S, 37° 58' 33"W, and altitude 20.51m. The trial was installed in a randomized block design, with treatments arranged in sub-divided plots, with four replications. The plots were formed by the water scenarios (normal, drought and severe drought), defined based on a 30-year historical data series. The subplots were composed by supplementation or not with treated wastewater, and the blades were applied in the dry season (at least 5 days without rain). The subsubplots were formed by the presence or absence of fertilization with NPK. Seeds of the cultivar BRS 433 B2RF were used, sown at a spacing of 0.7m between rows and 0.3m between holes, with two plants per hole. The readings for the evaluation of leaf gas exchange and collection of biometric data and shoot biomass production were performed at (28, 54, 78 days after planting). The dry spells significantly impacted the photosynthetic activity of the cotton leaves in the drought and severe drought scenarios, the results found confirm the positive impacts of the supplementary layer with wastewater on leaf gas exchanges regulating the photosynthetic process compromised by the stomatal closure of the cotton leaves caused by water stress. Fertilization in treatments that received supplementation with wastewater did not provide an increase in foliar photosynthetic responses, demonstrating that supplementation alone is already beneficial to cotton physiology, the results also show impacts of water scenarios and supplementation on most of the growth variables of cotton plants, increasing biomass production and vigor of cotton plants during the development phase, regardless of the presence or absence of fertilization with NPK. These effects were especially significant in the drought and severe drought scenarios.

**Keywords:** *Gossypium hirsutum* L.; water reuse; summer; supplemental irrigation.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A frustração de safras por déficit hídrico no semiárido nordestino na estação chuvosa quase sempre caracterizada por prolongados veranicos tem comprometido a produção agrícola das culturas em regime de sequeiro (FAO *et al.*, 2017). Para as condições semiáridas a irrigação é um fator decisivo para o sucesso de empreendimentos com produção vegetal (ROSSI, 2019; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2017; SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E TRABALHO, 2019), sendo requeridos métodos e sistemas de irrigação mais eficientes e cultivos mais responsivos à água e mais rentáveis, algo que já vem sendo praticado com sucesso em muitas áreas. A irrigação suplementar com águas residuárias tratadas no período da quadra chuvosa se apresenta como importante ferramenta para incrementar a produção vegetal com menos água de irrigação e melhor aproveitamento da estação das chuvas (NANGIA *et al.*, 2018).

Outra forma de se aumentar a produção vegetal com menos água de irrigação é desenvolver ações para melhor aproveitamento da estação das chuvas, principalmente em anos com baixos índices pluviométricos, visto que as frequentes secas que ocorrem no semiárido brasileiro fazem com que os rendimentos das culturas sejam reduzidos drasticamente (MELO JUNIOR *et al.*, 2006; MARENGO *et al.*, 2017; ZANINELLI *et al.*, 2019).

A irrigação suplementar, associada às melhorias na qualidade do solo, poderia ser uma estratégia para incrementar a produção agrícola de forma sustentável durante a estação das chuvas, eliminando, pelo menos parcialmente, as perdas associadas aos veranicos, especialmente, mas não exclusivamente, nos anos de seca (NANGIA *et al.*, 2018; EPRS, 2019). Trata-se de uma ferramenta decisiva para lidar com as limitações na disponibilidade de recursos hídricos, tanto nos países de clima úmido como nos de clima semiárido, considerando-se os riscos atuais e futuros associados às mudanças climáticas globais (ROSSI, 2019).

A variabilidade das precipitações na estação chuvosa resulta em oscilações de umidade do solo provocando déficit hídrico nas culturas de sequeiro, em períodos críticos pode resultar em baixas produtividades e até mesmo na frustração de safras, a lâmina suplementar gera impactos positivos na fisiologia das plantas, Pegorare *et al.* (2009) concluíram que o acúmulo de massa seca dos componentes de produção da cultura do milho safrinha foi linear a lâmina de irrigação aplicada, resultando em maior produtividade.

### **3.2 HIPOTESES**

A irrigação suplementar com águas residuárias tratadas minimiza a frustração de safras na agricultura de sequeiro ocasionada por frequentes veranicos durante a quadra chuvosa, aumentando a produtividade, diminuindo os custos de produção das culturas com a redução no uso da adubação química a base de NPK.

### **3.3 OBJETIVO GERAL**

Avaliar os impactos da irrigação suplementar com águas residuárias tratadas em estações de tratamento de esgoto na fisiologia, qualidade e produtividade do algodão herbáceo variedade BRS 433 B2RF, nos regimes hídricos simulados (Normal, Seca e Seca Severa).

### **3.4 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Avaliar o potencial fertilizante das águas residuárias tratadas em lagoas de estabilização utilizadas na irrigação suplementar do algodoeiro em substituição a adubação química a base de NPK.

Avaliar os efeitos da irrigação suplementar com águas residuárias tratadas sobre as trocas gasosas foliares, na biometria e na produção de biomassa do algodoeiro.

Avaliar os efeitos da irrigação suplementar com águas residuárias tratadas na qualidade da fibra e produtividade do algodoeiro.

Mitigar os impactos sobre os recursos hídricos causados pelo lançamento inadequado de águas residuárias tratadas em Estação de Tratamento de Esgoto-ETE nos corpos d'água receptores, resultando em maior oferta de água para o consumo humano e dessedentação animal.

### **3.5 MATERIAL E MÉTODOS**

A pesquisa foi desenvolvida no município de Russas – CE, sob as coordenadas geográficas: latitude (s) 4° 56' 25", longitude (WGr) 37° 58' 33", altitude (m): 20,51m, em uma área vizinha à lagoa de estabilização da Cagece – Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará.

O ensaio foi instalado em delineamento em blocos ao acaso, com arranjo dos tratamentos em parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram formadas pelos cenários hídricos (normal, seca e seca severa), simulando-se as condições de umidade do solo baseada em uma série histórica de dados de precipitação dos últimos 30 anos durante os meses de fevereiro a maio para a região do Baixo Jaguaribe-CE, as subparcelas foram formadas pela suplementação ou não com águas residuárias tratadas, sendo as lâminas aplicadas nos veranicos (pelo menos 5 dias sem chuvas) definidas de acordo com Allen *et al.* (1998), utilizando-se dados da série histórica de evapotranspiração de referência para a região e os coeficientes da cultura do algodoeiro, as subsubparcelas foram formadas pela aplicação ou não da adubação NPK. É possível observar (tabela1), as lâminas totais aplicadas durante o ciclo da cultura do algodão herbáceo variedade BRS 433 B2RF nos diferentes regimes hídricos simulados.

Tabela 1 – Lâminas totais aplicadas durante o ciclo do algodoeiro (BRS 433 B2RF).

REGIME HÍDRICO	NORMAL	SECA	SECA SEVERA
Lâmina Sem/Suplementação (mm)	466,20	326,20	206,20
Lâmina Com/Suplementação (mm)	528,60	475,10	429,70
Lâmina Suplementar (mm)	62,40	148,90	223,50
Dias de irrigação	4	11	16

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Na sequência apresentamos os calendários de aplicação mensal das lâminas de água e os veranicos para os cenários hídrico normal, seca e seca severa, aplicadas durante os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro, correspondentes aos meses da quadra invernos simulada para os meses de fevereiro março abril e maio.

Calendário diário: aplicação das lâminas e veranicos para os meses de set-dez nos regimes hídricos simulados: normal (Figura 3), seca (Figura 4) e seca severa (Figura 5).

Figura 3 - Regime hídrico normal

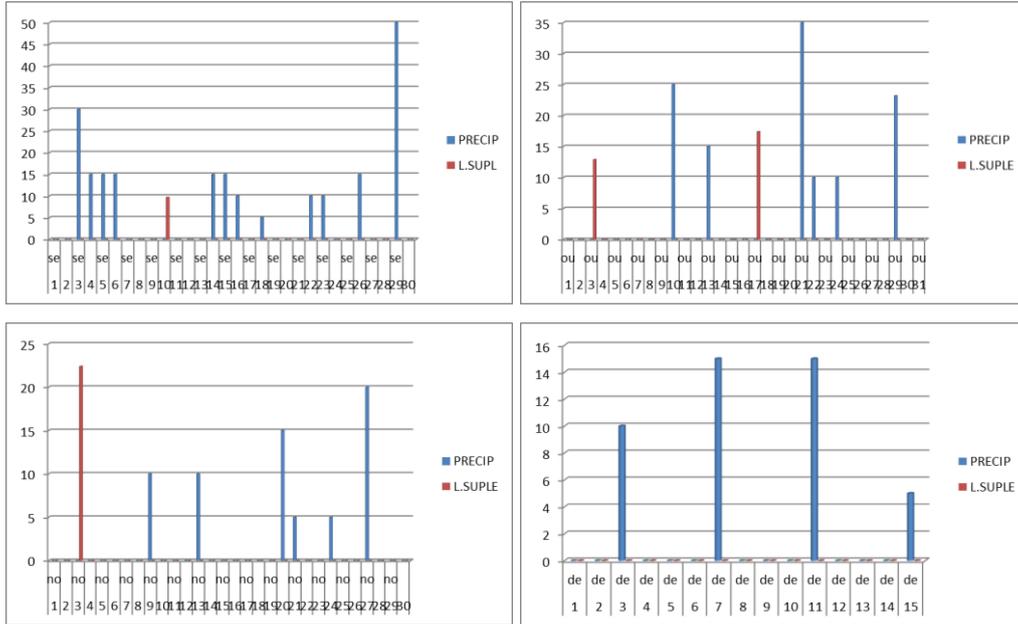


Figura 4 - Regime hidrico Seca

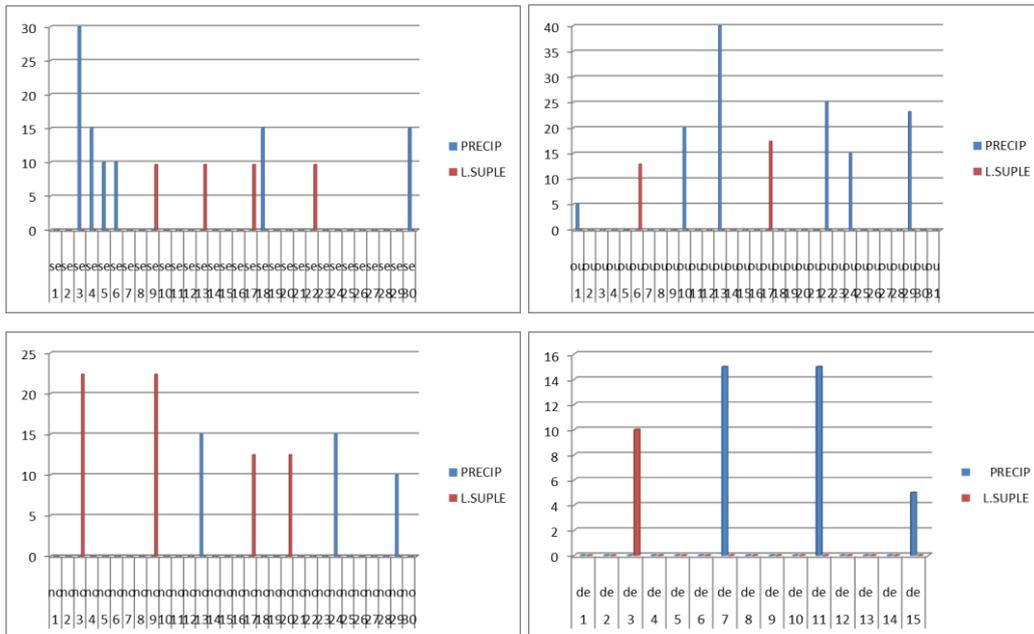
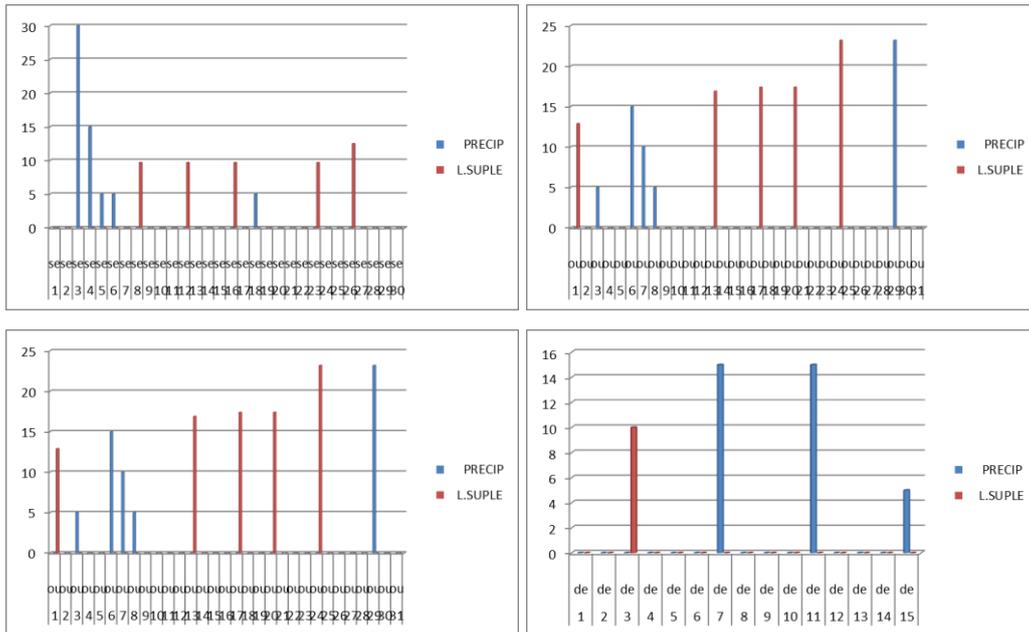


Figura 5 - Regime hidrico Seca Severa



Foi utilizado o sistema da irrigação localizada tipo gotejamento, as lamina de água foram distribuídas por meio de um conjunto de irrigação formado por: conjunto moto bomba elétrica do tipo centrífuga com potência de 0,5 CV, corrente monofásica (Figura 6); equipado com sucção dupla (Figura 7) com registro para controle da captação alternada de água limpa reservada em caixa d'água de 2000l e água residuária captada em poço de anéis pré-moldado; Ligação de pressão com registro de gaveta e filtro de disco; linha principal em tubulação e registros de pvc e linhas ramais com fita gotejadora em PEBD com vazão de 1,6l/h no espaçamento de 0,3m entre emissores (Figura 8).

Figura 6- Conjunto Motobomba.



Figura 7 - Sucção dupla.



Figura 8 - Linhas de distribuição.



Foram utilizadas sementes da cultivar BRS 433 B2RF, cedidas pela Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Trabalho do Ceará (SEDET), semeadas no espaçamento de 0,7m entre linhas e 0,3m entre plantas com duas plantas por cova em quatro linhas de plantio com 18m de extensão, formando as parcelas, as subparcelas definidas pela aplicação ou não de lamina suplementar com águas residuárias em linhas com extensão de 9m, as subsubparcelas foram definidas pela realização ou não da adubação NPK, com quatro linhas de plantio de 4,5 m de extensão cada uma. As doses de nitrogênio,  $P_2O_5$  e  $K_2O$  foram definidas de acordo com as análises de solos e as recomendações para o algodoeiro, sendo respectivamente: 60, 60 e 50  $kg\ ha^{-1}$ .

Aos 25, 54 e 78 dias após a semeadura, foram realizadas medições nas folhas do algodoeiro das taxas de fotossíntese líquida - A ( $\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$ ), condutância estomática - gs ( $mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ ), transpiração - E ( $mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$ ), concentração interna de  $CO_2$  -  $C_i$  ( $\mu mol\ mol^{-1}$ ) com um analisador portátil de gases no infravermelho IRGA (modelo LCI, ADC,

BioScientific UK), em folhas completamente expandidas submetidas à irradiância saturante de  $1.800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e condições ambientais de  $\text{CO}_2$  e temperatura (Figura 9).

Figura 9- Leitura das trocas gasosas.



As medições da altura da planta, comprimento e largura das folhas, foram executadas com o auxílio de réguas, para o diâmetro do caule utilizou-se paquímetro eletrônico, tendo sido utilizadas duas plantas por tratamento (Figuras 10).

Figura 10- Coleta de dados biométricos.



A área foliar foi estimada pelo o método das dimensões utilizado por Monteiro *et al.*, (2005), baseando-se nas dimensões comprimento (C) e largura (L) das folhas. O comprimento corresponde a distância entre o ponto de inserção do pecíolo no limbo foliar e a extremidade oposta da folha e a largura sendo a maior dimensão perpendicular ao eixo do comprimento, conforme equação 1.

$$A_f = f \times C \times L \quad (1).$$

Em que:

Af = Área foliar.

f = fator de forma.

C = Comprimento da folha.

L = Largura da folha.

A matéria seca da parte aérea (MSPA) foi estimada a partir da fitomassa da parte aérea de duas plantas por cada tratamento coletadas em campo aos 25, 54 e 78 dias após a semeadura, pesadas (peso fresco) e acondicionadas em sacos de papel e levadas a estufa de ventilação para secagem a temperatura de 60°C por 48 horas e pesadas posteriormente (peso seco), sendo que a diferença entre o peso fresco e o peso seco da amostra corresponde a MSPA. Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey (a 5%), utilizando-se o Software Sisvar.

### **3.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.6.1 Trocas gasosas foliares**

Na tabela 2 se visualiza o resumo da análise de variância para as trocas gasosas foliares do algodoeiro em função dos cenários hídricos, da suplementação ou não com águas residuárias tratadas e da presença ou ausência da adubação com NPK, para as variáveis: Transpiração (E); Fotossíntese (A); Concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci).

As taxas de fotossíntese líquida das plantas sofreram efeitos significativos da interação entre os cenários hídricos e a irrigação suplementar com águas residuárias tratadas (Tabela 2). Não foi verificado efeito significativo da fertilização com NPK isoladamente, nem da interação deste com os demais fatores para todas as variáveis analisadas neste trabalho.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para as trocas gasosas foliares do algodoeiro 25 DAP em função dos cenários hídricos, da suplementação ou não com águas residuárias tratadas, da presença ou ausência da adubação com NPK para as variáveis: Transpiração (E); Concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci); Fotossíntese (A).

Fontes de Variação	G. L.	E	A	Ci
Blocos	3	32,95 <sup>**</sup>	26,56 <sup>ns</sup>	1886,81 <sup>ns</sup>
Cenário (C)	2	3,96 <sup>ns</sup>	8,83 <sup>ns</sup>	1865,44 <sup>ns</sup>
Resíduo (C)	6	1,44	15,07	796,08
Suplementação (S)	1	9,72 <sup>ns</sup>	58,78 <sup>ns</sup>	3400,33 <sup>ns</sup>
C x S	2	3,17 <sup>ns</sup>	150,60 <sup>**</sup>	49,39 <sup>ns</sup>
Resíduo (S)	9	2,17	17,15	314,93
NPK (F)	1	0,003 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	60,75 <sup>ns</sup>
F x C	2	0,54 <sup>ns</sup>	8,41 <sup>ns</sup>	69,81 <sup>ns</sup>
F x S	1	0,002 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	108,00 <sup>ns</sup>
F x S x C	2	1,24 <sup>ns</sup>	12,46 <sup>ns</sup>	657,44 <sup>ns</sup>
Resíduo (F)	18	0,39	13,69	336,49
Total	47			
CV – C (%)		13,41	13,26	12,08
CV – S (%)		16,45	14,15	7,60
CV – F (%)		7,04	12,64	7,85

ns, \*\* e \*: não significativo e significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, C.V. – coeficiente de variação. Gl – grau de liberdade.

No cenário de Seca notou-se redução significativa na taxa de fotossíntese líquida, efeito que foi atenuado naquelas plantas que receberam suplementação com águas residuárias sob estresse hídrico, sendo que a fotossíntese é afetada principalmente em função do fechamento estomático (Tabela 3).

Tabela 3 – Teste de médias da interação regimes hídricos x suplementação ou não com águas residuárias 25 DAP para as variáveis: taxa de fotossíntese (A); taxa de transpiração (E); concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci).

Tratamentos	Normal	Seca	Seca Severa
Taxa de fotossíntese ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )			
Com Suplementação	26,75bA	32,64aA	31,75abA
Sem Suplementação	31,12aA	24,87bB	28,50abA
Taxa de Transpiração ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )			
Com Suplementação	9,03aA	9,24aA	9,94aA
Sem Suplementação	9,10aA	7,57aA	8,82aA
Concentração Interna de CO <sub>2</sub> ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ )			
Com Suplementação	252,0aA	230,75aA	243,37aA
Sem Suplementação	237,50aA	215,63aA	222,50aA

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas na linha e maiúsculas nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Com a intensificação desse estresse e as reduções no influxo de CO<sub>2</sub> atmosférico, a atividade fotorrespiratória em plantas de metabolismo C3 como o algodoeiro é intensificada, o que resulta em menor produção de fitomassa (CHAVES *et al.*, 2009; FOYER *et al.*, 2009; VERAS *et al.*, 2020).

Quando há baixa umidade no solo, a transpiração das plantas sofre reduções, plantas sob déficit hídrico estão expostas a temperatura superior àquelas cultivadas sob plena disponibilidade hídrica impactando negativamente o processo fotossintético (TESTI *et al.*, 2008; TRENTIN *et al.*, 2011; SILVA JUNIOR, 2018).

Foi observada interação significativa para todas as variáveis analisadas aos 54 DAP, para os tratamentos Regimes hídricos x Suplementação e Adubação x Suplementação. Já a interação entre Regimes hídricos e Adubação foi significativa somente para a fotossíntese (Tabela 4).

Tabela 4 - Resumo da análise de variância para as trocas gasosas foliares do algodoeiro 54 DAP, em função dos cenários hídricos, da suplementação ou não com águas residuárias tratadas e da presença ou ausência da adubação com NPK para as variáveis: Condutância estomática (gs); Fotossíntese (A); Transpiração (E).

Fontes de variação	GL	gs	A	E
Regimes hídricos (A)	2	0,25**	283,5**	6,98 <sup>ns</sup>
Suplementação (B)	1	0,43**	379,51**	26,47**
Adubação (C)	1	0,0007 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>ns</sup>	1,6 <sup>ns</sup>
Blocos	3	0,008 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>	6,37*
A x B	2	0,081**	124,75**	4,73**
A x C	2	0,007 <sup>ns</sup>	6,53**	0,43 <sup>ns</sup>
B x C	1	0,058*	15,53**	6,51*
A x B x C	2	0,012 <sup>ns</sup>	14,22 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>
C.V (A)		42.46	18.82	24.39
C.V (B)		43.34	14.55	16.03
C.V (C)		38.52	11.74	14.2

ns, \*\* e \*: não significativo e significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, C.V. – coeficiente de variação. Gl – grau de liberdade.

A suplementação com águas residuárias elevou significativamente os valores de todas as variáveis analisadas no regime hídrico seca severa (Tabela 5).

Tabela 5 - Teste de médias da interação regimes hídricos x suplementação ou não com águas residuárias 54 DAP para as variáveis: condutância estomática (gs); taxa de fotossíntese (A); taxa de transpiração (E).

Tratamentos	Normal	Seca	Seca Severa
Condutância estomática ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )			
Com Suplementação	0,61 Aa	0,57Aa	0,50 Aa
Sem Suplementação	0,53 Aa	0,43Aa	0,15 Bb
Taxa de fotossíntese ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )			
Com Suplementação	24,71Aa	23,08 Aa	21,61Aa
Sem Suplementação	22,49Aa	20,49 Aa	9,54Bb
Taxa de Transpiração ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )			
Com Suplementação	7,44 Aa	7,81 Aa	7,43Aa
Sem Suplementação	6,72 Aa	6,81 Aa	4,71Bb

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas na linha e maiúsculas nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os efeitos negativos do estresse hídrico no regime hídrico de seca severa sem suplementação foram relacionados à redução na abertura estomática que limita a transpiração, reduz a absorção de  $\text{CO}_2$  para o processo de assimilação fotossintética (TAIZ *et al.*, 2017). Estes resultados também foram obtidos por Oliveira *et al.* (2020), onde os autores também trabalharam com irrigação suplementar com água residuária para a cultura do algodão.

Foi possível observar que a suplementação elevou os valores da condutância estomática e da fotossíntese (Tabela 6). Quando comparamos os tratamentos com e sem adubação, verifica-se que as parcelas que não receberam adubação e não receberam a suplementação possuíram os menores resultados. Já nos tratamentos que receberam a suplementação, observa-se que a adubação não interferiu significativamente, demonstrando que somente a suplementação poderá trazer bons resultados.

Tabela 6 - Teste de médias da interação da presença ou ausência da adubação com NPK x suplementação ou não com águas residuárias 54 DAP para as variáveis: condutância estomática (gs); taxa de fotossíntese(A); taxa de transpiração(E).

Tratamentos	Com adubação	Sem adubação
Condutância estomática ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )		
Com Suplementação	0,53 Aa	0,59 Aa
Sem Suplementação	0,41 Ba	0,33 Bb
Taxa de fotossíntese ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )		
Com Suplementação	22,68 Aa	23,57 Aa
Sem Suplementação	18,21 Ba	16,81 Bb
Taxa de Transpiração ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )		
Com Suplementação	7,37 Aa	7,74 Aa
Sem Suplementação	6,62 Aa	5,52 Bb

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas na linha e maiúsculas nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

PEGORARE *et al.* (2009), encontraram resultados que comprovam papel preponderante da lâmina de irrigação na captação de  $\text{CO}_2$  e no resfriamento do vegetal, interferindo na taxa de fotossíntese e da respiração.

Foi possível observar que a adubação não influenciou significativamente em nenhum regime hídrico, a taxa de fotossíntese foi afetada negativamente pelo o regime hídrico de seca severa, indicando que o estresse hídrico reduziu os valores da fotossíntese (Tabela 7) Os resultados mais expressivos foram relacionados a falta de suplementação com águas residuárias no tratamento de seca severa.

Tabela 7- Teste de médias da interação Regimes hídricos x presença ou ausência da adubação com NPK 54 DAP para a variável fotossíntese (A).

Tratamentos	Normal	Seca	Seca Severa
Taxa de fotossíntese ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )			
Com adubação	24,04 Aa	22,33 Aa	14,96 Ab
Sem adubação	23,15 Aa	21,24 Aa	16,18 Ab

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas na linha e maiúsculas nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O déficit hídrico promove o fechamento estomático e a redução da fixação de CO<sub>2</sub>, o que pode causar redução excessiva da atividade da cadeia de elétrons fotossintéticos. O estresse hídrico afeta o crescimento e o desenvolvimento das plantas, pois limita o acesso aos recursos necessários para a fotossíntese devido ao fechamento estomático e à redução do transporte interno de água (TAIZ *et al.*, 2017). Os resultados desta pesquisa corroboram com Cavalcante *et al.* (2021), onde os autores utilizaram a irrigação de forma suplementar e verificaram que nos tratamentos de seca e seca severa, as trocas gasosas foram influenciadas positivamente.

Foi observada interação significativa em todas as variáveis analisadas para os tratamentos Regimes hídricos x Suplementação com águas residuárias (Tabela 8), confirmando a eficiência da lâmina de irrigação suplementar durante todo ciclo do algodoeiro, se confirmando como prática adequada e eficiente na mitigação do estresse hídrico sobre as culturas exploradas em regimes de sequeiro, minimizando a frustração de safras nas regiões semiáridas.

Tabela 8 - Resumo da análise de variância para as trocas gasosas foliares do algodoeiro 78 DAP em função dos cenários hídricos, da suplementação ou não com águas residuárias tratada e da presença ou ausência da adubação com NPK para as variáveis: condutância estomática (gs); fotossíntese (A); transpiração (E) .

Fontes de variação	GL	gs	A	E
Regimes hídricos (A)	2	0,13**	126,59*	8,08*
Suplementação (B)	1	0,56**	467,12**	12,67**
Adubação (C)	1	0,004 <sup>ns</sup>	0,027 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>
Blocos	3	0,03 <sup>ns</sup>	10,61 <sup>ns</sup>	1,94 <sup>ns</sup>
A x B	2	0,045*	76,11**	3,43**
A x C	2	0,002 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,051 <sup>ns</sup>
B x C	1	0,009 <sup>ns</sup>	12,89 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>
A x B x C	2	0,005 <sup>ns</sup>	5,47 <sup>ns</sup>	0,055 <sup>ns</sup>
C.V (A)		24.07	22.38	15.36
C.V (B)		19.64	13.02	15.19
C.V (C)		21.06	8.73	10.04

ns, \*\* e \*: não significativo e significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, C.V. – coeficiente de variação. Gl – grau de liberdade.

Estes resultados também foram obtidos por Oliveira *et al.* (2020), onde os autores também trabalharam com irrigação suplementar com águas residuárias para a cultura do algodão.

A suplementação elevou significativamente os valores da condutância estomática, em todos os cenários, nos cenários de Seca e Seca Severa (Tabela 9), a suplementação elevou significativamente os valores de transpiração e fotossíntese, esses resultados confirmam os impactos positivos da lâmina suplementar com águas residuárias nas trocas gasosas foliares regulando o processo fotossintético comprometido pelo o fechamento estomático das folhas do algodoeiro provocado pelo o estresse hídrico.

Tabela 9 - Teste de médias da interação regimes hídricos x suplementação com águas residuárias para as variáveis de condutância estomática (gs), fotossíntese (A) e transpiração (E) 78 DAP.

Tratamentos	Condutância estomática ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )		
	Normal	Seca	Seca Severa
Com suplementação	0,57 aA	0,51 aA	0,51 aA
Sem suplementação	0,48 aB	0,26 bB	0,21 bB
Tratamentos	Taxa de fotossíntese ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )		
	Normal	Seca	Seca Severa
Com suplementação	23,72 aA	23,63 aA	22,25 aA
Sem suplementação	22,43 aA	15,72 bB	12,73 bB
Tratamentos	Taxa de Transpiração ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )		
	Normal	Seca	Seca Severa
Com suplementação	6,84 aA	6,79 aA	6,29 aA
Sem suplementação	6,87 aA	5,41 abB	4,58 bB

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas na linha e maiúsculas nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Esses resultados se assemelham aos encontrados por Araujo (2018), concluindo que o déficit hídrico reduz as trocas gasosas do algodoeiro herbáceo, impactando a condutância estomática, transpiração e fotossíntese. Pereira *et al.* (2017), asseveram que o déficit hídrico tem efeito em diversos processos fisiológicos das plantas, o fechamento estomático limita a transpiração reduzindo o suprimento de  $\text{CO}_2$  para fotossíntese suprimindo a capacidade de produção. Neste sentido, os resultados da análise de variância das variáveis (Fotossíntese

líquida e taxa de transpiração) sobre as trocas gasosas foliares do algodoeiro apontam a eficiência da lâmina de irrigação suplementar com águas residuárias no suprimento hídrico das plantas do algodoeiro principalmente, nos cenários hídricos de seca e seca severa, atenuando os efeitos negativos provocados pelo déficit hídrico, mitigando os impactos negativos sobre o processo fotossintético (OLIVEIRA *et al.*, 2005; FLAVIANA *et al.*, 2015; GOMES *et al.*, 2015).

As diferenças significativas da taxa de fotossíntese líquida para os cenários de seca e seca severa, geraram maiores impactos nas plantas do algodoeiro aos 54 e 78 dias após o plantio, verificando-se diferenças significativas para transpiração no cenário de seca severa, se assemelhando com os resultados encontrados por Pereira *et al.* (2017), reforçando o que foi relatado anteriormente sobre os efeitos do déficit hídrico no fechamento estomático, limitando a transpiração reduzindo o fluxo de CO<sub>2</sub> impactando negativamente todo o processo fotossintético. As leituras das trocas gasosas realizadas nas folhas do algodoeiro no regime hídrico de seca nas plantas que não receberam lâmina suplementar aos 25 DAP estavam sob veranico de sete (07) dias, aos 54 DAP apenas três (03) dias, aos 78 DAP oito (08) dias. As leituras de trocas gasosas realizadas nas folhas do algodoeiro no cenário de seca severa que não receberam lâmina suplementar aos 25 DAP estavam sob veranico de sete (07) dias, aos 54 DAP sob veranico de dezenove (19) dias, aos 78 DAP sob veranico de treze (13) dias, esses dados reforçam o que foi evidenciado no decorrer do experimento, a sensibilidade do algodoeiro ao estresse hídrico na fase da emissão do botão floral, floração até a formação das maçãs, notadamente nos regimes hídricos de seca e seca severa, expressando a eficiência da lâmina de irrigação suplementar, evidenciando os impactos positivos ocasionados pela regularidade hídrica na fase da emissão do botão floral, floração até a formação das maçãs (SILVA *et al.*, 2011; ALMEIDA *et al.*, 2017; ZONTA *et al.*, 2017; CORDÃO *et al.*, 2018; MANIÇOBA *et al.*, 2021).

### **3.6.2 Biometria e produção de biomassa**

Os cenários hídricos e a suplementação foram significativas para a maioria das variáveis de crescimento das plantas de algodoeiro (Tabela 10). Também foram verificadas interações significativas entre cenário hídrico e suplementação para as variáveis: altura da planta (AP), matéria seca da parte aérea (MSPA) e entre cenário hídrico e fertilização para as variáveis: área foliar (AF), altura da planta (AP), matéria seca da parte aérea (MSPA)

Tabela 10 - Resumo da análise de variância para as variáveis: área foliar (AF), altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), matéria seca da parte aérea (MSPA) do algodoeiro 25 DAP.

Fontes de variação	GL	AF	AP	DC	MSPA
Blocos	3	2000,08 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	2,11 <sup>ns</sup>
Regimes hídricos (A)	2	77223,47*	29,31 <sup>ns</sup>	4,41**	17,15**
Suplementação (B)	1	169661,68 <sup>ns</sup>	290,08**	13,32**	88,45*
Adubação (C)	1	26852,99*	0,08 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>
A x B	2	54700,7 <sup>ns</sup>	77,02*	3,34 <sup>ns</sup>	15,03*
A x C	2	31659,85*	28,15**	0,3 <sup>ns</sup>	3,87*
B x C	1	6827,27 <sup>ns</sup>	10,08 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	4,97*
A x B x C	2	5777,44 <sup>ns</sup>	2,77 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,89 <sup>ns</sup>
C.V (A)		31.7	13.1	7.6	22.3
C.V (B)		39.6	19.8	20.9	32.1
C.V (C)		20.9	7.6	13.1	17.5

ns, \*\* e \*: não significativo e significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, C.V. – coeficiente de variação. Gl – grau de liberdade.

Na Tabela 11, observa-se os valores médios da matéria seca da parte aérea (MSPA), altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) do algodoeiro, em função dos cenários hídricos simulados, da suplementação ou não com águas residuárias tratada e da presença ou ausência da adubação com NPK.

Tabela 11- Valores médios da matéria seca da parte aérea (MSPA); altura da planta (AP); diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF) do algodoeiro, em função do cenário hídrico simulado, da suplementação ou não com águas residuárias tratadas, na presença ou ausência da adubação com NPK 25 DAP

Tratamentos	Normal		Seca		Seca Severa	
	Com NPK	Sem NPK	Com NPK	Sem NPK	Com NPK	Sem NPK
Matéria Seca da Parte Aérea (g)						
Com Suplementação	6,56aA	7,18aA	6,77aA	6,58aA	7,64aA	5,96aA
Sem Suplementação	5,35aA	7,36aA	3,17bAB	3,28bB	2,37bB	2,87bB
Altura da Planta (cm)						
Com Suplementação	21,50aA	22,75aA	24,50aA	22,25aA	24,75aA	22,75aA
Sem Suplementação	20,00aA	24,50aA	17,50bA	15,25bB	15,75bA	16,00bB
Diâmetro do caule (mm)						
Com Suplementação	4,75aA	5,00aA	4,82aA	4,50aA	5,00aA	4,75aA
Sem Suplementação	4,75aB	5,00aA	3,25bA	3,00bB	3,25bA	3,25bB

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas na linha e maiúsculas nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A irrigação suplementar do algodoeiro gerou impactos significativos para os cenários hídricos de seca e seca severa, os quais foram observados aos 25 dias da semeadura (Tabela 11)

Essas diferenças foram expressivas para a matéria seca da parte aérea, altura da planta e para o diâmetro do caule. Isso está em consonância com documentos publicados em diferentes regiões do mundo, as quais demonstram que a irrigação suplementar é uma estratégia climática inteligente para superar as perdas associados aos veranicos, especialmente nos anos de seca (NANGIA *et al.*, 2018; ROSSI, 2019). Nesse sentido, as águas residuárias devem ser consideradas uma fonte potencial para o cultivo do algodão, o qual é realizado exclusivamente em sistema de sequeiro no semiárido cearense.

Impactos significativos dos cenários hídricos sobre a maioria das variáveis de crescimento das plantas do algodoeiro, na suplementação os resultados foram significativos para as variáveis: área foliar (AF) e diâmetro do caule (DC) (Tabela 12).

Tabela 12 - Resumo da análise de variância para as variáveis: número de folhas (NF), área foliar (AF), altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), matéria seca da parte aérea (MSPA) do algodoeiro 54 DAP.

Fontes de variação	GL	AF	AP	DC	MSPA
Blocos	3	39,32 <sup>ns</sup>	112,01 <sup>ns</sup>	9,73 <sup>ns</sup>	80,12*
Regimes hídricos (A)	2	2125141,3**	215,75*	7,72 <sup>ns</sup>	187,55**
Suplementação (B)	1	2031971,1**	690,84 <sup>ns</sup>	21,01*	329,01 <sup>ns</sup>
Adubação ©	1	6131776,7**	15,41 <sup>ns</sup>	1,51 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>
A x B	2	10894975,1 <sup>ns</sup>	305,6 <sup>ns</sup>	9,33 <sup>ns</sup>	352,02*
A x C	2	2019951,2**	22,2 <sup>ns</sup>	3,51 <sup>ns</sup>	59,49 <sup>ns</sup>
B x C	1	1293427,3**	32,17 <sup>ns</sup>	7,33*	4,23 <sup>ns</sup>
A x B x C	2	2954402,7 <sup>ns</sup>	23,08 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	31,45 <sup>ns</sup>
C.V (A)		15.5	15.9	22.1	22.4
C.V (B)		8.4	25.9	25.4	32.5
C.V ©		10.2	10.1	17.1	36.1

ns, \*\* e \*: não significativo e significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, C.V. – coeficiente de variação. GL – grau de liberdade.

Alves *et al.* (2009), encontraram resultados semelhantes para variável área foliar (AF), onde os autores estudaram o efeito de lâminas de águas residuárias na presença e ausência de doses de Nitrogênio e Fósforo sobre a área foliar (AF) da planta de algodão de fibra marrom, cultivar BRS 200. Costa *et al.* (2014) encontraram resultados semelhantes para variável diâmetro do caule (DC), em estudo realizado na avaliação do efeito da aplicação do esgoto doméstico primário na produção de milho.

Os regimes hídricos de seca e seca severa para matéria seca da parte aérea (MSPA) foram significativos demonstrando a eficiência da lâmina suplementar com águas residuárias (Tabela 13).

Tabela 13 - Teste de médias da interação regime hídrico simulado x suplementação ou não com água residuária tratada para a variável massa seca da parte aérea (MSPA) 54 DAP.

Tratamentos	Massa seca da parte aérea (g)		
	Normal	Seca	Seca Severa
Com suplementação	21,56 aA	17,63 aA	17,01 aA
Sem suplementação	22,42 aA	10,3 bB	7,76 bB

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas na linha e maiúsculas nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Resultados semelhantes foram encontrados por Rebouças *et al.* (2010) avaliando o crescimento do feijão-caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado, evidenciando os efeitos nutricionais sobre as plantas irrigadas com águas residuárias tratadas.

Foram observadas diferenças significativas para todos os regimes hídricos, para as variáveis número de folhas (NF), área foliar (AF), com redução acentuada no regime hídrico simulado de seca severa, apontando os efeitos deletérios do déficit hídrico na produção vegetal, equacionados pela suplementação com águas residuárias tanto pelo aporte hídrico quanto nutricional (Tabela 14)

Tabela 14 - Teste de médias da interação regime hídrico simulado x presença ou ausência da adubação com NPK para a área foliar (AF) 54 DAP.

Tratamentos	Área foliar (cm <sup>2</sup> )		
	Normal	Seca	Seca Severa
Com adubação	2136,84 aA	1493,41 bA	837,36 cA
Sem adubação	1131,93 aB	603,97 bB	587,21 bB

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas na linha e maiúsculas nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Silva *et al.* (2012) estudando a influência das águas residuárias de origem doméstica no crescimento inicial do melão “amarelo ouro”, concluíram que quanto maior a concentração de águas residuárias, maiores os efeitos positivos para o crescimento inicial de mudas de meloeiro “amarelo ouro”.

São apresentados na Tabela 15 os dados do teste de médias da interação suplementação ou não com águas residuárias x presença ou ausência da adubação com NPK para as variáveis: área foliar (AF); diâmetro do caule (DC), demonstrando que a lâmina suplementar interferiu positivamente elevando significativamente os valores, quando

comparados aos sem suplementação, apontando a eficiência da lâmina suplementar no suprimento nutricional das plantas.

Tabela 15 - Teste de médias da interação suplementação ou não com águas residuárias tratada x presença ou ausência da adubação com NPK para a área foliar (AF) e o diâmetro do caule (DC) 54 DAP.

Tratamentos	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	
	Com suplementação	Sem suplementação
Com adubação	1859,11 aA	1119,3 bA
Sem adubação	815,97 aB	732,78 bB
Tratamentos	Diâmetro do caule (mm)	
	Com suplementação	Sem suplementação
Com adubação	7,82 aA	7,28 aA
Sem adubação	8,24 aA	6,14 bB

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas na linha e maiúsculas nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Esses resultados se assemelham aos obtidos por Fideles Filho *et al.* (2005), onde os autores compararam os efeitos da água residuária e de poço no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro.

Os resultados da análise de variância (tabela 16), mostram impactos significativos para todos regimes hídricos e da Suplementação com águas residuárias para todas variáveis de crescimento das plantas do algodoeiro 78 DAP.

Tabela 16 – Resumo da análise de variância para a área foliar (AF), altura da planta (AP) e matéria seca da parte aérea (MSPA) do algodoeiro 78 DAP.

Fontes de variação	GL	AF	AP	MSPA
Blocos	3	3292,27 <sup>ns</sup>	24,68 <sup>ns</sup>	56,83 <sup>ns</sup>
Regime hídricos (A)	2	7594868,4 <sup>**</sup>	702,33 <sup>**</sup>	406,42 <sup>**</sup>
Suplementação (B)	1	69490644,1 <sup>**</sup>	963,02 <sup>*</sup>	642,33 <sup>*</sup>
Adubação ©	1	1057814,02 <sup>**</sup>	50,02 <sup>ns</sup>	16,13 <sup>ns</sup>
A x B	2	33699683,5 <sup>**</sup>	410,39 <sup>*</sup>	309,83 <sup>*</sup>
A x C	2	220732,57 <sup>**</sup>	27,58 <sup>ns</sup>	20,92 <sup>ns</sup>
B x C	1	575743,35 <sup>ns</sup>	4,08 <sup>ns</sup>	0,0075 <sup>*</sup>
A x B x C	2	1467049,1 <sup>ns</sup>	22,02 <sup>ns</sup>	57,3 <sup>ns</sup>
C.V (A)		11.1	15.7	18.5
C.V (B)		12.5	24.2	33.1
C.V ©		9.1	8.8	22.1

ns, \*\* e \*: não significativo e significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, C.V. – coeficiente de variação. Gl – grau de liberdade.

Para a variável área foliar (AF) as diferenças foram significativas em todos os cenários hídricos simulados (normal, seca e seca severa), enquanto que para as variáveis altura da planta (AP) e massa seca da parte aérea (MSPA), as diferenças foram significativas apenas para os cenários hídricos simulados: seca e seca severa (tabela 17).

Tabela 17 - Teste de médias da interação regime hídrico simulado x suplementação ou não com águas residuárias para número de folhas (NF), área foliar (AF), altura da planta (AP) e massa seca da parte aérea (MSPA) 78 DAP.

Tratamentos	Regime hídrico simulado		
	Normal	Seca	Seca Severa
Área foliar (cm <sup>2</sup> )			
Com suplementação	2163,32bA	3448,83 aA	1940,22 cA
Sem suplementação	1513,45aB	1127,53 bB	692,12 cB
Altura de planta (cm)			
Com suplementação	50,00 aA	49,62 aA	42,56 bA
Sem suplementação	51,00 aA	30,37 bB	33,93 bB
Massa seca da parte aérea (g planta <sup>-1</sup> )			
Com Suplementação	24,30 aA	25,22 aA	19,46 bA
Sem suplementação	25,88 aA	11,94 bB	9,20 bB

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas na linha e maiúsculas nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados encontrados reforçam os efeitos benéficos da lâmina suplementar com águas residuárias sobre os valores das variáveis com e sem suplementação, principalmente nos cenários hídricos simulados (seca e seca severa) comprovando a eficiência da lâmina suplementar com águas residuárias tanto no aporte hídrico, quanto no aporte de fertilizantes, principalmente o NPK, em proporções suficientes capazes de substituir a adubação química à base de NPK (FIDELES FILHO *et al.*, 2005; NASCIMENTO *et al.*, 2018).

Tabela 18 - Teste de médias da interação regime hídrico simulado x presença ou ausência da adubação com NPK para número de folhas (NF) e área foliar (AF) 78 DAP.

Tratamentos	Regime hídrico simulado		
	Normal	Seca	Seca Severa
Área foliar (cm <sup>2</sup> )			
Com adubação	1907,45 aA	1663,39 bA	1317,25 cA
Sem adubação	1769,33 aB	1277,56 bB	750,50 cB

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas na linha e maiúsculas nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados inseridos na tabela 18 do teste de médias da interação regimes hídricos x presença ou ausência da adubação NPK, quando comparados com os dados da tabela 17 do teste de médias da interação regimes hídricos x suplementação ou não com águas residuárias para as variáveis: número de folhas (NF) e área foliar (AF) apontam valores superiores ocasionados pela lâmina suplementar com águas residuárias, esses resultados justificam a substituição da lâmina suplementar pela adubação química a base de NPK.

### 3.7 CONCLUSÕES

Os impactos negativos sobre o processo fotossíntese na cultura do algodoeiro nos diferentes cenários hídricos foram atenuados com a aplicação da lâmina de irrigação suplementar com águas residuárias durante todo o ciclo de desenvolvimento, independentemente da presença ou não do NPK, principalmente nos cenários hídricos simulados (seca e seca severa).

A lâmina de irrigação suplementar com águas residuárias foi benéfica ao algodoeiro principalmente nos regimes hídricos simulados (seca e seca severa). A adubação nos tratamentos que receberam suplementação com águas residuárias não proporcionou incremento nas respostas fotossintéticas foliares, demonstrando que a suplementação por si só já é benéfica à fisiologia do algodão, comprovando o potencial fertilizante das águas residuárias em substituição a adubação química a base de NPK.

A irrigação suplementar com águas residuárias incrementa a produção de biomassa e o vigor das plantas do algodoeiro durante todo ciclo de desenvolvimento, independente da presença ou ausência da adubação com NPK. Esses efeitos foram significativos especialmente nos cenários de seca e seca severa.

A irrigação suplementar com águas residuárias na agricultura de sequeiro em regiões semiáridas, além de minimizar a frustração de safras, diminui os custos de produção evitando o uso da adubação química a base de NPK, melhora o aproveitamento da água das chuvas, minimiza os impactos sobre os recursos hídrico elevando a oferta de água de melhor qualidade para usos mais restritivos, tornando a agricultura de sequeiro economicamente viável, impactando positivamente o meio ambiente e na melhoria da qualidade de vida dos produtores rurais.

#### **4 CHAPTER II – FIBER QUALITY, YIELD AND PROFITABILITY OF COTTON IN RESPONSE TO SUPPLEMENTAL WASTEWATER IRRIGATION AND NPK FERTILIZATION.**

##### **ABSTRACT**

The frustration of cotton fields under rainfed farming in the tropical semi-arid region is related to prolonged dry spells, especially under drought scenarios. In this sense, supplemental irrigation with treated wastewater emerges as a strategy for the sustainability of agricultural production, also contributing to the reduction of fertilizer costs. The objective of the research was to evaluate the fiber quality, productivity, and profitability of cotton cultivation, under supplemental irrigation with treated domestic sewage (TDS) in different simulated water scenarios, with and without mineral fertilization. The assay was installed in a randomized complete block design, with treatments arranged in split plots, with four replications. The treatments were formed by three water scenarios (Normal, Drought and Severe Drought), defined by the historical series of precipitation data of 30 years, two treatments of supplemental irrigation with TDS (with and without), and presence and absence of fertilization with NPK. Our results show the importance of using treated wastewater in supplemental irrigation for different water scenarios in tropical semi-arid regions. Longer dry spells in Drought and Severe Drought scenarios increase the volume of supplemental irrigation with TDS, resulting also in greater nutrient input to the soil. This ensures higher yields, high water use efficiency (rainfall *plus* irrigation), lower fertilizer costs, and higher farmers' income.

**Keywords:** *Gossypium hirsutum* L.; tropical semi-arid; water stress; water reuse; sustainability.

## RESUMO

A frustação de safras de algodão sob sequeiro no semiárido tropical está relacionada aos prolongados veranicos, especialmente nas secas. Nesse sentido, o uso das águas residuárias tratadas na irrigação suplementar, desponta como uma estratégia para a sustentabilidade da produção agrícola, contribuindo também para a redução dos custos com fertilizantes. O objetivo da pesquisa foi avaliar a qualidade da fibra, produtividade, e a lucratividade do cultivo de algodão, sob irrigação suplementar com água de reuso em diferentes cenários hídricos simulados, com e sem adubação. O ensaio experimental foi instalado em delineamento em blocos ao acaso, com arranjo dos tratamentos em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Foram testados três cenários hídricos (normal, seca e seca severa), definidos pela série histórica de dados de precipitação de 30 anos, dois tratamentos de irrigação suplementar com águas residuárias tratadas (com e sem) e presença e ausência de adubação com NPK. Os resultados mostram a importância do uso de águas residuárias tratadas na irrigação suplementar para os diferentes cenários hídricos em regiões semiáridas tropicais. Longos períodos de estiagem nos cenários de Seca e Seca Severa aumentam o volume de irrigação suplementar com águas residuárias tratadas, resultando também em maior aporte de nutrientes ao solo, garantindo maiores rendimentos, alta eficiência no uso da água (chuva mais irrigação), custos mais baixos de fertilizantes e maior renda dos agricultores.

**Palavras-chave:** *Gossypium hirsutum* L.; semiárido tropical; estresse hídrico; reuso de água; sustentabilidade.

## 4.1 INTRODUCTION

Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) is the most important natural fiber in the world, constituting the main raw material for the international textile industry (GUO *et al.*, 2017; ABDELRAHEE *et al.*, 2019). Cotton yield is affected by environmental factors, genetic potential of varieties, and crop management. This crop has a relatively long cycle and, when grown under full irrigation, demands large amounts of water (MEKONNEN *et al.*, 2011). Then, cotton cultivation is predominantly rainfed in the most producing regions of the world, even in Brazil. However, irrigation is important to guarantee the sustainability of production in regions most susceptible to water deficit, especially when associated with efficient water consumption and economic viability (CETIN; BILGEL, 2002; UZEN; CARVALHO, 2013; CETIN; UNLU, 2016).

Frequent droughts in semi-arid regions of the planet and excessive pumping of groundwater to meet the water demand for irrigated agriculture have compromised the sustainability of production systems (JASECHKO; PERRONE 2021). Water shortage is one of the main factors that contribute to the reduction of productivity in agricultural crops, and the use of alternative sources of water for irrigation is an option to minimize water stress and yield losses (GONÇALVES *et al.*, 2017). These concerns have led fabric manufacturers to adopt environmentally sustainable cotton production technologies to minimize the use of water resources and reduce environmental pollution (CHEN *et al.*, 2017).

The possibility of reusing wastewater for irrigation of crops with high water demand, such as cotton, has been evaluated as a viable alternative to preserve natural water resources, while mitigating the effects of water scarcity (SALGOT; FOLCH, 2018; LIMA *et al.*, 2021), notably for future climate change scenarios. Given the above, treated domestic sewage should be an alternative to increase cotton area under irrigation, contributing to save fresh water and to avoid the contamination of aquatic ecosystems. When treated, wastewater resources also represent a promising opportunity to meet the crop mineral nutrient demand (LIMA *et al.*, 2021), and to face the current world crisis associated with the high prices of fertilizers.

Cotton farming in the Brazilian semiarid region, even in adverse soil and climate conditions, has greater profitability when compared to other crops (ETENE, 2021). The main concern for cotton cultivation in semi-arid regions is water scarcity, a determining factor for low productivity rates. In this way, supplemental irrigation in the rainfed farming, including the

use of treated wastewater, should become a decisive practice for the crop sustainability in these regions, increasing productivity and improving water use efficiency. So, the objective of this research was to evaluate the productivity, fiber quality, and profitability of cotton cultivation, in response to supplemental irrigation with treated wastewater for different simulated water scenarios for the rainfed farming period in the Brazilian semiarid region, with and without chemical fertilization.

## 4.2 MATERIAL AND METHODS

The experiment was carried out from September to December 2020, in an area adjacent to Sewage Treatment Station of CAGECE (Company of Water and Sewerage of the State of Ceará), in the municipality of Russas (4°56'25''S, 37°58 ' 33''W, altitude 20.5 m), Ceará, Brazil. The climate is classified as hot tropical semi-arid, with average annual rainfall of 745.7 mm and mean temperature of 27°C.

The experimental trial was installed in a randomized complete block design, with treatments arranged in split plots, with four replications. The plots were formed by the water scenarios (Normal, Drought, and Severe Drought), defined based on a 30-year historical series of precipitation data, provided by the Foundation for Meteorology and Water Resources of Ceará (Funceme) for the Municipality of Russas, Ceará, Brazil, for the rainfed farming period in the region (February to May). The subplots were composed by the supplementation or not with treated wastewater, and the subsubplots by the presence or absence of NPK fertilization.

Seeds of the cultivar BRS 433 B2RF, provided by the Secretariat of Economic Development and Labor of the State of Ceará (SEDET) were used, which were sown at a spacing of 0.7 x 0.3 m, with two plants per hole. Each experimental unit (sub-subplot) was formed by four rows of plants with 4.5 m length. Nitrogen, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O doses were 60, 60, and 50 kg ha<sup>-1</sup>, respectively, defined according to soil analysis and regional recommendations for cotton. The initial chemical analysis of the soil is in Table 19.

Table 19 - Chemical analysis of the soil of the experimental area in Russas, Ceará, Brazil.

Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup> +	S	C	N	MO	P	PST	pH	CE
(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )					(g kg <sup>-1</sup> )			(mg kg <sup>-1</sup> )	%	-	(ds m <sup>-1</sup> )	
12.5	5.7	1.32	0.41	0.1	19.9	0.84	1.08	16.96	53	5	6	0.68

A drip irrigation system was used, consisting of a centrifugal electric motor pump set with 0.5 CV (horse-power), single-phase current, equipped with double suction with valve to control the alternate capture of fresh water reserved in a tank of 2,000 L and treated wastewater collected in a pre-molded ring well. Irrigation consisted of a drip tape, with a flow rate of 1.6 L h<sup>-1</sup> and a spacing of 0.3 m between emitters.

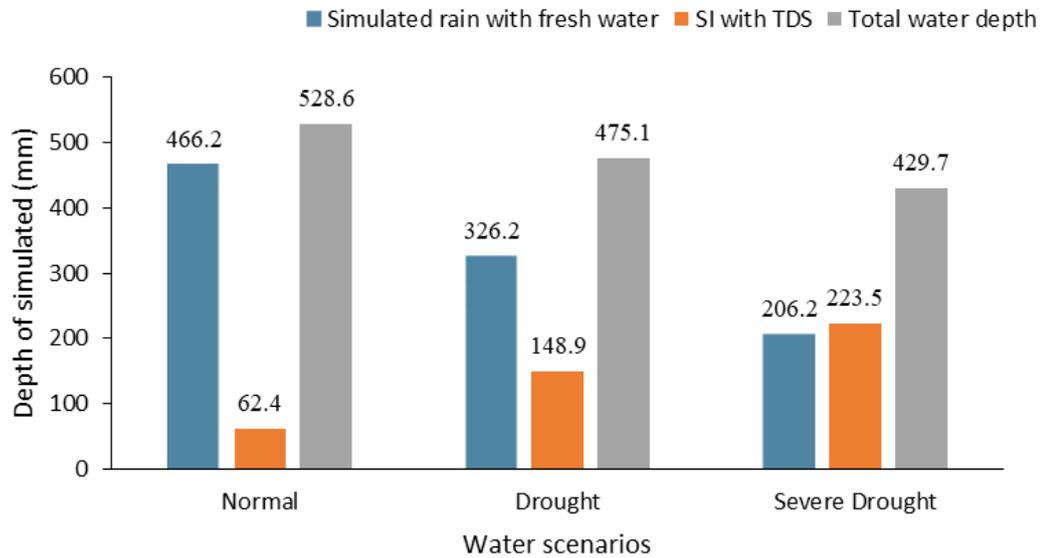
The water sources used came from the supply network of the city of Russas (fresh water - FW) and the stabilization pond (treated domestic sewage - TDS), belonging to the Company of Water and Sewage of Ceará State (Cagece). The chemical characteristics of the two water sources are shown in Table 20.

Table 20 - Chemical analysis of fresh water (FW) and treated domestic sewage (TDS) in the city of Russas, Ceará, Brazil.

Chemical analysis	FW	TDS
Ca <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0.9	2.9
Mg <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	1.8	3.2
Na <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	1.6	10.1
K <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0.1	1.4
Cl <sup>-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	2.6	13
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	1.3	4.6
EC (dS m <sup>-1</sup> )	0.38	1.66
P (mg L <sup>-1</sup> )	0.02	10.7
N (mg L <sup>-1</sup> )	12.7	67.2

The rainfall simulation was carried out with fresh water, while the supplemental irrigation was carried out with water from the stabilization pond (TDS). The total water depths applied during the entire cotton cycle are shown in Figure 11. According to the historical series of precipitation data, the average for normal scenario is around 466,2 mm, in the period from February to May (rainy season). For the drought and severe drought scenarios, the values are 326,2 and 206,2 mm, reaching average reductions of 30.0 and 55.7%, respectively.

Figure 11 - Depth of simulated rain with fresh water, supplemental irrigation with treated domestic sewage (SI with TDS), and total water depth applied during the cotton cycle.



At 80 days after sowing the shoots dry mass and leaf gas exchange parameters were evaluated. Measurements of stomatal conductance ( $g_s$ , in  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) and photosynthesis rate ( $A$ , in  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) were performed using a portable infrared gas analyzer, model LI- 6400XT, Licor, USA, with a light intensity of  $1800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . The readings were taken in the morning, between 08:00 and 10:00, on fully expanded leaves of each plant and under ambient conditions of temperature and relative humidity.

Two manual harvests were carried out, at 106 and 126 days after planting. The following production variables were determined: seed yield ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), lint yield ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), total yield, and physical water productivity (PWP,  $\text{kg m}^{-3}$ ), obtained by the ratio between the total yield and the total volume of water applied in each treatment (simulated rain with fresh water *plus* supplemental irrigation with TDS), according to equation 1 [Frizzone *et al.*, 2021]:

$$WP = \frac{\text{Total yield (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Total water applied (m}^3 \text{ ha}^{-1}\text{)}} \quad (1)$$

The efficiency of supplemental irrigation ( $WUE_{SI}$ ) was estimated by the ratio between the increment of total yield and the volume of supplemental water applied, according to equation 2 (Cavalcante *et al.*, 2022):

$$WUE_{SI} = \frac{Y_{SI} - Y \text{ (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Supplemental irrigation (m}^3 \text{ ha}^{-1}\text{)}} \quad (2)$$

$Y_{SI}$  and  $Y$  represent the yields of plots that received or not supplemental irrigation, respectively.

The technological quality of cotton fiber was measured from the sampling of 20 bolls randomly collected in the middle third of plants in the useful area of the plot. As recommended by ZONTA *et al.* (2015a), the following variables were analyzed: fiber length (UHM, mm), fiber uniformity (UNF, %), short fiber index (SFI, %), and Micronaire index (MIC,  $\mu\text{g in}^{-1}$ ). The technological variables were determined at the Fibers and Yarns Laboratory of Embrapa Algodão (Campina Grande, Paraíba, Brazil), using HVI (High Volume Instruments) model 900 from Spinlab/Zellweger Uster.

Crop yield, PWP, fiber technological quality, stomatal conductance ( $g_s$ ), photosynthesis rate ( $A$ ) and shoots dry mass data were submitted to analysis of variance and the means were compared by Tukey's test at 0.05 probability. Statistical analyzes were performed using the Sisvar software version 5.6 (FERREIRA, 2019).

Economic analysis was performed using current values (May-July 2022) to estimate gross revenue and costs (fixed, variable and equipment depreciation), expressed in Reais (BRL, Brazilian currency). Crop yield data were used to estimate gross revenue, using the cotton price (seed *plus* lint) of 4.67 BRL  $\text{kg}^{-1}$ . For the economic analysis, fixed and variable costs and equipment depreciation were used. Fixed costs for the 1.0 ha were used for all treatments with supplemental irrigation. The total fixed cost amount was divided into 10 years, as the farmer has the option to finance the materials during this period. The equipment depreciation was calculated by dividing the investment needed for implementation by the useful life, which was estimated at ten years. The final zero residue method at the end of its useful life was used in the calculation.

In this study, it was considered that the costs were financed by *Banco do Nordeste do Brasil*, using the investment credit line called *Pronaf mais Alimentos*, simulating a ten-year contract with an interest rate of 3% per year with no grace period, seeking to get as close as possible to the reality of the farmer.

The calculation of the added value was performed, according to the methodology described by Silva Neto (2016) and by Cavalcante *et al.* (2021). The added value of the

production systems was obtained for 1.0 ha of production and values expressed in BRL, according to Equation 3:

$$AV = GVP - (FC + VC + D) \quad (3)$$

AV: Added value

GVP: Gross value of production

FC: fixed costs associated with the production system

VC: variable costs associated with the production system, excluding labor

D: depreciation of equipment and facilities

A linear relationship ( $AV = ax + b$ ) was used to calculate the added value from 2.0 to 5.0 ha, with the ordinate axis being the added value and the abscissa axis represented by the useful agricultural area. In the linear model, the marginal contribution per unit of equivalent area is represented by “a” and the fixed capital necessary to implement the production system, represented by “b”. Farmers' income for 1.0 ha was estimated according to Equation 4, with all values expressed as BRL:

$$FI = AV - (I + S + T) \quad (4)$$

FI: farmer's income

AV: added value

I: interest paid to the bank or other financial agent

S: salaries paid to the labor force

T: taxes and tariffs paid to the state in BRL

To calculate the farmer's income from 2.0 to 5.0 ha, linear models were elaborated ( $FI = ax + b$ ), that describe the variation of farmers' income (FI) in the different treatments in relation to the planted agricultural area per unit of work. In this model, the marginal contribution of income in relation to the area is represented by "a" and the fixed expenses to implement the system of production is represented by “b”.

The Level of Social Reproduction (LSR) of each production unit for a planted agricultural area was also accessed. The LSR is related to the income necessary for social reproduction based on the minimum wage, which was adjusted to 1,212.00 BRL through the Provisional Measure of the Federal Government of 02/01/2022. In this case, the LRS value

represented in the graph refers to the semiannual (six-month) minimum wage of 7,272.00 BRL, considering that in the second semester the farmer will carry out other activities to obtain his income.

## **4.3 RESULTS AND DISCUSSION**

### **4.3.1 Crop yield, leaf gas exchange, and water use efficiency**

Crop yield (total, seed, and lint), physical water productivity (PWP), stomatal conductance ( $g_s$ ), photosynthesis rate ( $A$ ) and shoots dry mass were significantly influenced by the interaction between water scenarios and supplemental irrigation with wastewater (Table 21) ( $p < 0.01$ ). The interaction between water scenarios and chemical fertilization exerted a significant influence only on cotton lint yield ( $p < 0.05$ ). The efficiency of supplemental irrigation ( $WUE_{SI}$ ) was significantly influenced only by water scenarios ( $p < 0.01$ ).

Table 21 - Summary of analysis of variance for cotton yield (total, seed, and lint), expressed in kg ha<sup>-1</sup>, physical water yield (PWP), efficiency of supplemental irrigation (WUE<sub>SI</sub>), stomatal conductance (*g<sub>s</sub>*), photosynthesis rate (*A*) and shoots dry mass (SDM) as a function of water scenarios, supplemental irrigation (SI) with treated wastewater, and chemical fertilization.

		Mean square							
Source of variation	DF	Total yield	Seed	Lint	PWP	WUE <sub>SI</sub>	<i>g<sub>s</sub></i>	<i>A</i>	SDM
Blocks	3	33,928.76 <sup>ns</sup>	9,493.02 <sup>ns</sup>	9,467.82 <sup>ns</sup>	0.0027 <sup>ns</sup>	0.3487 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	10.61 <sup>ns</sup>	118.98 <sup>ns</sup>
Water scen (W)	2	480,087.66 <sup>ns</sup>	142,796.96 <sup>ns</sup>	100,321.25 <sup>ns</sup>	0.0071 <sup>ns</sup>	1.9713*	0.13**	126.59*	1102.62*
Supplemental irrig (SI)	1	12,505,715.2**	4,594,194.68**	1,940,268.01**	0.563**	-	0.56**	467.12**	9921.65**
Fertilization (F)	1	15,801.26 <sup>ns</sup>	5,442.81 <sup>ns</sup>	2,696.51 <sup>ns</sup>	0.0004 <sup>ns</sup>	1.0752 <sup>ns</sup>	0.004 <sup>ns</sup>	0.027 <sup>ns</sup>	1.89 <sup>ns</sup>
W x SI	2	1,374,153.56**	475,923.25**	232,861.85**	0.099**	-	0.045*	76.11**	1750.95**
W x F	2	15,887.51 <sup>ns</sup>	46,931.86 <sup>ns</sup>	27,359.57*	0.018 <sup>ns</sup>	0.9044 <sup>ns</sup>	0.002 <sup>ns</sup>	0.21 <sup>ns</sup>	125.71 <sup>ns</sup>
SI x F	1	52,421.57 <sup>ns</sup>	19,503.62 <sup>ns</sup>	7,974.85 <sup>ns</sup>	0.017 <sup>ns</sup>	-	0.009 <sup>ns</sup>	12.89 <sup>ns</sup>	22.85 <sup>ns</sup>
W x SI x F	2	57,664.91 <sup>ns</sup>	27,751.41 <sup>ns</sup>	6,204.93 <sup>ns</sup>	0.014 <sup>ns</sup>	-	0.005 <sup>ns</sup>	5.47 <sup>ns</sup>	151.29 <sup>ns</sup>
C.V. (W)%		43.27	39.56	49.36	38.45	48.93	24.07	22.38	31.26
C.V. (SI)%		26.15	24.95	28.28	24.28	-	19.64	13.02	27.73
C.V. (F)%		17.52	18.07	17.03	16.91	54.55	21.06	8.73	17.15

DF - degree of freedom; CV - coefficient of variation; ns – non-significant; \* e \*\* - significant at 0.05 and 0.01, respectively.

Supplemental irrigation with wastewater increased total crop yield in all water scenarios evaluated, when compared to treatments without SI, mainly in Drought and Severe Drought scenarios (Table 22). For the Normal, Drought and Severe Drought scenarios, there were increases in total productivity of 29.1; 255.4 and 250.7%, respectively. It is also noted that when there was no supplementary irrigation, the Normal water scenario promoted the highest total productivity, with superiorities of 114.0 and 157.5% in relation to the Drought and Severe Drought scenarios, respectively. Similar trends were observed for seed and lint yield.

Table 22 - Cotton yield (total, seed, and lint), expressed in kg ha<sup>-1</sup>, physical water productivity (PWP), efficiency of supplemental irrigation (WUE<sub>SI</sub>), stomatal conductance (*g<sub>s</sub>*), photosynthesis rate (*A*) and shoots dry mass as a function of water scenarios, supplemental irrigation (SI) with treated wastewater and chemical fertilization.

Treatments	Water scenarios		
	Normal	Drought	Severe drought
	Total yield (kg ha <sup>-1</sup> )		
With SI	1,607.4 aA	2,067.4 aA	1,695.5 aA
Without SI	1,244.9 aA	581.7 bB	483.4 bB
	Seed yield (kg ha <sup>-1</sup> )		
With SI	971.7 aA	1,236.7 aA	1,032.3 aA
Without SI	739.0 aB	340.1 bB	305.4 bB
	Lint yield (kg ha <sup>-1</sup> )		
With SI	635.7 aA	830.8 aA	663.4 aA
Without SI	505.9 aA	241.7 bB	175.9 bB
	Lint yield (kg ha <sup>-1</sup> )		
With chemical fertilization	515.6 aB	551.9 aA	436.8 aA
Without chemical fertilization	626.1 aA	520.6 abA	402.7 bA
	PWP (kg m <sup>-3</sup> )		
With SI	0.43 aA	0.62 aA	0.56 aA
Without SI	0.38 aA	0.33 aB	0.25 aB
	WUE <sub>IS</sub> (kg m <sup>-3</sup> )		
	1.16 b	1.98 a	1.08 b
	Stomatal conductance (mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )		
With SI	0.57 aA	0.51 aA	0.51 aA
Without SI	0.48 aB	0.26 bB	0.21 bB
	Photosynthesis rate (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )		
With SI	23.72 aA	23.63 aA	22.25 aA
Without SI	22.43 aA	15.72 bB	12.73 bB
	Shoots dry mass (g)		
With SI	58,06 aA	68,64 aA	55,08 aA
Without SI	52,03 aA	21,43 bB	22,06 bB

Means followed by the same lowercase letter in the row and uppercase in the column do not differ statistically from each other by Tukey's test ( $p \leq 0.05$ ).

Low water availability limits the production of photoassimilates and plant development, reducing crop productivity (TAIZ *et al.*, 2017; CAVALCANTE *et al.*, 2021). Treated domestic sewage in supplemental irrigation provides water and nutrients throughout the crop cycle, providing more adequate leaf water status and efficient nutrition, evidencing its agricultural potential to ensure high crop yields (LIMA *et al.*, 2021).

In treatments without SI, especially in Drought and Severe Drought scenarios, plants were harmed by water scarcity that limits stomatal opening, leaf expansion, photoassimilates production, and plant productivity (CAVALCANTE *et al.*, 2021; 2022). On the other hand, the use of supplemental irrigation with treated wastewater mitigated the effects of water stress, with more expression in plants that received supplemental wastewater for a longer time, i.e., under Severe Drought scenario.

Zonta *et al.* (2015a), studying cotton plant responses to water deficit in different growth stages, found an increase in cotton lint yield with increasing irrigation depth applied, under semi-arid conditions, regardless of growth stage. Lima *et al.* (2022), full irrigating the cotton crop with treated domestic sewage, found that the maximum yield of cotton lint was obtained by the combination of a 150% irrigation depth and a dose of 100% potassium recommendation.

Lint yield was less impacted by the absence of NPK fertilization than by the absence of supplemental irrigation with wastewater (Table 22). A tendency of reduction in productivity was observed with increasing intensity of water stress, regardless of the presence or absence of chemical fertilization. When NPK was not used, there was a reduction of 16.8 and 35.6% in lint productivity in the Drought and Severe Drought scenarios, respectively, when compared to the Normal water scenario (Table 22). The greatest limitation of productivity in the scenario of greater water restriction (Severe Drought) can be justified due to low soil moisture, which significantly affects the absorption and assimilation of nutrients (TAIZ *et al.*, 2017).

The use of supplemental irrigation with treated wastewater promoted increases in physical water productivity for all water scenarios studied, when compared to treatments without SI (Table 22). These increases in PWP for the Normal, Drought and Severe Drought scenarios were 13.1; 87.9 and 124.0%, respectively. According to Karam *et al.* (2006), several factors can influence the increase in the efficient use of water, such as an increase in the crop yield and a decrease in losses due to evapotranspiration.

The Normal scenario resulted in higher crop yields (Table 22). However, the lowest PWP ( $0.43 \text{ kg m}^{-3}$ ) is observed in this treatment, due to the higher water volume used (simulated rain *plus* SI). These results corroborate Zonta *et al.* (2015b) who found that higher water depths have higher yields in herbaceous cotton cultivars, but lower water use efficiency. These same authors obtained higher PWP with water depth corresponding to 70% of crop evapotranspiration. Even so, the values of PWP obtained in the Normal scenario (Table 22) are

similar to those reported by Lima *et al.* (2021), using 100% of ET<sub>c</sub> with treated domestic sewage (0.49 kg m<sup>-3</sup>).

Supplementary irrigation with treated wastewater resulted in productivity gains greater than 1.0 kg m<sup>-3</sup>, values well above those obtained with full irrigation (ZONTA *et al.* 2015b). For the scenario with greater water restriction (Severe Drought) a lower WUE<sub>SI</sub> value is observed, which is statistically similar to the treatment with the lowest water restriction (Normal). It is important to emphasize that the first uses the largest SI depth, while the second presents the smallest increase in cotton yield. The highest WUE<sub>SI</sub> was observed in the Drought scenario, which combined the high increase in cotton yield, while using an intermediate depth of supplemental irrigation (Figure 11).

Supplemental irrigation with treated wastewater improved photosynthetic responses and shoot biomass production, especially in drought and severe drought scenarios. When compared to the absence of supplemental irrigation, there were increases of 49.01 and 58.8% in stomatal conductance, 33.5 and 42.8% in photosynthesis rate, 220.2 and 149.6% in shoots dry mass, for Drought and Severe Drought scenarios, respectively (Table 22). On the other hand, photosynthetic responses and shoots biomass production showed similar results for different water scenarios when supplemental irrigation with treated wastewater was used. Plots that did not receive supplemental irrigation suffered from the negative effects of water stress, such as stomatal limitations, reduction in chlorophyll concentration, limited cell elongation, and inhibition of photochemical and enzymatic reactions (TAIZ *et al.*, 2017; LACERDA *et al.*, 2020; CAVALCANTE, 2022).

#### **4.3.2 Technological quality of fiber**

All variables related to cotton fiber quality were influenced by supplemental irrigation with treated wastewater (Table 23). Fiber uniformity (UNF) and micronaire index (MIC) were significantly influenced by the interaction between water scenarios and supplemental irrigation with treated wastewater ( $p \leq 0.01$ ).

Table 23 - Summary of analysis of variance for fiber length (UHM), fiber uniformity (UNF), short fiber index (SFI), and micronaire index (MIC) of cotton, as a function of water scenarios, supplemental irrigation with treated wastewater (SI), and chemical fertilization.

Source of variation	DF	Mean square			
		UHM	UNF	SFI	MIC
Blocks	3	0.86 <sup>ns</sup>	1.87 <sup>ns</sup>	0.67 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>
Water scenarios (W)	2	8.81 <sup>ns</sup>	4.32 <sup>ns</sup>	1.23 <sup>ns</sup>	0.73 <sup>ns</sup>
Supplemental irrig (SI)	1	70.27**	66.32**	19.67**	0.44**
Fertilization (F)	1	1.66 <sup>ns</sup>	5.65 <sup>ns</sup>	0.21 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>
W x SI	2	0.73 <sup>ns</sup>	0.05**	0.43 <sup>ns</sup>	0.03**
W x F	2	1.43 <sup>ns</sup>	0.28 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>
SI x F	1	0.19 <sup>ns</sup>	2.19 <sup>ns</sup>	0.11 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>
W x SI x F	2	1.44 <sup>ns</sup>	5.96 <sup>ns</sup>	0.32 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>
With SI		30.18 a	86.01 a	6.94 b	4.83 a
Without SI		27.76 b	83.65 b	8.22 a	4.64 b
C.V (W)		4.67	2.14	16.28	6.56
C.V (SI)		5.51	1.69	14.76	3.99
C.V (F)		3.95	1.53	9.49	4.53

DF - degree of freedom; CV - coefficient of variation; ns – non-significant; \* e \*\* - significant at 0.05 and 0.01, respectively. Means followed by the same lowercase letter in the column do not differ statistically from each other by Tukey's test ( $p \leq 0.05$ ).

Fiber length was increased when supplemental irrigation with treated wastewater was used, with an increase of 8.01% when compared to the treatment without SI (Table 23). The increase in UHM caused by the increase in water application provided by supplemental irrigation with wastewater, evidence that the soil can be enriched with mineral nutrients, including K and N (ALIKHASI *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2016). The increase in soil fertility provided by treated sewage application possibly favored cell development and, consequently, greater fiber elongation, as previously discussed by Guo *et al.* (2017) and Lima *et al.* (2021).

Otherwise, the short fiber index (SFI) was about 18.4% higher in the treatment without supplemental irrigation (Table 23), compared to the treatment with SI. This result is similar to that found by Azevedo *et al.* (2005), who investigated the effect of treated wastewater and nitrogen rates on the fiber quality of herbaceous cotton, concluding that the short fiber index

was lower when the crop received irrigation with treated wastewater. The longer the fiber length, the better it is for the industry, since short fiber produces thicker yarn, while long fiber produces finer yarn used in the manufacture of luxury fabrics with higher commercial value (EMBRAPA, 2015).

Supplemental irrigation with treated wastewater promoted an increase in fiber uniformity in all water scenarios, with an increase of 4.2, 2.6, and 3.7% for the Normal, Drought and Severe Drought scenarios, respectively (Table 24). Supplemental irrigation with wastewater also promoted an increase in the micronaire index for the Drought and Severe Drought water regimes, with increments of 5.8 and 5.0%, respectively (Table 6).

Table 24 - Fiber uniformity (UNF) and micronaire index (MIC) of cotton, as a function of water scenarios and supplemental irrigation with treated wastewater.

Treatments	Water scenarios		
	Normal	Drought	Severe drought
	UNF - %		
With SI	86.75 aA	85.44 aA	86.19 aA
Without SI	83.28 aB	83.24 aB	83.09 aB
	MIC - $\mu\text{g in}^{-1}$		
With SI	4.96 aA	4.93 aA	4.61 bA
Without SI	4.88 aA	4.66 bB	4.39 cB

Means followed by the same lowercase letter in the row and uppercase in the column do not differ statistically from each other by Tukey's test ( $p \leq 0.05$ ).

Water deficit after flowering and during the fiber elongation stage can compromise fiber length and uniformity, as the physiological and mechanical processes of elongation cells are impaired by water scarcity, as evidenced in other studies (PAPASTYLIANOU *et al.*, 2014; ZHANG *et al.*, 2016; LIMA *et al.*, 2021). The Supplemental irrigation resulted in an increase in both fiber length (Table 23) and fiber uniformity (Table 24), as a result, most likely, of reducing the harmful effects of water deficit.

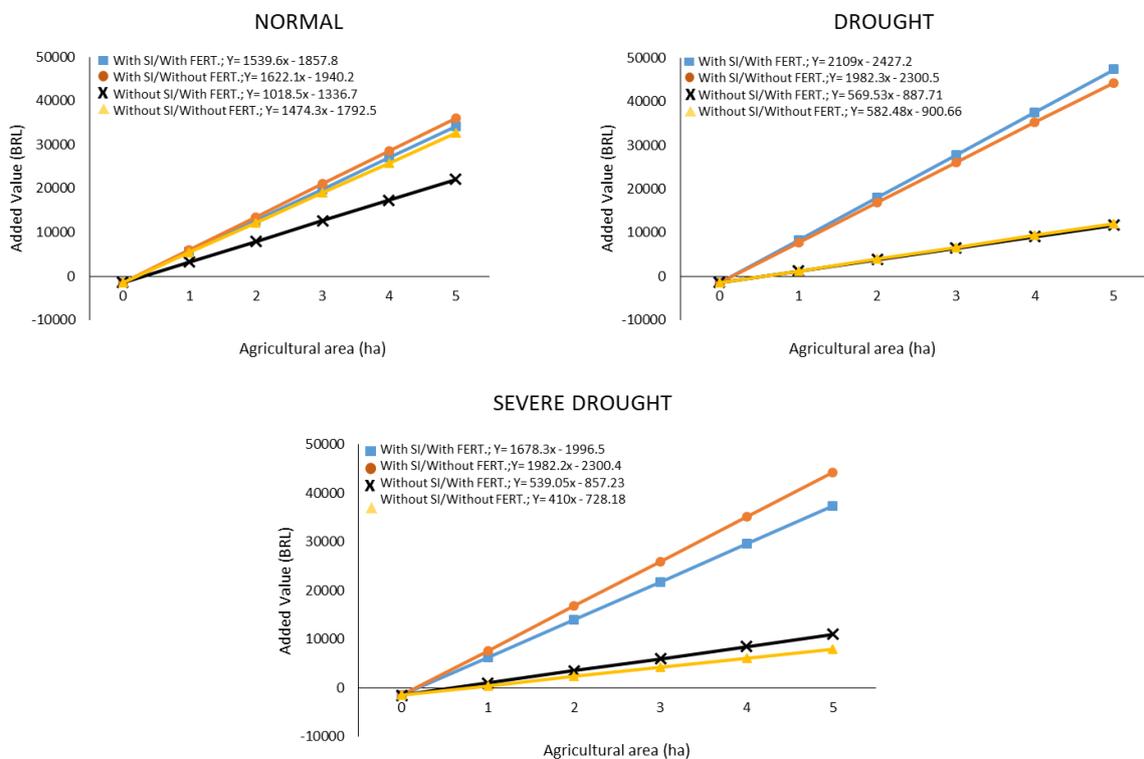
An important feature of the textile industry is the requirement for finer fibers. The micronaire index (MIC) of 3.5 to 4.2  $\mu\text{g in}^{-1}$  allows fibers to be spun by high-speed rotors in modern spinning equipment. According to the industry classification, MIC values can be included in the following categories: <3.0 (very fine); 3.0–3.9 (fine); 4.0–4.9 (medium); 5.0–

5.9 (coarse);  $>6 \mu\text{g in}^{-1}$  (very coarse) (SANTANA *et al.*, 2008). The MIC results obtained in our study are in the medium category, superior to the standards required by the textile industry, regardless of the adopted water scenario. Santos *et al.* (2016) and Lima *et al.* (2021) reported that adequate value of MIC were obtained with cotton irrigated with treated effluent, 3.46 and  $3.90 \mu\text{g in}^{-1}$ , respectively, thus contrasting the findings of our study.

### 4.3.3 Economic analysis

Figure 12 shows the variation of the added value as a function of the agricultural area, making it possible to identify the marginal contribution of the different combinations of supplemental irrigation with treated wastewater and mineral fertilization, simulated for Normal, Drought and Severe Drought scenarios.

Figure 12 - Added value for the different simulated water scenarios, supplemental irrigation with treated wastewater (SI) and presence and absence of NPK fertilization, depending on the area cultivated with BRS 433 cotton.



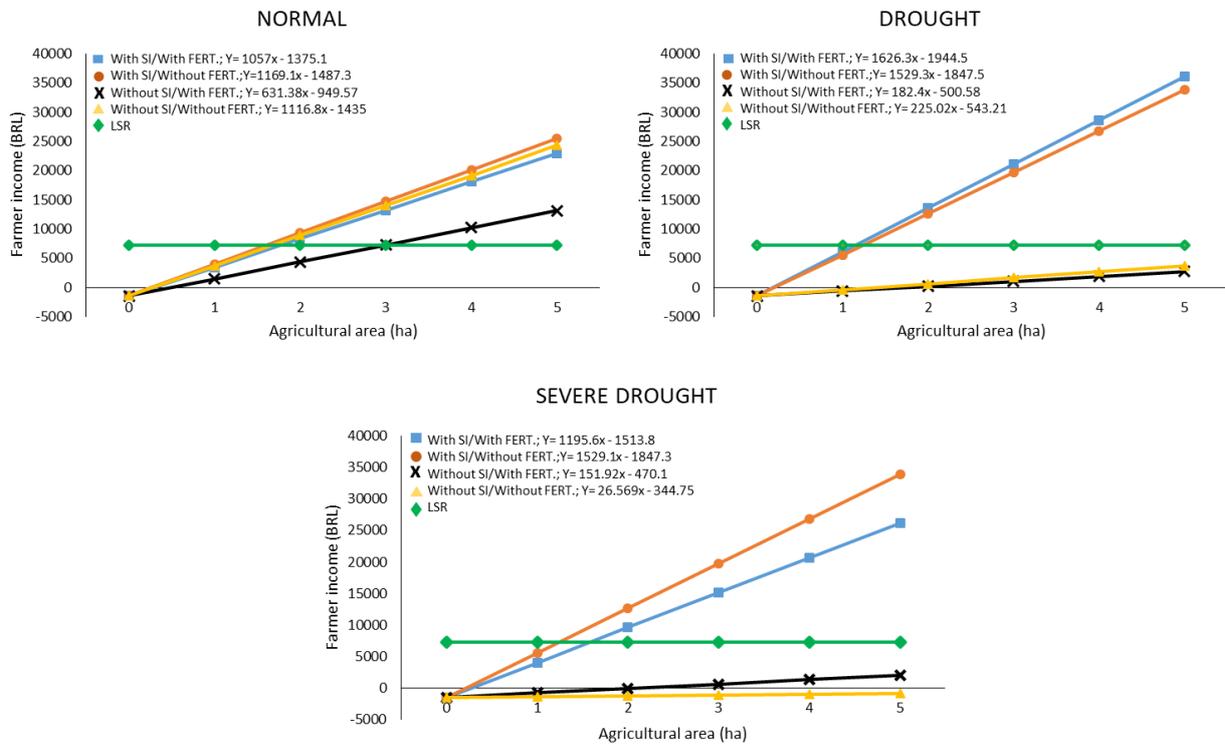
For the Normal water scenario, the highest added value for each hectare of production was found in the treatment with supplemental irrigation with treated wastewater, and the treatment with SI and without chemical fertilization presented the best result. In general, the treatments studied in the Normal water scenario had a similar added value, with the exception of the treatment without SI and with NPK fertilization, which had the lowest added value, differing from the other treatments.

In the Drought and Severe Drought scenario, supplemental irrigation with treated wastewater increased the added value, regardless of the input or not of fertilizers. In the Drought water scenario, the treatment that obtained the highest added value was with SI and with fertilizer, while in the Severe Drought scenario, the best result was obtained in the treatment with SI and without fertilizer. It is noted that from the Normal to the Severe Drought scenario, the inclination between the straight lines with and without SI increases considerably, demonstrating that the supplemental irrigation with wastewater increased the added value, especially under water shortage. It is noticed that even generating fixed costs with the financing of an irrigation system (fixed costs), the use of SI presents the best economic return.

Analyzing the treatments that received fertilization, in general, great differences in the value of production were not observed. This demonstrates that, under such conditions, the use of fertilization must be analyzed to avoid economic losses. Several studies have shown that irrigation with wastewater increases the content of organic matter and the availability of nutrients in the soil (MAÑAS *et al.*, 2009; JUESCHKE *et al.*, 2008; KIZILOGLU *et al.*, 2007), reducing the variable costs of applying fertilizers.

Figure 13 shows the farmer's income as a function of the marginal contribution of each water scenario for an agricultural area of up to 5.0 hectares. In the Normal water scenario, as mentioned above, the treatment with the highest added value was with SI and without mineral fertilization, with supplemental irrigation with treated wastewater starting to be advantageous from 1.7 hectares onwards. In the treatment with SI and with fertilization, the cultivation of cotton is advantageous from 1.8 hectares. For the treatment without SI, but which received the fertilization, the cultivation of cotton is only advantageous from 3.0 hectares.

Figure 13 - Farmers' income for the different simulated water scenarios, supplemental irrigation with treated wastewater (SI) and presence or absence of NPK fertilization, depending on the area cultivated with BRS 433 cotton. Green line indicates the Level of Social Reproduction (LSR).



For the Drought water scenario, it is advantageous to cultivate cotton in the treatment with SI and with mineral fertilization from 1.2 hectares, i.e., the level of social reproduction is reached with this area of cultivation. In the treatment with supplemental irrigation and without chemical fertilization, cultivation from 1.3 hectares is advantageous. The treatments without SI did not reach the value of the LSR, demonstrating that it is not advantageous to grow cotton in an area from 0 to 5 hectares under severe water restriction. In addition to raising soil moisture, supplemental irrigation with treated wastewater provides nutrients that improve plant growth, reduce the need for fertilizer application, and increase the productivity of soils with low fertility (GATICA; CYTRYN, 2013).

In the Severe Drought scenario, the treatment with SI and fertilization reached the level of social reproduction from 1.6 hectares, demonstrating that its cultivation is advantageous from such an area. Cotton cultivation with SI and without mineral fertilization reaches LSR with 1.3 hectares. Otherwise, the treatments without SI are not advantageous to grow cotton in

an area up to 5 hectares due to severe drought stress. It is observed that the treatment without SI and without fertilization was negative up to 5 hectares and that the larger the cultivated area, the greater the economic loss to the farmer.

Drought and Severe Drought treatments that received supplemental irrigation with treated wastewater obtained higher farmer's income when compared to the Normal scenario with SI. This can be explained by the supply of nutrients provided by wastewater (Table 20), as demonstrated in other studies (LIMA *et al.*, 2021). Supplemental irrigation was carried out during the dry spells, that is, the Drought and Severe Drought scenarios received a greater number of irrigations and, consequently, received a greater depth and input of nutrients to the soil.

The use of alternative sources of water, such as treated and brackish wastewater, can be an important strategy for some productive activities in semi-arid regions, including branches of industry and the agricultural sector (NEIVA, 2015; MEDEIROS *et al.*, 2005; CAVALCANTE *et al.*, 2021). Wastewater irrigation is a practice widely used around the world, especially in arid and semi-arid regions, to alleviate water scarcity in agriculture (SIEBE; CIFUENTES, 1995; JIMENEZ; CHÁVEZ, 2004; ELIFANTZ *et al.*, 2011; FRENK *et al.*, 2014). Supplemental irrigation for cotton is essential, given that its cultivation is predominantly under rainfed conditions in the Brazilian semiarid region, which is subject to recurrent droughts and the occurrence of long dry spells during the rainy season, which impact the sustainability of the enterprises (MARENGO *et al.*, 2017; CAVALCANTE *et al.*, 2021).

#### 4.4 CONCLUSIONS

Treated wastewater in supplemental irrigation of cotton for different water scenarios in tropical semi-arid regions, was revealed by improved photosynthesis responses, growth, yield, and profitability. The greater dry spells in the Drought and Severe Drought scenarios imply a greater use of supplemental water depth and, consequently, a greater addition of nutrients to the soil. This ensures higher yields, high water use efficiency, lower fertilizer costs, and higher income for farmers. For example, in the Severe Drought scenario, the highest income for the farmer was obtained with the use of supplemental irrigation without mineral fertilization. The use of treated wastewater also resulted in improvements in fiber length, fiber uniformity, and short fiber index. However, there is a need for advances in fiber quality studies,

since not all parameters varied positively with the use of supplemental irrigation with treated wastewater.

## 5 CONCLUSÕES GERAIS

A utilização de águas residuárias na agricultura é uma atividade promissora, porém ainda de pouco uso no Brasil, e particularmente no semiárido brasileiro. Para esta região, essas fontes hídricas assumem papel estratégico, face à escassez de água para os setores produtivos, particularmente em anos de seca. Por exemplo, nas secas de 2012 a 2017, ocorreram significativas reduções nas áreas irrigadas, com enormes prejuízos sociais e econômicos.

A irrigação suplementar com águas residuárias na agricultura de sequeiro em regiões semiáridas, além de minimizar a frustração de safras, diminui os custos de produção, reduzindo o uso da adubação química a base de NPK, melhora o aproveitamento da água das chuvas, minimiza os impactos sobre os recursos hídricos, eleva a oferta de água de melhor qualidade para usos mais restritivos, tornando a agricultura de sequeiro economicamente viável, impactando positivamente o meio ambiente e na melhoria da qualidade de vida dos produtores rurais.

Os resultados do nosso estudo demonstraram que a lâmina de irrigação suplementar com águas residuárias foi benéfica ao algodoeiro principalmente nos regimes hídricos simulados (seca e seca severa). A adubação nos tratamentos que receberam suplementação com águas residuárias não proporcionou incremento nas respostas fotossintéticas foliares, demonstrando que a suplementação por si só já é benéfica à fisiologia do algodão, comprovando o potencial fertilizante das águas residuárias em substituição a adubação química a base de NPK. O uso de águas residuárias também resulta em maiores rendimentos, alta eficiência no uso da água, menores custos de fertilizantes e maior renda para os agricultores. Verificou-se ainda melhorias no comprimento da fibra, uniformidade da fibra e índice de fibra curta.

Vale ressaltar que a aceitação da água residuária como fonte alternativa de irrigação exige não apenas bons resultados em termos produtivos e econômicos, mas também a certeza de que a existência de riscos ambientais foi minuciosamente avaliada. Assim, estudos futuros são necessários para avaliar o real potencial hídrico das lagoas de tratamento de esgoto na região semiárida, bem como as concentrações de contaminantes, incluindo metais, antibióticos e microrganismos, que podem causar danos ambientais ou à saúde. Este conjunto de dados irá adicionar ao conhecimento necessário para a avaliação da sustentabilidade produtiva, econômica e ambiental da irrigação suplementar com águas residuárias tratadas em clima tropical semiárido.

## REFERÊNCIAS

- ABDELRAHEEM, A.; ESMAEILI, N.; O'CONNELL, M.; ZHANG, J. Progress and perspective on drought and salt stress tolerance in cotton. **Industrial Crops Products**, v.130, p.118–129, 2019.
- ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária. **Controle e redução de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água**. 1º Seminário Nacional de Gestão e Controle de Perdas de Água, ABES. Porto Alegre: Revisão 1. 2015. Disponível em: [http://abes-dn.org.br/pdf/28Cbesa/Perdas\\_Abes.pdf](http://abes-dn.org.br/pdf/28Cbesa/Perdas_Abes.pdf). Acessado em: 14/04/2020.
- ALIKHASI, M.; KOUCHAKZADEH, M.; BANIANI, E. The effect of treated municipal wastewater irrigation in non-agricultural soil on cotton plant. **Journal Agricultural Science Technology**, v.14, p.1357–1364, 2014.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 300p. (FAO - Irrigation and Drainage Paper, 56), 1998.
- ALMEIDA, É. 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.
- ALVES, F.; A.; L. CAVALCANTE, F.; de S. JUNIOR, I.; S.; de O. FERRAZ, I. SILVA, S.; M.; S. Competição de variedades de algodão herbáceo para o cultivo no agreste pernambucano. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**. v.24, n.1, 2019.
- ALVES, W. W. A.; AZEVEDO, C. A. V de.; NETO, J.; D. LIMA, V. L. A de. Área foliar do algodoeiro irrigado com água residuária adubado com nitrogênio e fósforo. **Revista Verde**, v.4, n.1, p.41-46, 2009.
- AMARAL, T.; A. ANDRADE, C de.; L.; T de. SOUZA, V.; F de. PAIXÃO, J de.; S. **Resposta de cultivares de milho ao estresse hídrico**. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas. Documentos 207, 25p. 2016.
- ANDRADE, E. M. de. PEREIRA, O. J.; DANTAS, F. E. R.; **Semiárido e o manejo dos recursos naturais: uma proposta de uso adequado do capital natural**. 2. Ed. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2016.
- ARAUJO FILHO, A. A. RABELO, J. L. C. COELO, J. D. FREITAS, G. A de.; SENA, J. V. C. **Caracterização da cadeia produtiva do algodão no semiárido nordestino**. Banco do Nordeste. Fortaleza, Serie documentos do ETENE Nº 32, 2013. Disponível em: [https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/134/1/2012\\_SDET\\_32.pdf](https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/134/1/2012_SDET_32.pdf). Acesso em: 12/02/2022.
- ARAUJO JUNIOR, G do.; GOMES, F. T. SILVA, M. J. da.; JARDIM, A. M. F da.; SIMÕES, V. J. L. M. P.; IZIDRO, J. L. P. S.; LEITE, M. L de. M. V.; TEIXEIRA, V. I.

SILVA, T. G. F da. Estresse hídrico em plantas forrageiras: uma revisão. **PUBVET**, v.13, n.1., p.1-10, 2019.

ARAUJO, A. F. B. **Demanda de água em sistemas de produção agrícola e seus impactos: ambientais e financeiros**. U.F.C. Fortaleza, Dissertação, 2009.

ARAUJO, C. D. **Potencial de reuso agrícola no entorno de lagoas de estabilização operadas pela companhia de saneamento no Estado do Ceará**. Monografia, Fortaleza, Centro Universitário Farias Brito, 2019.

ARAUJO, J. C de. Recursos hídricos em regiões semiáridas. In: GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. da S.; MEDEIROS, S.; GALVÃO C. de O. **Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações**. INSA. UFRB. Cruz das Almas. 2012, p.39.

ARAUJO, W. P. **Trocas gasosas em cultivares de algodoeiro herbáceo sob estratégias de aplicação de déficit hídrico**. UFCG. Campina Grande, Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola – Irrigação e Drenagem), Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. 2018.  
ASA – Articulação Semiárido Brasileiro. **Semiárido: é no semiárido que a vida pulsa**. Disponível em: [www.asabrasil.org.br/semiárido](http://www.asabrasil.org.br/semiárido). Acesso: 17/12/2021.

AZEVEDO, M. R. de Q. A.; KÖNIG, A.; BELTRÃO, N. E. de M.; CEBALLOS, B. S. O. de; AZEVEDO, C. A. V. de; TAVARES, T. de L. Características tecnológicas da fibra do algodão herbáceo sob efeito de adubação nitrogenada e irrigação com água residuária tratada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, (suplemento), p.202-206, 2005.

BARRETO, L. V.; BARROS, F. M.; BONOMO, P.; ROCHA, F. A.; AMORIM, J. da S. Eutrofização em rios brasileiros. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.16, 2013.

BARROSO, L. B.; WOLFF, D. B. Reúso de esgoto sanitário na irrigação de culturas agrícolas. **Revista Engenharia Ambiental**, v.8, n.3, p.225-236, 2011.

BÉLOT, J. L.; VILELA, P. M. C. A. **Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso**. IMAmt, AMPA. Cuiabá, 4ª Edição, Safra 2019/2020, 2020. Disponível em: <http://www.casadoalgodao.com.br/images/publicacoes/manualdeboaspraticas2020-4ed-vf-web.pdf>. Acesso em: 12/02/2022.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J.; I. MULLER, A.; G. FRANÇA, S.; SANTOS A. O. RADIN, B.; BIIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.2, p.243-249, 2006.

BRITO, L. T. de L.; CAVALCANTI, N. de B.; SILVA, A. de S.; PEREIRA, L. A. Produtividade da água de chuva em culturas de subsistência no Semiárido Pernambucano. **Engenharia de Água e Solo**, v.32, n.1, p.102-109, 2012.

BRUNINI, R. G. TURCO, J. E. P. **Irrigação complementar ou suplementar da cana de açúcar**. Revista Cultivar. Pelotas, edição 196 da Cultivar grandes culturas, 28/02/2020.

Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/irrigacao-complementar-ou-suplementar-da-cana-de-acucar>. Acesso: 17/01/2022.

CAMPOS, J. N. B.; STUDART, T. M de.; C. MARTNZ, D. D. G.; NASCIMENTO L. S. V. **Sobre a eficiência de pequenos e grandes reservatórios**. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/9304>. Acesso em: 28/01/2022.

CARVALHO, I. R.; KORCELSKI, C.; PELISSARI, G.; HANUS, A. D.; ROSA, G. M da. Demanda hídrica das culturas de interesse agrônômico. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.17, p.969, 2013.

CARVALHO, L. P. DE. **Brasil poderá produzir algodão de fibra longa para tecidos de luxo**. EMBRAPA. Campina Grande. Embrapa Algodão (PB), NOTÍCIAS, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/3272256/>. Acesso em: 20/06/2022.

CAVALCANTE, E. S.; LACERDA, C. F.; COSTA, R. N. T.; GHEYI, H. R.; PINHO, L. L.; BEZERRA, F. M. S.; OLIVEIRA, A. C.; CANJÁ, J. F. Supplemental irrigation using brackish water on maize in tropical semi-arid regions of Brazil: yield and economic analysis. **Scientia Agricola**, v.78, SUPPL. 1, 2021.

CEARÁ COMPETITIVO. **Colheita do algodão no Ceará deverá bater recorde de produtividade. Governo do Estado do Ceará**. Fortaleza, 13 de setembro de 2021. Disponível em: [ceara.gov.br/2021/09/13/colheita-do-algodao-no-ceara-dever%C3%A1-bater-recorde-de-produtividade](http://ceara.gov.br/2021/09/13/colheita-do-algodao-no-ceara-dever%C3%A1-bater-recorde-de-produtividade).

CETIN, O.; BILGEL, L. Effects of different irrigation methods on shedding and yield of cotton. **Agricultural Water Management**, v.54, n.1, p.1–15, 2002.

CHAVES, M.; M. FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v.103, p. 551-560, 2009.

CHEN, L.; WANG, L.; Wu, X.; DING, X. A process-level water conservation and pollution control performance evaluation tool of cleaner production technology in textile industry. **Journal Cleaner Production**, v.143, p.1137–1143, 2017.

CORDÃO, M. A.; ARAÚJO, W. P.; PEREIRA, J. R.; ZONTA, J. H.; LIMA, R. F. de.; FERREIRA, F. N. Cultivares de algodoeiro herbáceo sob déficit hídrico aplicado em fases fenológicas. **Revista Verde**, v.13, n.3, p.313-321, 2018.

COSTA, Z. V. B.; GURGEL, M. T.; COSTA, L. R.; ALVES, S. M. C.; FERREIRA NETO, M.; BATISTA, R. O. Efeito da aplicação de esgoto doméstico primário na produção de milho no assentamento Milagres. **Revista Ambiente & Água**, v.9, n.4, p.737-751, 2014.

CUNHA, G. H. de M. O algodão na economia da província do Ceará durante o século XIX: algumas considerações sobre a sua importância. **Revista de Desenvolvimento Econômico**, v.3, n.47, p.211-240. 2020.

ELIFANTZ, H.; KAUTSKY, L.; MOR-YOSEF, M.; TARCHITZKY, J.; BAR-TAL, A.; CHEN, Y. N. Microbial activity and organic matter dynamics during 4 years of irrigation with treated wastewater. **Microbial Ecology**, v.62, p.973–981. 2011.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Algodão. **Cultura do algodão herbáceo na agricultura familiar**. Sistema de produção 1, Brasília, ed 3. Fev. 2014. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 18/01/2022.

EMBRAPA. **Conhecimento, tecnologia e inovação**. Petrolina, Embrapa Semiárido, p.83, 2014. Disponível em: [www.cpatsa.embrapa.br](http://www.cpatsa.embrapa.br), Acesso: 21/12/2021.

EPRS - European Parliamentary Research Service. Irrigation in: agriculture. 12p, 2019. Disponível:[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/644216/EPRS\\_BRI\(2019\)644216\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/644216/EPRS_BRI(2019)644216_EN.pdf)- Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Land use indicators**. 2017. Home, Available 2020.<<http://www.fao.org/faostat/en/#data/EL/visualize>>.

ETENE, Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste. **Algodão: produção e mercado**. Banco do Nordeste. Fortaleza, Ano 6, nº 166, maio 2021. Disponível em: [https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/808/1/2021\\_CDS\\_166.pdf](https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/808/1/2021_CDS_166.pdf). Acesso em: 18/01/2022.

ETENE, Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste. **Algodão: produção e mercado**. Banco do Nordeste. Fortaleza, Ano 6, nº 166, Maio 2021. Disponível em: [https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/808/1/2021\\_CDS\\_166.pdf](https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/808/1/2021_CDS_166.pdf). Acesso em: 18/01/2022.

FAO no Brasil. **Dia mundial das águas: FAO apela a inovação nas tecnologias da água para aumentar a eficiência no uso da água. Cabo Verde: Fórum Internacional sobre Escassez de Água na Agricultura. (WASAG)**, organizado pela FAO, 2019. Disponível: <http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1186500/>. Acesso em: 27/09/2021.

FAO no Brasil. **Dia mundial das águas: FAO apela a inovação nas tecnologias da água para aumentar a eficiência no uso da água. Cabo Verde: Fórum Internacional sobre Escassez de Água na Agricultura. (WASAG)**, organizado pela FAO, 2019. Disponível: <http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1186500/>. Acesso: 27/09/2021.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v.37, n.4, p.529-535, 2019.

FIDELES FILHO, J.; NÓBREGA, J. Q.; SOUSA, J. T de.; DANTAS, J. P. Comparação dos efeitos de água residuária e de poço no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.328-332, 2005.

FLAVIANA, G. da S.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M de.; FILGUEIRAS, L. M. B.; MELO, A. S de. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.10, p.946-952. 2015.

FOYER, C. H.; BLOOM, A. J.; QUEVAL, G.; NOCTOR, G. Photorespiratory Metabolism: Genes, Mutants, Energetics, and Redox Signaling. **Annual Review Plant Biology**, v.60, p.455-484, 2009.

FRENK, S., HADAR, Y., and MINZ, D. Resilience of soil bacterial community to irrigation with water of different qualities under Mediterranean climate. **Environmental Microbiology**, v.16, p.559–569, 2014.

GALVÃO, C. O. (eds.). **Recursos hídricos em regiões semiáridas**. Cruz das Almas: INSA/UFRB, 2011. Cap. 4, p.88-110.

GASPARI, L.C.; KHATOUNIAN, C.A. Características das famílias, estruturação da produção e estratégias de comercialização em um assentamento de reforma agrária. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.54, n2, p.243-260, 2016.

GATICA, J.; CYTRYN, E. Impact of treated wastewater irrigation on antibiotic resistance in the soil microbiome. **Environmental Science and Pollution Research**, v.20, p.3529–3538, 2013.

GOMES, K. R.; SANTOS, E. M. dos; SOUZA, G. G. de.; VIANA, T. V. de A.; MONTEIRO, F. J. F.; COSTA, F. R. B. **Influência da irrigação e fertilizações orgânica e mineral nas trocas gasosas da cultura do girassol**. III INOVAGRI International Meeting. Fortaleza, iii inovagri.2015 a-288. 2015. Disponível em: DOI: <http://dx.doi.org/10.12702/iii.inovagri.2015-a288>. Acesso em: 26/04/2022.

GONDIN, R. S.; FUCK JUNIOR, S. C de. F.; MAIA, A de. H. N.; EVANGELISTA, R. S. M. **Balço hídrico na bacia do Jaguaribe, Ceará, utilizando evapotranspiração de referencia Penman-Monteith FAO estimada com dados mínimos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 48 p. 2010. On Lina. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Agroindústria Tropical, ISSN 1679-6543; 36).

GUO, K.; Tu, L.; He, Y.; DENG, J.; WANG, M.; HUANG, H.; Li, Z.; ZHANG, X. Interaction between calcium and potassium modulates elongation rate in cotton fiber cells. **Journal Experimental Botany**, v.68, p.5161–5175, 2017.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 2017**. Rio de Janeiro, Resultados Definitivos, v. 8, p. 1-105, 2019. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro\\_2017\\_resultados\\_definitivos.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf). Acesso: 23/12/2021.

JASECHKO, S.; PERRONE, D. Global Groundwater Wells at Risk of Running dry. **Science**, v.372, p.418–421, 2021.

JIMENEZ, B.; CHÁVEZ, A. Quality assessment of an aquifer recharged with wastewater for its potential use as drinking source: “El Mezquital Valley” case. **Water Science Technology**, v.50, p.269–276, 2004.

JUESCHKE, E.; MARSCHNER, B.; TARCHITZKY, J.; CHEN Y. Effects of treated wastewater irrigation on the dissolved and soil organic carbon in Israeli soils. **Water Science Technology**, v.57, p.727–733. 2008.

KIZILOGLU, F.; TUEAN, M.; SAHIN, U.; ANGIN, I.; ANAPALI, O.; OKUROGLU, M. Effects of wastewater irrigation on soil and cabbage-plant (*Brassica oleracea* var. capitata cv. Yavola-1) chemical properties. **Journal Plant Nutrition Soil Science**, v.170, p.166–172, 2007.

LACERDA, C. F.; OLIVEIRA, E. VICTOR.; NEVES, A. L. R.; GHEYI, H. R.; BEZERRA, M. A.; COSTA, C.A.G. Morphophysiological responses and mechanisms of salt tolerance in four ornamental perennial species under tropical climate. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.24, p.656-663, 2020.

LIMA, B. L. C.; SILVA, Ê. F. F.; ZONTA, J. H.; CORDÃO TERCEIRO NETO, C. P.; LACERDA, C. F.; FERREIRA, J. F. S.; CRUZ, F. J. R. Irrigation with Wastewater and K Fertilization Ensure the Yield and Quality of Coloured Cotton in a Semiarid Climate. **Agronomy**, v.11, p.2370, 2021.

LIMA, M. M. de.; AZEVEDO, C. A. V. de.; BELTRÃO, N. E. de M.; NETO, J. D. N.; GONÇALVES, C. B.; SANTOS, C. G. da F. Nitrogênio e promotor de crescimento: efeitos no crescimento e desenvolvimento do algodão colorido verde. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3., 2006.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C. de. **Efeitos do estres hídrico na produção de grãos e na fisiologia da planta de milho**. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 51, 37p, 2012.

MAÑAS, P.; CASTRO, E.; HERAS, J. De. Irrigation with treated wastewater: effects on soil, lettuce (*Lactuca sativa*) crop and dynamics of microorganisms. **Journal of Environmental Science and Health**, v.44, p.1261–1273, 2009.

MANIÇOBA, R. M; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; ZONTA, J. H.; CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; OLIVEIRA, A. K. S. de; FREITAS, I. A. da S. Resposta do algodoeiro à supressão hídrica em diferentes fases fenológicas no semiárido brasileiro. Botucatu. **Irriga**, v.26, n.1, p.123-133, 2021.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. MMA. Brasília, Serie Biodiversidade, 212p, v.26, 2006.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v.129, p.1189–1200, 2017.

MARENGO, J. A.; VALVERDE, M. C. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista Multi Ciência**, n.8, 2007.

- MATTOS, L. C.; MATTOS, J. L. S. de.; BLACKBURN, R.; SANTIAGO, F. dos S.; MENEZES NETO, J. B. de. A saga do algodão no semiárido nordestino: histórico, declínio e as perspectivas de base agroecológica. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 55, p.556-580, Edição especial - Sociedade e ambiente no Semiárido: controvérsias e abordagens, dez. 2020.
- MEDEIROS, J. F. de.; GHEY, H. R.; COSTA, A. R. F. C. da.; TOMAZ, H. V. de; Manejo do solo-agua-plantas em áreas afetadas por sais. In: GHEY, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F.; FILHO, E. G.; **Manejo da Salinidade na Agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2.ed. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2016, p.319-393.
- MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; NEVES, J. C. L.; MATOS, A. T.; SOUZA, J. A. A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola ambiental**, v.9, n.4, p.603-612, 2005.
- MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. The Green, Blue and Grey Water Footprint of Crops and Derived Crop Products. **Hydrology Earth Syst. Science**, v.15, p.1577–1600, 2011.
- MELO JUNIOR, J.C.F.; SEDIYAMA, J.C.; FERREIRA, P.A.; LEAL, B.G.; MINUSI, R.B. Distribuição espacial da frequência de chuvas na região hidrográfica do Atlântico, Leste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.2, 2006.
- MELO, R. F. de.; BIANCHINI, P. C.; OLVEIRA, A. R. de.; SILVA, P. T. de S.; SILVA A. F. PURIFICAÇÃO, I. A. da. **Efeitos da irrigação suplementar com águas cinzas nas características químicas do solo em quintais produtivos em Triunfo Pe**. Embrapa Semiárido. Sergipe, Anais de congresso, Caderno de Agroecologia, v. 15, n. 2, 2020.
- MELO, R. F. de.; SIMÕES, W. L.; PEREIRA, L. A.; BRITO, L. T. de L.; FERREIRA, E. P. BARROS, L. C. de.; RIBEIRO, P. E. de A. **Água para o fortalecimento dos sistemas agrícolas dependentes de chuva**. In: MELO, F.; L. VOLTOLINE, T.; V. **Agricultura familiar dependente de chuva no semiárido**. Brasília, Embrapa, 2019.
- MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B.; LIMA, R. A. F. A. Veranico e a produção agrícola no estado da Paraíba, Brasil. Campina Grande. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.2, p.181-186, 2010.
- MENEZES, H. E. A.; MEDEIROS, R. M. de.; SANTOS, J. L. G.; LIMA, T. S.; PIMENTA, T. A. Influência de veranico na produção agrícola no município de Santa Filomena, Piauí, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.10, n.4, p.21-25, 2015.
- MENEZES, H. E. A.; SANTOS, M. X. dos. **Pesquisa em agricultura de sequeiro no trópico semi-árido brasileiro**. EMBRAPA, Petrolina, Documento elaborado para o 1º Encontro de Engenheiros Agrônomos do Piauí, 11-14 de outubro de 1981.

MONTEIRO, J. E. B. A.; SENTELHAS, P. C.; CHIAVEGATO, E. J.; GUISELINI, C.; SANTIAGO, A. V.; PRELA, A. Estimacão da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. **Bragantia**, v.64, n.1, p.15-24, 2005.

MOURA, P. G.; ARANHA, F. M.; HANDAM, N. B.; MARTIN, L. E.; SALLES, M. J.; CARVAJAL, E.; JARDIM, R.; MARTINS, M. A. S. gua de reuso: uma alternativa sustentável para o Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.25, n.6, p.791-808, 2020.

NANGIA, V.; OWEIS, T.; KEMEZE, F. H.; SCHNETZER, J. **Supplemental irrigation: A promising climate-smart practice for dryland agriculture. Climate-Smart Agriculture Practice Brief**. Wageningen, Netherlands: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS), 2018.

NASCIMENTO, J.; dos S. SOUZA, T.; A. IDELES FILHO, J. BEIRIGO, R.; M. Avaliaco do crescimento, desenvolvimento e produo do algodão irrigado com água de esgotos sanitários tratados. **Agropecuária Cientifica no Semiárido**, v.14, n.4, p.331-338, 2018.

NEIVA, T. S. Potencial de reuso na agricultura da água residuária da estaco de tratamento limoeiro. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v.2, n.2, 2015.

OLIVEIRA, A. C.; ARAUJO, A. F. B.; LACERDA, C. F.; CANJ, J. F.; PINHO, L. L.; SOUSA, N. I. G. Influência da irrigaco suplementar com águas residuárias sobre as trocas gasosas foliares do algodoeiro. **IRRIGA**, [S. l.], v.25, n.4, p.677–682, 2020.

OLIVEIRA, A. D. de.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. de J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.1, p.86-95, 2005.

PAPASTYLIANOU, P.T.; ARGYROKASTRITIS, I.G. Effect of limited drip irrigation regime on yield, yield components, and fiber quality of cotton under mediterranean conditions. **Agricultural Water Management**, v.142, p.127–134, 2014.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. do N.; LUCAS. A. A. T.; SANTOS, P. B. dos. **Causas e consequências do processo de salinizaco dos solos**. v.19, N 2, p. 1.308-1.324. Santa Maria: Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas, UFSM, 2016. Disponível em: file:///C:/Users/user/Downloads/16544-87532-1-PB.pdf. Acesso: 28/03/2022.

PEGORARE, A. B.; FEDATTO, E.; PEREIRA, S. B.; SOUZA, L. C. F.; FIETZ, C. L. Irrigaco suplementar no ciclo do milho “safrinha” sob plantio direto. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.3, p.262-271, 2009.

PEREIRA, G. R. **Correlaco entre as secas e as perdas na agricultura de sequeiro no semiárido nordestino**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Centro Regional do Nordeste. Natal. CONADIS – Congresso Nacional da Diversidade do Semiárido. 2018.

PEREIRA, J. R.; ARAUJO, W. P.; BEZERRA, J. R. C.; CORDÃO, M. A.; ZONTA, J. H.; ALMEIDA, E. S. A. B de; FERREIRA, F. N.; LIMA, R. F de. **Trocas gasosas no algodoeiro herbáceo sob déficit hídrico aplicado em suas diferentes fases fenológicas**. CNPA –

Embrapa Algodão. UFCG – Universidade Federal de Campina Grande. Maceió, In: 11º CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO. 2017.

PILAU, F. G.; BATISTI, R.; DALMAGO, G. A. Requerimento de irrigação suplementar e eficiência climática para cultura da soja no Rio Grande do Sul. **Revista da Sociedade Brasileira de Agrometeorologia**, v.26, n.2, p.317-325, 2018.

ROCHA, T. B. C.; JUNIOR, F. das C. V.; SILVEIRA, C. da S.; MARTINS, E. S. P. R.; SILVA, R. F. V. S. Veranicos no Ceará e aplicações para agricultura de sequeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.35, n.3, p.435-447, 2020.

SANTANA, J. C. F.; WANDERLEY, M. J. R.; BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P.; LEÃO, A. B.; VIEIRA, D. J. Características da Fibra e do Fio do Algodão. In: **O Agronegócio do Algodão no Brasil**. BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. Eds.; Embrapa Informação Tecnológica: Brasília, Brasil, 2008; pp. 1099–1120.

SANTOS JÚNIOR, J. A.; LACERDA, C. F de.; GHEYI, H. R. Fontes de águas salobras no semiárido brasileiro: ocorrência e caracterização química. In: PAULO CERQUEIRA, R.; S. LACERDA, C. F. de. ARAUJO, G. G. L. de. GHEYI, H. R. SIMÕES, W. L. **Agricultura irrigada em ambientes salinos**. Codevasf. Brasília, v.II, p.140. 2021.

SANTOS, D. B. dos.; SANTANA, G. da S.; AZEVEDO, D. de O.; SILVA, A. J. P. da.; NETO, M. D. da S. Captação de água de chuva para fins agropecuários no semiárido. In: GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. da S.; MEDEIROS, S. de S.; GALVÃO, C. de O. **Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações**. Campina Grande: INSA: UFRB, 2012, p.77.

SANTOS, M. L. de S.; MELO, de R. F.; ANJOS, J. B dos; PEREIRA, L. A. **Irrigação suplementar “de salvação” na produção de frutíferas em barragem subterrânea**. Petrolina. 2015.

SANTOS, P. F.; PEDREIRA, I. A.; SOUZA, A. C. de.; SILVA, E. H. B. C. **Potencial de utilização da água residuárias no município de Feira de Santana para o cultivo do milho**. Bento Gonçalves, 6º Congresso Internacional de Tecnologia para o Meio Ambiente, 10 a 12 de abril de 2018.

SANTOS, S. R.; SOARES, A. A.; KONDO, M. K.; MATOS, A. T.; MAIA, V. M. Indicadores de Produção e Qualidade da Fibra do Algodoeiro Fertirrigado com Água Residuária Sanitária. **Engenharia Agrícola**, v.36, p.525–536, 2016.

SCHWERZ, T.; JAKELAITIS, A.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; TAVARES, C. J. Produção de girassol cultivado após soja, milho e capim-marandu, com e sem irrigação suplementar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.5, p.470–475, 2015.

SEDET – Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Trabalho. **Acesso à informação – Perguntas frequentes**. 2019. Disponível em: <<https://www.sedet.ce.gov.br/acesso-a-informacao/>>. Acesso em: Abril 2020.

SIEBE, C. Heavy metal availability to plants in soils irrigated with wastewater from Mexico City. **Water Science Technology**, v.32, p.29–34, 1995.

SILVA JUNIOR, E. G. da. **Mecanismos fotossintéticos e osmoproteção induzidos por silício em plantas de mamoeiro sob déficit hídrico**. Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, Dissertação de Mestrado 60p. Pró-Reitoria de Pós Graduação e Pesquisa, 2018.

SILVA NETO, B.; DEZEN, M.; SANTOS, P. E. O conceito de reprodução social na análise de unidades de produção agropecuária. **Teoria e Evidência Econômica**, v.15, n.32, p.87-108, 2009.

SILVA, A. de S.; PORTO E. R.; GOMES, P. C. F. **Seleção de áreas e construções de barreiros para uso de irrigação de salvação no trópico semiárido**. EMBRAPA-CPTASA. Petrolina. Circular Técnica 3, 43p. 1981.

SILVA, I. P. F.; JUNIOR, J. F. S.; ARALDI, R.; TANAKA, A. A.; GIROTTO, M.; BOSQUÊ, G. G.; LIMA, F. C. C. Estudo das fases fenológicas do algodão. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Ano X, nº 20,

SILVA, M. M. da.; MEDEIROS, P. R. F. de.; SILVA, E. F. de F. Reuso da Água Proveniente de Esgoto Doméstico Tratado Para Produção Agrícola no Semiárido Pernambucano. In: GHEYI H. R.; PAZ, V. P. da S.; MEDEIROS, S. de.S.; GALVÃO, C. de O. **Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações**. Campina Grande: INSA: UFRB, 2012, p.156-16.

SILVA, M. N. B da.; ALVES, G. da S.; ALVES, J. S. JUNIOR, W. **Manejo cultural do algodoeiro agroecológico no semiárido brasileiro**. EMBRAPA. Campina Grande, Circular Técnica 126, junho 2009.

SILVA, V. P. R. da; GUEDES, M. J. F.; LIMA, W. F. A.; CAMPOS, J. H. B. C. SILVA J. L. de A.; GURGEL M. T.; MOTA, A. F.; AZEVEDO, J de; COSTE R. L da. Influência da água residuária de origem doméstica no crescimento inicial do melão ‘amarelo ouro’. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.8, n.4, p.16-22, 2012.

SOARES, D. B.; NÓBREGA, R. S. Detecção de tendências na ocorrência de veranicos na microrregião do Pajeú – Pe. **Revista de Geografia**, v.26, n.3, 2009.

SOUZA, A. P de.; PEREIRA, J. B. A.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.; CARVALHO, D. F de.; Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.33, n.1, p.15-22, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Plant physiology and development**. 6.ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2017. 761p.

TAVARES, V. C.; ARRUDA, I. R. P. de; SILVA, D. G. da. Desertificação, mudanças climáticas e seca no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. **GEOSUL**, v.34, n.70, p.385-405, 2019.

TESTI, L.; GOLDHAMER, D. A.; INIESTA, F.; SALINAS, M. Crop water stress index is a sensitive water stress indicator in pistachio trees. **Irrigation Science**, v.26, p.395–405, 2008.

TRENTIN, R.; ZOLNIER, S.; RBEIRO, A.; NETO, A. J. S. Transpiração e temperatura foliar da cana-de-açúcar sob diferentes valores de potencial matricial. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.6, p.10885-1095, 2011.

UZEN, N.; CETIN, O.; UNLU, M. Effects of Domestic Wastewater Treated by Anaerobic Stabilization on Soil Pollution, Plant Nutrition, and Cotton Crop Yield. **Environmental Monitoring Assessment**, v.188, p.664, 2016.

VERAS, M. L. M.; ALVES, L. de S.; IRINEU, T. H. da S.; LIMA, V. L. A.; Ó, K. D. S do.; ANDRADE, R. Resposta do girassol à irrigação e aplicação de fertilizantes orgânicos. **Irriga**, v.25, n1, p.46-57, 2020.

VIEIRA, V. P. P. B. Sustentabilidade do Semiárido Brasileiro: Desafios e Perspectivas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, v.7 n.4, p. 105-112, out/dez, 2002.

WHO. **Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards**. Report of a WHO Meeting of Experts. Geneva, World Health Organization (Technical Report Series No. 517), 1973.

ZAILTON, V. B. da C.; GURGEL, M. T.; COSTA, L. R.; ALVES, S. M. C.; NETO, M. F.; BATISTAM R. O. Efeito da aplicação de esgoto doméstico primário na produção de milho no assentamento de Milagres (Apodi RN). **Revista Ambiente e Água**, v.9, n.4, 2014.

ZANINELLI, P. G.; MENÉNDEZ, D. G.; FALCO, M.; FRANCA, N. L.; CARRIL, A. F. Future hydroclimatological changes in South America based on an ensemble of regional climate models. **Climate Dynamics**, v.52, n.1/2, p.819–830, 2019.

ZHANG, D.; LUO, Z.; LIU, S.; LI, W.; TANG, W.; DONG, H. Effects of deficit Irrigation and Plant Density on the growth. Yield and Fiber Quality of Irrigated Cotton. **Field Crop Research**, v.197, p.1–9, 2016.

ZONTA J.; H. BRANDÃO, Z.; N. RODRIGUES, J.; I.; da S. SOFIATTI, V. Resposta do algodoeiro ao déficit hídrico em diferentes fases de crescimento. Mossoró. **Revista Caatinga**, v.30, n.4, p.980-990, 2017.

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