



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM AGRONOMIA**

DANIEL RODELA RODRIGUES

**CRESCIMENTO RADICULAR E SUA RELAÇÃO COM AS TROCAS GASOSAS,
PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA FIBRA DO ALGODOEIRO CULTIVADO EM
ROTAÇÃO DE CULTURAS**

Presidente Prudente - SP
2022



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM AGRONOMIA**

DANIEL RODELA RODRIGUES

**CRESCIMENTO RADICULAR E SUA RELAÇÃO COM AS TROCAS GASOSAS,
PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA FIBRA DO ALGODOEIRO CULTIVADO EM
ROTAÇÃO DE CULTURAS**

Dissertação apresentada a Pró-Reitoria de pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de concentração: Produção Vegetal.

Orientador: **Ciro Antônio Rosolem**

Presidente Prudente - SP
2022

631.5
R696c

Rodrigues, Daniel Rodela.

Crescimento radicular e sua relação com as trocas gasosas, produtividade e qualidade da fibra do algodoeiro cultivado em rotação de culturas / Daniel Rodela Rodrigues. – Presidente Prudente, 2022.

58 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia.) -
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente
Prudente, SP, 2022.

Bibliografia.

Orientador: Ciro Antônio Rosolem .

1. Sistema radicular. 2. Física do solo. 3.
Fotossíntese. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “CRESCIMENTO RADICULAR E SUA RELAÇÃO COM AS TROCAS GASOSAS, PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA FIBRA DO ALGODOEIRO CULTIVADO EM ROTAÇÃO DE CULTURAS”

AUTOR(A): DANIEL RODELA RODRIGUES

ORIENTADOR(A): Dr. CIRO ANTONIO ROSOLEM

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE em AGRONOMIA

Área de Concentração PRODUÇÃO VEGETAL, pela Comissão Examinadora:



Dr. Alexandre Cunha de Barcellos Ferreira

EMBRAPA ALGODÃO – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Santo Antônio de Goiás (GO)



Dr. Ciro Antonio Rosolem

UNESP – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Botucatu (SP) -
UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)



Dr. Fábio Rafael Echer

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

Data da realização: Presidente Prudente, 29 de junho de 2022.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Rodnei Rena Rodrigues e Claudia Cristina Rodela Rodrigues por todos os ensinamentos e conselhos. Ao meu irmão, Gabriel Rodela Rodrigues e minha namorada Gabriel Fiorentino da Silva. A toda minha família que sempre torceram e rezaram por mim. Meu muito obrigado, amo todos vocês.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

A minha mãe Claudia Cristina Rodela Rodrigues, por toda dedicação e ensinamento que me passou. Ao meu pai Rodnei Rena Rodrigues, pelos conselhos e apoio. Ao meu irmão pela amizade e confiança.

A minha namorada Gabriela Fiorentino da Silva, por todo apoio e ajuda durante o meu trabalho.

A toda minha família por todas as orações, apoio e ensinamento.

Ao meu professor e líder do grupo de estudo Dr. Fábio Rafael Echer e ao meu orientador Ciro Antônio Rosolem, pelos ensinamentos, apoio e dedicação para realizarmos um trabalho com seriedade.

A todos os integrantes do Grupo de Estudo do Algodão por toda ajuda e dedicação com o trabalho. Em especial ao aluno Carlos Felipe dos Santos Cordeiro, por me ajudar e auxiliar em ideias e parte de campo.

A Universidade do Oeste Paulista, juntamente com o Programa de Pós-Graduação e os docentes, pela estrutura e conhecimento fornecido.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, concedido através da bolsa de estudos.

*“Cada sonho que você deixa para trás,
é um pedaço do seu futuro
que deixa de existir”. (Steve Jobs)*

RESUMO

Crescimento radicular e sua relação com as trocas gasosas, produtividade e qualidade da fibra do algodoeiro cultivado em rotação de culturas

A rotação de culturas e o uso de plantas de cobertura podem melhorar as condições físicas do solo, favorecendo o crescimento radicular do algodoeiro e a redução do impacto da deficiência hídrica na produtividade, comum em solos arenosos. O presente projeto tem como objetivo avaliar o crescimento radicular, o status hídrico, a produtividade e a qualidade do algodoeiro cultivado em sistemas de rotações de culturas. O estudo foi realizado em duas safras (2019/2020 e 2020/2021). Os tratamentos constaram de plantas de cobertura: forrageira (*Urochloa ruziziensis* solteira); MIX (*Urochloa ruziziensis*+milheto+mucuna preta); consórcio 1 (milheto+mucuna preta) e consórcio 2 (*Urochloa ruziziensis*+milheto) e controle (vegetação espontânea, sem revolvimento do solo). O uso de plantas de cobertura maximizou a produtividade, porém não resultou em diferença na qualidade de fibra do algodoeiro. A associação de gramíneas com leguminosa proporcionou maior pegamento de capulhos. Na ausência de plantas de cobertura, o índice de área foliar foi maior, porém não resultou em maior massa de matéria seca da parte aérea. O uso de *Urochloa ruziziensis* proporcionou maior comprimento, massa de matéria seca e percentagem de raízes grossas do algodoeiro. A massa da matéria seca da parte aérea das plantas de cobertura foi maior quando utilizado o MIX de plantas de cobertura. Contudo, o uso de *Urochloa ruziziensis* solteira resultou em maior comprimento, massa de matéria seca e porcentagem de raízes mais grossas. O status hídrico do algodoeiro, em ano de maior precipitação pluvial o mix e forrageira resultaram em valores mais baixos para fotossíntese líquida, condutância estomática, concentração intercelular de CO₂ e transpiração. Em ambos os anos, o tratamento forrageira apresentou menor teor de prolina foliar. O uso de plantas de cobertura reduziu a densidade do solo, principalmente quando utilizadas espécies de raízes agressivas. O uso da *Urochloa ruziziensis* solteira resultou em menor concentração de prolina em ambos os anos. O consórcio da *Urochloa ruziziensis* com uma gramínea ou leguminosa proporciona maior crescimento radicular do algodoeiro e menor perda de produtividade.

Palavra chave: Sistema radicular, física do solo, fotossíntese, status hídrico.

ABSTRACT

Root growth and its relationship with gas exchange, yield and fiber quality of cotton grown in crop rotation

Crop rotation and the use of cover crops can improve soil physical conditions, favoring root growth of cotton, reducing the impact of water deficiency on productivity, common in sandy soils. The present project aims to evaluate the root growth, water status, yield and quality of cotton grown in crop rotation systems. The study was conducted for two crops (2019-2021). The design was in randomized block design with five repetitions. The treatments were: forage; MIX; consortium 1 and consortium 2 and control. The use of cover crops (intercropped or single) maximized yield, but did not result in a difference in the quality of cotton fiber. The association of grasses with leguminous plants provided greater clumping. In the absence of cover crops, the leaf area index (LAI) was higher, but did not result in greater weight of aboveground dry matter. The use of grasses with aggressive root system provided greater length, dry matter and percentage of thicker cotton roots. The aerial dry matter of the cover crops was greater when the MIX of cover crops was used. However, the use of *Urochloa ruziziensis* alone resulted in greater length, dry matter and percentage of thicker roots. Regarding the water status of the cotton plant, in year of higher precipitation there was variation regarding net photosynthesis (A), stomatal conductance (gs), intercellular CO₂ concentration (Ci) and transpiration (E) where the mix and forage plant obtained lower values. In both years, the use of single grass showed lower leaf proline content. The use of cover crops reduced soil density, especially when using aggressive root species. The use of *Urochloa ruziziensis* alone resulted in lower proline concentration in both years. The intercropping of *Urochloa ruziziensis* with a grass or legume provides greater root growth of cotton and less yield loss.

Keywords: Root system, soil physics, photosynthesis, water status.

LISTA DE SIGLAS

A	– Fotossíntese Líquida
Ci	– Concentração intercelular de CO ₂
Comp	– Comprimento
DAE	– Dias Após Emergência
E	– Transpiração
Gs	– Condutância estomática
IAF	– Índice de Área Foliar
Mat	– Maturidade
Mic	– Micronaire
PMC	– Peso Médio de Capulhos
Resist	– Resistência
SFI	– Índice de fibra curta
SSD	– Sistema de Semeadura Direta

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Precipitação, temperatura máxima e mínima durante a condução do estudo na fazenda Experimental da Unoeste, 2019/2020 e 2020/2021.....	23
Figura 2 -	Comprimento radicular das plantas de cobertura antes da implantação do algodoeiro nas safras 2019/2020 e 2020/2021. Letras maiúsculas comparam os sistemas dentro de cada profundidade e letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada sistema. Médias seguidas de letras iguais não se diferenciam pelo teste de Tukey ($p>0,05$).....	27
Figura 3 -	Matéria seca (g m^{-3}) das raízes das plantas de cobertura antes da implantação do algodoeiro, safras 2019/2020 e 2020/2021. Letras maiúsculas comparam os sistemas dentro de cada profundidade, letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada sistema. Médias seguidas de letras iguais não se diferenciam pelo teste de Tukey ($p>0,05$).....	28
Figura 4 -	Massa de matéria seca da parte aérea do algodoeiro cultivado sobre diferentes rotações de culturas nas safras 2019/2020 e 2020/2021.....	31
Figura 5 -	Comprimento radicular do algodoeiro cultivado em diferentes sistemas de rotação de culturas, safras 2019/2020 e 2020/2021. Letras maiúsculas comparam os sistemas dentro de cada profundidade, letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada sistema. Médias seguidas de letras iguais não se diferenciam no teste de Tukey ($p>0,05$).....	32
Figura 6 -	Massa de matéria seca das raízes do algodoeiro cultivado em diferentes sistemas de rotação de culturas, safras 2019/2020 e 2020/2021. Letras maiúsculas comparam sistemas dentro de cada profundidade, letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada sistema. Médias seguidas de letras iguais não se diferenciam no teste de Tukey ($p>0,05$).....	33
Figura 7 -	Teor de prolina na folha do algodoeiro aos 70 DAE, após um período de 5 dias sem chuva, safras 2019/2020 e 2020/2021...	35
Figura 8 -	Produtividade de fibra (kg ha^{-1}) do algodoeiro cultivado em diferentes sistemas de rotação de culturas na safra de 2019/2020 e 2020/2021 na região de Presidente Bernardes – SP.....	36
Figura 9 -	Número de capulhos nos terços (Inferior, Médio e Superior) do algodoeiro cultivado em diferentes sistemas de rotação de culturas, safras 2019/2020 e 2020/2021.....	38
Figura 10 -	Densidade do solo (g cm^{-3}) em sistemas de rotação de culturas em diferentes profundidades do solo, safras 2019/2020 e 2020/2021. Letras maiúsculas comparam sistemas dentro de cada profundidade, letras minúsculas comparam profundidades dentro de cada sistema. Médias seguidas de letras iguais não se diferenciam no teste de Tukey ($p>0,05$).....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Sistemas de rotações de culturas adotados (antes da implantação) nos tratamentos do experimento durante das safras 2015/2016, 2016/2017, 2017/2018 e 2018/2019.....	22
Tabela 2 -	Caracterização química e física antes da implementação do experimento (2019).....	22
Tabela 3 -	Porcentagem do comprimento por classe de diâmetro (mm) das raízes das plantas de cobertura nas safras 2019/2020 e 2020/2021. Letras maiúsculas comparam os sistemas dentro de cada profundidade, letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada sistema. Médias seguidas de letras iguais não se diferenciam no teste de Tukey ($p>0,05$).	
Tabela 4 -	Massa de matéria seca e relação C/N da parte aérea das plantas de cobertura dos sistemas de rotação em 2019/2020 e 2020/2021.....	29
Tabela 5 -	Índice de área foliar (IAF) do algodoeiro cultivado em diferentes sistemas de rotação de culturas nas safras 2019/2020 e 2020/2021.....	30
Tabela 6 -	Porcentagem do diâmetro (mm) das raízes do algodão, safras 2019/2020 e 2020/2021. Letras maiúsculas comparam sistemas dentro de cada profundidade, letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada sistema. Médias seguidas de letras iguais não se diferenciam pelo teste de Tukey ($p>0,05$).....	33
Tabela 7 -	Médias dos dados de fotossíntese líquida (A), condutância estomática (Gs), concentração intercelular de CO ₂ (Ci) e transpiração (E) no algodoeiro (pleno florescimento) cultivado em diferentes sistemas de rotação de culturas, safras 2019/2020 e 2020/2021. Letras maiúsculas comparam sistemas dentro de cada profundidade, letras minúsculas comparam profundidades dentro de cada sistema. Médias seguidas de letras iguais não se diferenciam no teste de Tukey ($p>0,05$).....	34
Tabela 8 -	Potencial hídrico foliar do algodoeiro ao meio dia durante a safra de 2019/2020 em diferentes sistemas de rotação de culturas, safras 2019/2020 e 2020/2021.....	35
Tabela 9 -	Média dos componentes de produção, Rendimento (%), Micronaire (MIC), Comprimento (Comp), Resistência (Resist), Índice de fibras curtas (SFI) e maturidade (Mat) de fibra do algodoeiro cultivado em diferentes sistemas de rotação de culturas, safras 2019/2020 e 2020/2021.....	37
Tabela 10	Correção da fotossíntese líquida (A), Condutância estomática (Gs), número de capulhos (m ²), Produtividade de fibra e Comprimento radicular do algodoeiro (cm/cm ³) nas camadas de 0-20; 20-40; 40-60 e 60-80 cm, cultivado em diferentes sistemas de rotação de culturas, safras 2019/2020 e 2020/2021.....	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1	Aspectos gerais da cultura do algodoeiro.....	14
2.2	Sistema de Semeadura Direta.....	15
2.3	Estresse hídrico na cultura do algodoeiro.....	16
2.4	Produtividade e qualidade de fibra do algodoeiro.....	18
2.5	Sistema radicular do algodoeiro.....	19
3	OBJETIVO.....	21
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	22
4.1	Caracterização da área de estudo.....	22
4.2	Delineamento experimental.....	23
4.3	Manejo e avaliações das plantas de cobertura.....	24
4.4	Manejo e avaliações do algodoeiro.....	24
4.5	Análise dos dados.....	26
5	RESULTADOS.....	27
5.1	Produtividade, componentes de produção, qualidade de fibra e mapeamento do algodoeiro.....	27
5.2	Desenvolvimento da parte aérea e radicular do algodoeiro.....	30
5.3	Matéria seca e desenvolvimento radicular das planta de	
5.4	cobertura.....	34
5.5	<i>Status</i> hídrico do algodoeiro.....	36
5.6	Densidade do solo.....	38
	Correlação dos resultados.....	39
6	DISCUSSÃO.....	41
7	CONCLUSÃO.....	46
8	REFERÊNCIA.....	47

1 INTRODUÇÃO

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum*) é uma das principais *commodities* cultivadas no Brasil, com cerca de 1,3 milhão de hectares na safra 2020/2021 (CONAB, 2021). Os principais estados produtores são Mato Grosso e Bahia. Na Bahia, há predomínio de solos com textura média e arenosa, os quais estão mais sujeitos ao déficit hídrico, similar ao que ocorre na região Oeste de São Paulo. O déficit hídrico é o estresse que mais limita a produtividade das culturas, incluindo o algodoeiro (ZHU *et al.*, 2018). Dessa forma, técnicas de manejo desses solos devem ser adotadas para reduzir os riscos de produção nesses ambientes.

A água é o principal limitante para a produção agrícola mundial (DAS *et al.*, 2017). O algodoeiro quando exposto ao déficit hídrico reduz os níveis de proteína nas sementes; os processos fisiológicos e bioquímicos são alterados e a produtividade é reduzida (YU *et al.*, 2012). A severidade dos danos está relacionada com a intensidade, duração e estágio em que ocorre o déficit hídrico, sendo o período mais crítico o de pleno florescimento (KARL *et al.*, 2009). Kolahi *et al.* (2019) elataram que o suprimento hídrico adequado resulta em maior produtividade, estabilidade de produção e qualidade do algodoeiro. O déficit hídrico reduz o número de estruturas reprodutivas, o peso médio de capulhos e, conseqüentemente, a produtividade (PETTIGREW, 2004; LUO *et al.*, 2015). Assim, em ambientes de alto risco de produção e com uso impossibilitado de irrigação, as técnicas conservacionistas do solo como o sistema de semeadura direta (SSD) e a rotação de culturas, são fundamentais para dar estabilidade à produção.

A retenção de água no solo está relacionada com o tamanho das partículas, densidade, porosidade (HUBBARD *et al.*, 2013) e textura do solo (HAMARASHID *et al.* 2010; HASSINK, 2016). Parahyba *et al.* (2015) observaram que os solos arenosos possuem menor retenção e disponibilidade de água em função da maior quantidade de macroporos, o que facilita a infiltração da água, mas dificulta o seu armazenamento (REICHARDT, 1990). Assim, o aumento da agregação do solo pode melhorar o armazenamento e a disponibilidade de água às plantas, e reduzir o efeito de um período de estiagem.

A rotação de espécies de valor econômico (safra verão) com plantas de cobertura (safra inverno) melhoram a qualidade física do solo, porém isso depende

do tempo de implantação (MORAES *et al.*, 2016). As plantas de cobertura podem diminuir problemas relacionados à compactação do solo (ALVAREZ *et al.*, 2017). Como uma única espécie não pode oferecer todos os benefícios, a combinação de plantas de cobertura é uma alternativa para explorar as características individuais das espécies e favorecer o sistema de produção (TOSTI *et al.*, 2014), como observado por Wortman *et al.* (2012) em que a maior diversidade de plantas e a umidade do solo foram correlacionadas positivamente em um estudo de longo prazo.

As plantas de cobertura aumentam a macro e microporosidade e reduzem a densidade do solo na camada superficial do solo em sistema de semeadura direta (TORRES *et al.*, 2015), facilitando a infiltração e o armazenamento de água no solo, o que pode resultar em ganhos de produtividade das culturas sucessoras (CALONEGO; ROSOLEM, 2010; ANGHINONI *et al.*, 2019).

A decomposição das raízes das plantas de cobertura forma bioporos (canais) que são reaproveitados pela cultura sucessora (WAHLSTRÖM *et al.*, 2021). Esses bioporos facilitam a infiltração de água (SHARMA *et al.*, 2018) enquanto os resíduos da parte aérea deixados sob a superfície preservam a umidade do solo (UZUN *et al.*, 2017), também favorecendo o crescimento radicular (BEUTLER *et al.*, 2006) e a produtividade da cultura sucessora (TIECHER, 2016). Em relação à estabilidade dos agregados do solo, as raízes das plantas de cobertura são relativamente mais importantes, quando comparadas com os resíduos vegetais deixados sobre o solo (XIAO *et al.*, 2020).

No Brasil, um dos principais estados produtores (Mato Grosso) de algodão realiza o cultivo após o cultivo de soja (CONAB, 2017). Já na Bahia, após o cultivo de algodão as áreas são mantidas em pousio devido ao clima desfavorável para cultivo. Em região como o sul do estado de São Paulo, há o cultivo de sorgo ou trigo em região de áreas irrigadas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos gerais da cultura do algodoeiro

O Brasil, com uma produtividade de 1600 kg ha⁻¹ de fibra (rendimento superior a 40%), possui a maior produtividade em sistema de sequeiro; é o quarto maior produtor mundial e o segundo maior exportador de algodão (ABRAPA, 2021). É uma cultura cultivada em regiões tropicais e subtropicais (ABDELRAHEEM *et al.*, 2019), e no mundo mais de 60 países cultivam algodão, porém a maior parte (80%) se concentra na China, Índia, Estados Unidos, Paquistão e Brasil. É uma das espécies mais antigas e importantes para a humanidade; produz a mais importante fibra textil, óleo vegetal e torta para ração animal (ZONTA *et al.*, 2016). Anualmente, o mercado do algodão movimenta cerca de US\$ 12 bilhões (EMBRAPA, 2020).

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) fornece 35% de fibra utilizada no mundo, sendo a cultura fibrosa mais importante, além de fornecer óleo (USDA-ERS, 2017b). Para ser utilizada na indústria têxtil, a fibra precisa atender os parâmetros de qualidade exigidos. Assim, além da produtividade deve-se levar em consideração a qualidade da fibra, a qual pode ser prejudicado por fatores abióticos. O manejo adequado da cultura e o uso de sistemas conservacionistas podem minimizar esse efeito causado pelos fatores abióticos (MCDONALD *et al.*, 2019).

O algodoeiro é conhecido por tolerar uma variedade de estresses abióticos, mas algumas situações podem colocar o algodão em maior risco de perda de produtividade (SCHLENKER; ROBERTS, 2009; SNIDER *et al.*, 2009; ULLAH *et al.*, 2017). Por possuir crescimento indeterminado, o aparecimento de flores é constante durante seu desenvolvimento. A emissão de flores pode ocorrer de 50 DAE a 140 DAE (ROSOLEM, 2001). Assim, além de requerer um volume mínimo de água, requer que esta seja bem distribuída durante o ciclo, sobretudo do início do florescimento ao enchimento das maçãs, pois a disponibilidade de água é um dos fatores que pode limitar a produtividade (BANGE *et al.*, 2005; ULLAH *et al.*, 2017). O déficit hídrico prolongado pode prejudicar fatores fisiológicos, principalmente a fotossíntese (KITAO; LEI, 2007; SEKMEN *et al.*, 2014). Além disso, causa redução da produção de folhas, caule e matéria seca total (MEEKS *et al.*, 2019) culminando com a perda de produtividade.

2.2 Sistema de semeadura direta

O Sistema de Semeadura Direta (SSD) é caracterizado no sistema solo-planta pelo aporte de biomassa da parte aérea e de raízes (GUARESCHI *et al.*, 2012). O SSD tem como principais características o não revolvimento do solo, a rotação de culturas e a cobertura superficial do solo (CRUSCIOL *et al.*, 2010). A melhoria da física do solo se dá pela penetração do sistema radical agressivo das plantas de cobertura e pela formação de agregados (LIMA *et al.*, 2013; WRIGHT; HONS, 2005), melhorando a infiltração e o armazenamento de água no solo, beneficiando a cultura sucessora (HOBBS *et al.*, 2008), principalmente sob condições edafoclimáticas sujeitas ao déficit hídrico (SHARMA *et al.*, 2017). Na região Oeste Paulista e em varias regiões do cerrado onde se cultiva algodão, a frequência de veranicos durante a estação chuvosa é elevada e o solo é de textura arenosa com baixos teores de matéria orgânica (<1%) (BARBOSA; FEITOSA, 2021).

O SSD pode reverter a degradação dos solos em ambientes tropicais por meio do aumento do acúmulo de carbono no solo em até 0,67 Mg ha⁻¹ em relação ao sistema convencional, o que melhora a agregação do solo e o armazenamento de água (SEBEN JUNIOR *et al.*, 2016). Além disso, os resíduos das plantas de cobertura no SSD reduzem a densidade, aumentam a porosidade e melhoram as propriedades hidricas do solo (BLANCO-CANQUI; BENJAMIN, 2013; JOHNSON *et al.*, 2016).

Diversos estudos de longo prazo relataram os benefícios do SSD e plantas de cobertura no aumento da porosidade total e do armazenamento de água no solo (BASCHE; DELONGE, 2017). Os principais benefícios seriam a melhoria na condutividade hidráulica e na retenção de água na camada de 30 a 40 cm (ÇERÇIOĞLU *et al.*, 2019), aumento da produtividade da soja e milho em 21 e 22%, respectivamente (BASCHE *et al.*, 2016); maior crescimento radicular (55%) e produtividade da soja (12%) (CALONEGO; ROSOLEM, 2010); aumento da produtividade do algodoeiro em 14%, infiltração de água e estabilidade de agregados (NOURI *et al.*, 2019); redução na compactação do solo na profundidade de 20 a 30 cm e aumento de 38% na produtividade de fibra do algodoeiro (MARSHALL *et al.*, 2016). Na maioria dos casos citados havia uso de gramíneas como plantas de coberturas, de alta relação C:N, e que alguns casos podem prejudicar a

produtividade das culturas em sucessão (ALMEIDA *et al.*, 2018; HUNTER *et al.*, 2019), porém isso ocorre nos primeiros anos de implantação.

A mistura de plantas de cobertura tem maior eficiência na melhoria da qualidade do solo e na produtividade das culturas em relação ao uso exclusivo de somente uma espécie (CHU *et al.*, 2017; MCDANIEL *et al.*, 2014; LEWIS *et al.*, 2018). Por exemplo, a quantidade de bioporos (TORMENA *et al.*, 2008) e a umidade do solo são maiores (CHALISE *et al.*, 2018) com maior diversidade de plantas de cobertura. A fixação biológica de nitrogênio realizada pelas leguminosas favorece o crescimento e desenvolvimento das raízes das gramíneas (SHENG; HE; HUANG, 2002).

A maior parte da água que sai do solo é via transpiração das plantas, através dos estômatos (WANG *et al.*, 2009), e este processo é intensificado com o aumento da área foliar e com o fechamento da entrelinha. Além disso, antes que o dossel se feche, as perdas podem ocorrer por evaporação, entretanto em solos com boa cobertura vegetal as perdas são significativamente reduzidas (SHARMA *et al.*, 2017), o que aumenta a disponibilidade de água às culturas agrícolas, especialmente em lavouras não irrigadas sob solos arenosos.

2.3 Estresse hídrico na cultura do algodoeiro

Impactos negativos na planta (organismo vivo) provenientes de fatores não vivos são definidos como estresse abiótico (ABDELRAHEEM *et al.*, 2019). Dentre os fatores, a seca é um dos principais limitadores da produtividade das culturas agrícolas (ACQUAAH, 2012). Durante a safra, a precipitação pluvial nem sempre é bem distribuída durante o ciclo da cultura, isso acarreta em impactos negativos nos processos fisiológicos e na produtividade do algodoeiro (PILON *et al.*, 2019).

A água constitui de 80 a 90% da massa dos vegetais, e sem ela não há multiplicação e nem divisão celular, o que afeta o crescimento, desenvolvimento e a produção (KRAMER; BOYER, 1995). A falta de água prejudica o crescimento e o desenvolvimento do algodoeiro (altura de planta, índice de área foliar, número de nós) (ABDELRAHEEM *et al.*, 2019) e a produtividade e qualidade da fibra (HU *et al.*, 2018). Além disso, reduz a atividade fisiológica das raízes do algodoeiro (redução do nitrato, vigor radicular e alterações hormonais), limitando a absorção de água e

nutrientes (BLUM, 2005; LUO *et al.*, 2014).

O estresse hídrico reduz a fotossíntese devido à menor condutância estomática, à redução dos pigmentos fotossintéticos (principalmente clorofilas) e pela redução da eficiência das enzimas que fixam o CO₂ (rubisco e pep-carboxilase) (KHAN *et al.*, 2017). Yi *et al.* (2016) observaram que após estresse hídrico leve e moderado houve redução da taxa fotossintética no algodoeiro cultivado em solo argiloso, o que foi revertido no sexto dia após a irrigação, sendo observado ainda aumento progressivo do teor de prolina livre sob estresse hídrico. A prolina está associada a estresses bióticos e abióticos, sendo que em situações de déficit hídrico os teores são mais elevados (ABID *et al.*, 2017). O aumento do acúmulo de prolina em células vegetais é um mecanismo de defesa que favorece a interação e o equilíbrio entre os processos biossintéticos e degenerativos (YOSHIBA *et al.*, 1997). O aumento no acúmulo de prolina no nível celular desempenha um papel fundamental no ajuste osmótico, que promove mecanismos de defesa contra seca (YOOYONGWECH *et al.*, 2016). Como um dos principais osmoprotetores a regulação da prolina (HAJIHASHEMI; EHSANPOUR, 2013) proporciona redução na toxicidade ao estresse hídrico (HAJIHASHEMI; EHSANPOUR, 2014; JUNGKLANG *et al.*, 2016).

O estresse hídrico causa alteração morfológica e bioquímica na planta, afetando negativamente o desenvolvimento (altura, matéria seca da folha e caule, índice de área foliar, número de nós e a produtividade (LOKA *et al.*, 2011; ULLAH *et al.*, 2017). À medida que o conteúdo relativo de água e o potencial de água na folha diminuem, há redução da taxa fotossintética das folhas, o que diminui o crescimento e a produtividade do algodoeiro (ULLAH *et al.*, 2017).

Em situação de estresse hídrico o algodoeiro reduz a abertura estomática, diminuindo as perdas de água, bem como as trocas gasosas, devido à menor entrada de CO₂ e, conseqüentemente, o crescimento da planta (ULLAH *et al.*, 2017). As plantas também fazem o ajuste osmótico sintetizando e acumulando solutos compatíveis, como aminoácidos livres, açúcares e prolina (MOLINARI *et al.*, 2007).

Durante um período climático adverso (altas temperaturas e falta de chuva) a capacidade do solo em armazenar água sustenta o desenvolvimento das plantas (WANG *et al.*, 2009). Dessa forma, o manejo adequado do solo pode viabilizar a produção de alimentos e fibras em ambientes com condições edafoclimáticas

desfavoráveis. Folberth *et al.* (2016) reportaram variação de 31% na produção de milho em função do manejo do solo.

2.4 Produtividade e qualidade de fibra do algodoeiro

A produtividade do algodoeiro, assim como para as demais culturas, é dependente de fatores abióticos, como temperatura, luminosidade e água. A fibra depende de água para seu desenvolvimento, para que possa manter o turgor das células e assimilação dos carboidratos (ABDELRAHEEM *et al.*, 2019). Assim, a água influencia a qualidade da fibra e esta é fundamental para a comercialização do produto.

O estresse hídrico pode afetar a taxa de transpiração, reduzindo a absorção de carbono (LOBBEL *et al.*, 2014), o número e peso de capulhos, afetando a produtividade final do algodoeiro (WITT *et al.*, 2020), assim como o número de sementes por capulho, que pode ser reduzido pela irrigação deficitária (ULLOA *et al.*, 2019).

A produtividade do algodoeiro pode ser impactada pelo manejo do solo (BALKCOM *et al.*, 2006; RAPER *et al.*, 2000) e condições ambientais extremas, como a seca (PARIDA *et al.*, 2007). O sistema de semeadura direta juntamente com plantas de cobertura beneficiam o solo aumentando a capacidade de retenção de água e a ciclagem de nutrientes (MCDONALD *et al.*, 2020). Diferentes plantas de cobertura (leguminosas e gramíneas) solteira ou consorciada não apresentaram diferença na produtividade em sistema de sequeiro em solo arenoso com precipitação média anual de 710 mm (DELAUNE *et al.*, 2020). Em contrapartida, a longo prazo o uso de plantas de cobertura (ervilhaca) associado à semeadura direta melhorou significativamente as condições de infiltração de água no solo, resultando em maior produtividade de fibra do algodoeiro (NOURI *et al.*, 2019).

O déficit hídrico pode prejudicar a produtividade do algodoeiro, mas o efeito na qualidade pode variar. Hu *et al.* (2018) observaram que o déficit hídrico não prejudicou a resistência e o comprimento da fibra do algodoeiro. A água é essencial para manter o turgor das células e assimilação de gás carbônico, resultando em melhor desenvolvimento das fibras (ABDELRAHEEM *et al.*, 2019). Estudo trabalhando com déficit hídrico (0 a 90% da capacidade de campo), mostraram que

o comprimento, resistência e uniformidade da fibra foram afetada negativamente (ULLOA *et al.*, 2019; WITT *et al.*, 2018b). Um dos problemas que pode ter favorecido para esse resultado é o momento da irrigação deficitária (BURKE; ULLOA, 2017; SCHAEFER *et al.*, 2018). O micronaire é um parâmetro de qualidade de fibra que está relacionado com o diâmetro da fibra e é uma das características mais sensíveis e de pior relação ocorrência de estresses abióticos (SNOWDEN *et al.*, 2013; ULLOA *et al.*, 2019). O micronaire pode ser impactado pelo déficit hídrico, dependendo do estágio de crescimento da planta (CONATY *et al.*, 2015; LAMB *et al.*, 2015; ZHANG *et al.*, 2016).

2.5 Sistema radicular do algodoeiro

As raízes têm como função absorver água e nutrientes necessário para a sobrevivência das plantas (STŘEDA *et al.*, 2012). A densidade do comprimento radicular está diretamente relacionada para que essa absorção seja eficaz (NAKHFOROOSH *et al.*, 2014). O algodoeiro possui crescimento radicular profundo, permitindo buscar água e nutrientes em maiores profundidades do solo (ZHI *et al.*, 2017), caso não sofra interferência.

Inicialmente o crescimento radicular do algodoeiro é superior ao crescimento da parte aérea. As raízes podem chegar a 90 cm enquanto a parte aérea está com 35 cm (MCMICHAEL, 2010). Essa diferença pode diminuir ao longo do ciclo da cultura e fatores bióticos e abióticos. Na fase de enchimento de maçãs, há perda de massa das raízes devido ao redirecionamento dos assimilados para a parte reprodutiva do algodoeiro (RITCHIE *et al.*, 2007; MAIN, 2012).

Fatores físicos do solo influenciam o desenvolvimento das raízes do algodoeiro. A baixa macro e microporosidade e a alta resistência à penetração do solo podem prejudicar o desenvolvimento radicular (JÚNIOR *et al.*, 2020). A ausência de plantas de cobertura apresentou uma resistência do solo de 22% (0-15 cm) e 10% (15-30 cm) maior, comparado a sistemas com uso de plantas de cobertura (NOURI *et al.*, 2019). A compactação do solo prejudica o desenvolvimento das raízes do algodoeiro. Assim, a exploração do solo pelas raízes é reduzido (VALADÃO *et al.*, 2015). Por consequência, há menor absorção de nutrientes, principalmente dos que dependem de difusão como fósforo, potássio e zinco

(MALAVOLTA, 2006). Além de menor absorção de água, sendo um risco de perda de produtividade, principalmente em ambientes de solos arenosos (menor retenção de água).

3 OBJETIVO

Avaliar o desenvolvimento radicular, o *status* hídrico, a produtividade e a qualidade da fibra do algodoeiro cultivado em sistemas de rotações de cultura.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE, em Presidente Bernardes-SP (latitude 22°07'S; longitude 51°23' W e altitude de 475 m). O solo da área é classificado como Latossolo distrófico (EMBRAPA, 2018), de textura arenosa (Tabela 2). O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo Cwa.

As rotações de culturas foram implantadas em 2016, e desde então se mantém a mesma concepção dos tratamentos, conforme a Tabela 1. O presente estudo avaliou apenas os anos (2019/2021) seguintes ao apresentado na Tabela 1. Os dados de caracterização química e física do solo antes da implantação do experimento (Tabela 2) e dados de precipitação, temperatura máxima e mínima durante a condução do estudo (Figura 1).

Tabela 1. Sistemas de rotações de culturas adotados (antes da implantação) nos tratamentos do experimento durante das safras 2015/2016, 2016/2017, 2017/2018 e 2018/2019.

Tratamento	2015/2016		2016/2017		2017/2018		2018/2019
	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão
Forrageira	Soja	Braquiária ruziziensis	Algodão	Mombaça	Soja	Braquiária ruziziensis	Algodão
MIX	Soja	M+B+G*	Algodão	A+T+M+E*	Soja	S+B+J*	Algodão
Consórcio1	Soja	Girassol+Braq. ruzi.	Algodão	Aveia+tremoço	Soja	Sorgo+java	Algodão
Consórcio2	Soja	Milho+Braq. ruzi.	Algodão	Momb+Estilos	Soja	Sorgo+Braq. ruzi.	Algodão
Controle	Soja	Milho	Algodão	Pousio	Soja	Sorgo	Algodão

M+B+G= Milho+b ruziziensis r.+guandu; A+T+M+E= Aveia+tremoço+Mombaça+estilosantes; S+B+J= Sorgo+b ruziziensis.+java

Tabela 2. Caracterização química e física antes da implementação do experimento (2019).

Profundidade (cm)	pH (CaCl ₂)	M.O. (g dm ⁻³)	P (resina) (mg dm ⁻³)	S-SO ₄ ⁻² (H+Al) (mmol _c dm ⁻³)	K ⁺ (mmol _c dm ⁻³)	Ca ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	CTC (mmol _c dm ⁻³)	Areia (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	
0-20	5,7	18,1	18,6	9,9	14,0	2,0	28,9	25,3	70,2	835	22	143
20-40	4,8	11,8	5,7	21,5	18,6	1,3	7,4	3,6	30,9	815	39	146

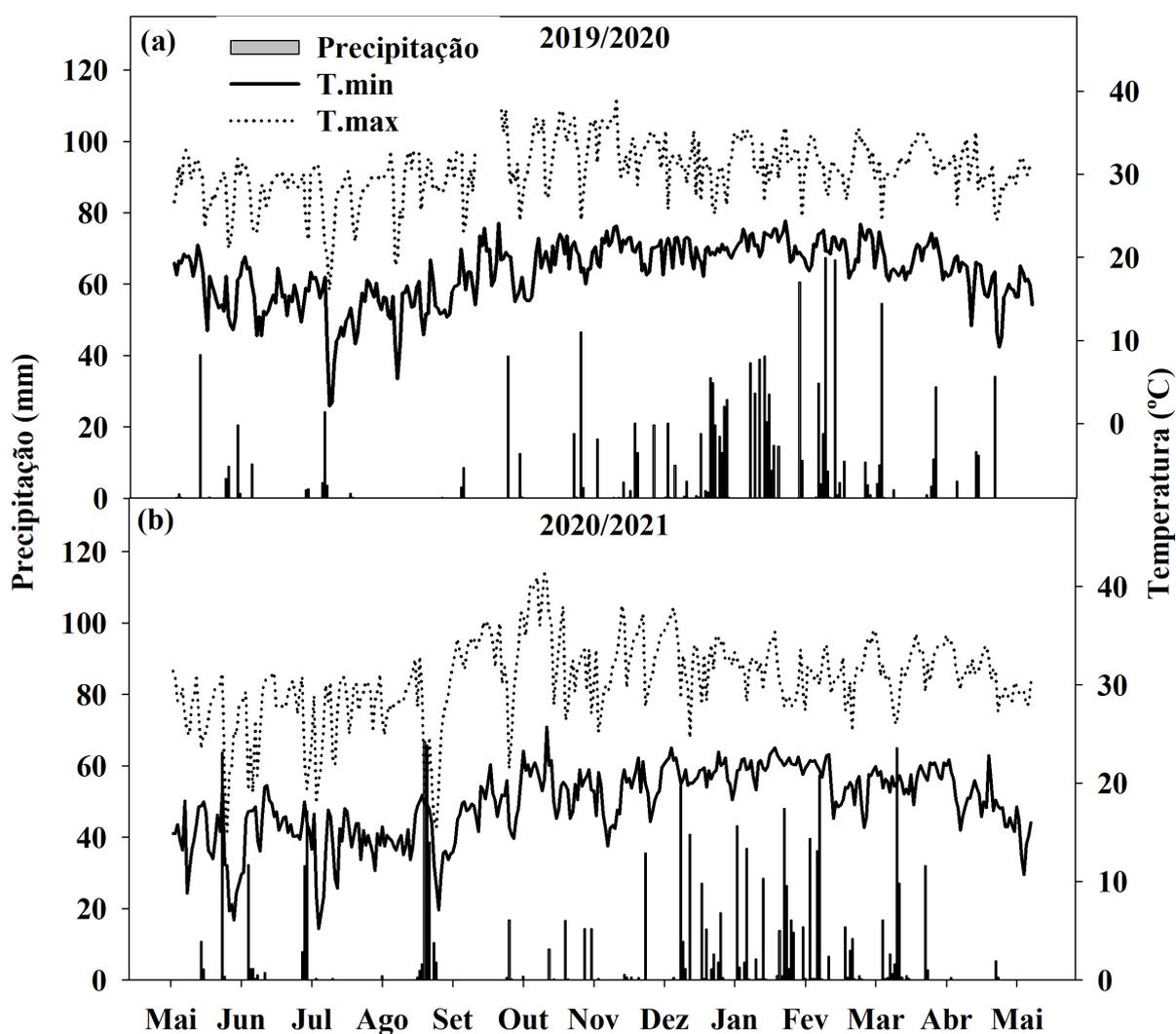


Figura 1. Precipitação, temperaturas máxima e mínima durante a condução do estudo na Fazenda Experimental da Unoeste, 2019/2020 e 2020/2021.

4.2 Delineamento experimental

O delineamento foi em blocos casualizados, com cinco repetições e os seguintes tratamentos: forrageira (*Urochloa ruziziensis* solteira); MIX (*Urochloa ruziziensis*+milheto+mucuna preta); consórcio 1 (milheto+mucuna preta); consórcio 2 (*Urochloa ruziziensis*+milheto) e controle (vegetação espontânea, sem revolvimento do solo). O estudo foi conduzido nas safras 2019/2020 e 2020/2021.

4.3 Manejo e avaliações das plantas de cobertura

Cada unidade experimental perfazia uma área de 144 m² (9,6 m largura e 15 m de comprimento), com 3 m de corredores entre blocos e 3,5 m entre parcelas, para trânsito de máquinas, totalizando uma área de 6460 m². A calagem e gessagem foram realizadas de acordo com a análise química do solo em setembro de 2019 e 2020, baseados na recomendação de Cantarella *et al.* (1997). As plantas de cobertura foram semeadas logo após a destruição (mecânica e química) da restos culturais do algodão na primeira quinzena de maio e dessecadas na primeira quinzena de novembro de 2019 e na segunda quinzena de novembro de 2020, utilizando glyphosate (1,92 kg i.a ha⁻¹).

Por ocasião da dessecação das plantas de cobertura foi avaliada a quantidade de palha sobre o solo, utilizando-se um gabarito de 0,40x0,50 m. Também foi avaliada a massa de matéria seca das raízes nas profundidades de 0-20; 20-40; 40-60 e 60-80 cm utilizando-se uma sonda, com o volume de 113 cm⁻³, realizando a coleta na linha de semeadura. As amostras foram lavadas em água corrente utilizando uma peneira de 0,5 mm e as raízes tiveram o seu comprimento e porcentagem do comprimento por classe de diâmetro determinados usando o software Winrhizo, após a digitalização da imagem das raízes. Posteriormente, as amostras foram secas em estufa a 65°C por 48 horas, moídas e os teores de nitrogênio (MALAVOLTA *et al.*, 1997) e carbono determinados (TEDESCO *et al.*, 1995).

4.4 Manejo e avaliações do algodoeiro

O algodão, cv. FM 983GLT foi semeado na segunda quinzena de novembro de 2019 e o cv. FM 974 GLT foi semeado na primeira quinzena de dezembro de 2020 no espaçamento entrelinhas de 0,90 m, com 10 sementes por metro. Na adubação de semeadura foi utilizado 250 kg ha⁻¹ de fosfato monoamônico-MAP (10-45-00, N-P-K), de acordo com a análise do solo e a recomendação da cultura (SOUZA; LOBATO, 2004). As adubações de cobertura com nitrogênio (100 kg ha⁻¹ de N) e potássio (120 kg ha⁻¹ de K₂O) foram realizadas aos 25 e 45 dias após emergência (DAE), sendo metade da dose aplicada por vez.

O potencial hídrico foliar foi avaliado na quinta folha expandida (do ápice para a base) a partir do início do florescimento, cerca de 4 a 5 dias após a última chuva, utilizando-se uma câmara de pressão (câmara de Scholander) ao meio dia. Foi coletada, fazendo um corte transversal com uma lâmina afiada, uma folha com pecíolo por parcela e realizado a leitura imediatamente após a retirada.

A avaliação das trocas gasosas (fotossíntese líquida, condutância estomática, transpiração e concentração intercelular de CO₂) foi realizada na fase de pleno florescimento da cultura (~80 DAE), na quinta folha do ápice para a base. Realizando a leitura em uma planta por parcela, no período da manhã (9:00-11:00 horas), utilizando-se um medidor portátil (IRGA – LICOR 6400).

A amostragem de raízes para determinação do comprimento e porcentagem do comprimento por classe de diâmetro (Winrhizo) e a massa de matéria seca foi realizada por ocasião do pleno florescimento (~80 DAE), com a coleta de solo nas profundidades de 0-20; 20-40; 40-60 e 60-80 cm utilizando-se o mesmo método descrito para as plantas de cobertura. semeadura

A matéria seca da parte aérea do algodoeiro foi determinada em pleno florescimento com a coleta de três plantas por parcela. O índice de área foliar (IAF) foi avaliado aos 25, 45, 65, 85 e 105 dias após a emergência (DAE) utilizando-se um ceptômetro (Accupar LP-80 – Decagon Devices). Na safra de 2019/2020, não foi possível obter os dados de IAF aos 85 e 105 DAE devido problema técnico com o ceptômetro.

No pleno florescimento foram coletadas folhas (quinta folha) para análise de prolina (indicador de estresse hídrico na planta), conforme metodologia de Bates et

al. (1973) utilizando o método do ácido sulfosalicílico, em triplicata e a leitura no espectrofotômetro no comprimento de onda de 520 nm.

O mapeamento da produtividade do algodoeiro foi realizado pela contagem do número de capulhos em todos os nós e posições frutíferas (P1, P2 e P3+) de 4 plantas competitivas por parcela. Por ocasião da maturidade fisiológica do algodoeiro foram determinados os componentes de produção (número de capulhos e peso médio de capulhos) pela colheita, contagem e pesagem de todos os capulhos de dois metros de linha do centro decada unidade experimental. A produtividade foi estimada utilizando-se essa amostra colhida. Uma sub-amostra foi enviada ao laboratório para descaroçamento e obtenção do rendimento de fibra. Essa sub-amostra foi utilizada para determinação dos parâmetros de qualidade de fibra do algodão (resistência de fibra, comprimento de fibra, maturidade e micronaire) utilizando o método HVI.

Após a colheita do algodão, foi avaliada a densidade do solo utilizando anéis volumétricos nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm nas safras 2019/2020 e 2020/2021.

4.5 Análise dos dados

Após os testes de homogeneidade e normalidade, utilizando o teste de shapiro-wilk, os dados foram submetidos a ANOVA e posteriormente as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível mínimo de 5% de significância ($p < 0,05$).

5 RESULTADOS

5.1 Desenvolvimento radicular e massa de matéria seca das plantas de cobertura

No controle, vegetação espontânea, houve menor concentração de raízes, em geral, até 40 cm de profundidade. Nos tratamentos em que a braquiária foi cultivada como planta de cobertura o comprimento radicular foi geralmente maior que nos outros tratamentos, nos dois anos. O comprimento de raízes do consórcio milho+mucuna foi similar ao das plantas daninhas (controle) enquanto milho + braquiária + mucuna preta e milho + braquiária apresentaram valores intermediários.

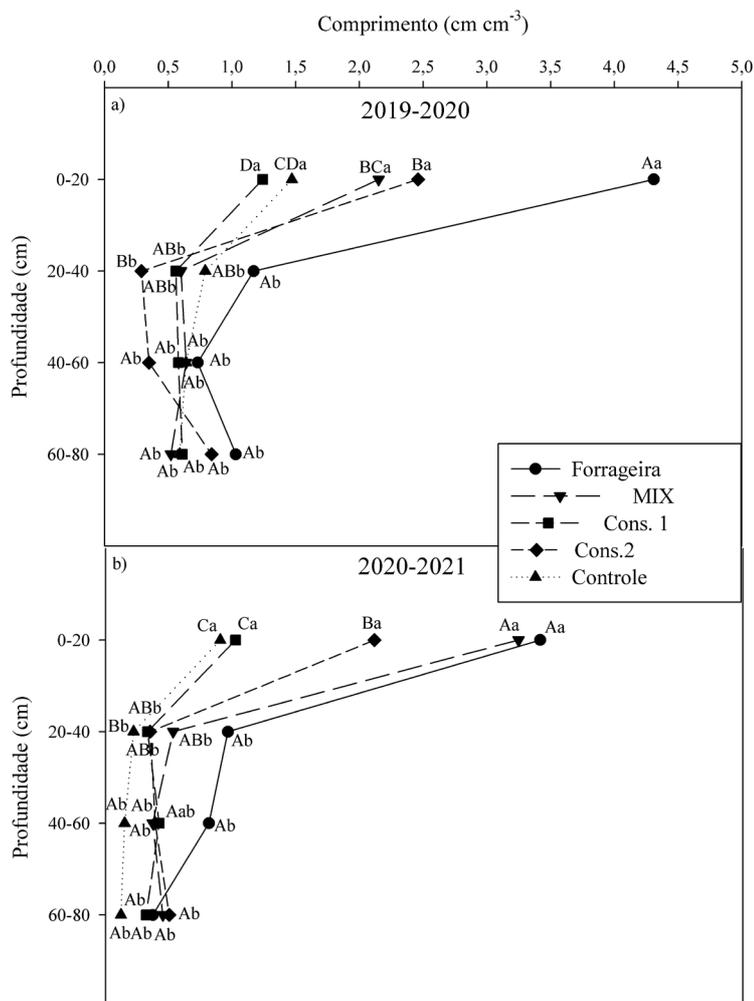


Figura 2. Comprimento radicular das plantas de cobertura antes da implantação do algodoeiro nas safras 2019/2020 e 2020/2021. Letras maiúsculas comparam os sistemas dentro de cada profundidade e letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada sistema. Médias seguidas de letras iguais não se diferenciam pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Embora as diferenças em densidade de comprimento radicular tenha sido observadas até 40 cm de profundidade, somente houve diferença na massa de matéria seca de raízes nos primeiros 20 cm (Fig 3), e foi geralmente maior nos tratamentos em que a braquiária estava presente, exceto na primeira safra no consórcio de braquiária + milho + mucuna .

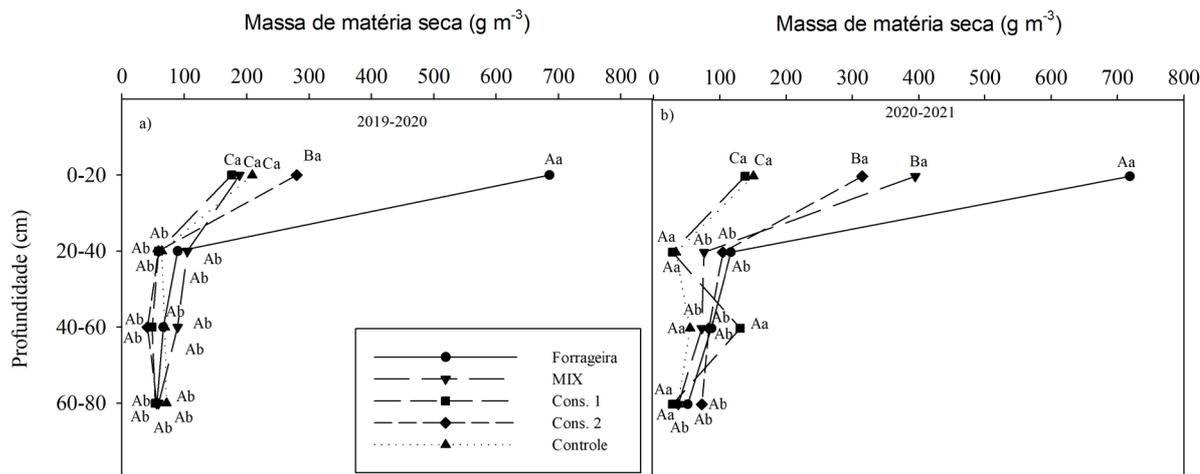


Figura 3. Matéria seca (g m^{-3}) das raízes das plantas de cobertura antes da implantação do algodoeiro, safras 2019/2020 e 2020/2021. Letras maiúsculas comparam os sistemas dentro de cada profundidade e letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada sistema. Médias seguidas de letras iguais não se diferenciam pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Os tratamentos que não tinham braquiária como planta de cobertura (consórcio 1 e controle) apresentaram maior percentagem de raízes finas ($< 0,5 \text{ mm}$) na camada de 0-20 cm na safra 2019/2020 (Tabela 3). Por outro lado, tratamentos com braquiária apresentaram maior percentual de raízes mais grossas ($> 1,0 \text{ mm}$) na camada de 20-40 cm. Nas outras camadas de solo não foram observadas diferenças importantes. Entretanto, na safra 2020/2021 os tratamentos com braquiária apresentaram maior percentagem de raízes finas nas camadas de 20-40 e 60-80 cm ($< 0,5 \text{ mm}$), exceto o consórcio de milho + braquiária (60-80 cm). Em relação às raízes de diâmetro médio (0,5 – 1,0 mm), o consórcio de milho + braquiária + mucuna apresentou maior percentagem em relação ao controle, na camada de 20-40 cm, para a safra 2019/2020.

Tabela 3. Percentagem do comprimento por classe de diâmetro (mm) das raízes das plantas de cobertura nas safras 2019/2020 e 2020/2021. Letras maiúsculas comparam os sistemas dentro de cada profundidade e letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada sistema. Médias seguidas de letras iguais não se diferenciam pelo teste de Tukey ($p>0,05$).

Sistemas	2019/2020				2020/2021			
	0-20	20-40	40-60	60-80	0-20	20-40	40-60	60-80
<0,5 mm								
Forageira	86,0 Bb	92,3 Aa	95,6 Aa	94,8 Aa	86,99 Aa	90,50 Aa	91,54 Aa	91,96 Aa
MIX	89,0 ABab	86,3 Bb	90,8 Aab	92,9 Aa	88,09 Aa	90,67 Aa	90,46 Aa	91,50 ABa
Consórcio 1	92,8 Aa	92,7 Aa	91,1 Aa	93,0 Aa	89,46 Aa	84,55 Ba	89,23 Aa	88,66 ABa
Consórcio 2	89,5 ABb	94,1 Aab	95,8 Aa	90,3 Aab	89,24 Aab	89,52 ABab	92,26 Aa	86,63 Bb
Controle	92,2 Aa	94,2 Aa	94,4 Aa	93,9 Aa	90,14 Aa	92,77 Aa	89,96 Aa	89,58 ABa
0,5 – 1,0 mm								
Forageira	11,5 Aa	7,5 Bab	4,2 Ab	4,6 Ab	9,69 Aa	7,59 Ba	7,66 Aa	6,98 BCa
MIX	9,0 ABab	12,3 Aa	8,2 Aab	6,5 Ab	9,22 Aa	7,84 Ba	7,66 Aa	6,55 Ca
Consórcio 1	5,9 Ba	6,3 Ba	7,9 Aa	6,4 Aa	8,45 Ab	13,33 Aa	8,24 Ab	9,94 Ab
Consórcio 2	9,1 ABa	5,6 Bab	3,8 Ab	8,8 Aa	8,29 Aab	7,84 Bab	5,73 Ab	9,49 ABa
Controle	6,7 Ba	5,4 Ba	4,8 Aa	5,8 Aa	7,46 Aa	6,35 Ba	7,35 Aa	7,12 ABCa
>1,0 mm								
Forageira	2,5 Aa	0,2 Bb	0,2 Ab	0,6 Ab	2,85 Aa	1,91 ABab	0,80 Bb	1,08 Cb
MIX	2,0 ABa	1,4 Aab	1,0 Abc	0,6 Ac	2,39 Aa	1,51 ABa	1,75 ABa	1,96 BCa
Consórcio 1	1,3 BCa	1,0 ABa	0,9 Aa	0,6 Aa	2,10 Aa	2,16 ABa	2,56 Aa	1,40 Ca
Consórcio 2	1,4 BCa	0,4 Bb	0,4 Ab	0,9 Aab	2,28 Aa	2,63 Aa	2,05 ABa	3,47 Aa
Controle	1,0 Ca	0,5 Ba	0,8 Aa	0,3 Aa	2,12 Aab	0,87 Bb	2,72 Aa	3,30 ABa

forrageira (*Urochloa ruziziensis* solteira); MIX (*Urochloa ruziziensis*+milheto+mucuna preta); consórcio 1 (milheto+mucuna preta); consórcio 2 (*Urochloa ruziziensis*+milheto) e controle (vegetação espontânea)

A maior massa de matéria seca da parte aérea foi observada com o consórcio milho + braquiária + mucuna preta em ambos os anos produzindo similar ao milho + braquiária. O controle produziu a menor quantidade de matéria seca nas duas safras (Tabela 4). A relação C/N foi 30,5% maior com milho + braquiária na safra 2019/2020, comparado aos demais tratamentos. Na safra 2020/2021 não houve diferença na relação C/N entre os tratamentos, e esta foi relativamente maior que na safra anterior em todos os sistemas (Tabela 4).

Tabela 4. Massa de matéria seca da parte aérea das plantas de cobertura e sua relação C/N dos sistemas de rotação em 2019/2020 e 2020/2021.

Sistemas	2019/2020		2020/2021	
	kg ha ⁻¹	C/N	kg ha ⁻¹	C/N
Forrageira	4650 b	29,8b	2272 b	45,7 a
Mix	5960 a	28,1b	3510 a	51,2 a
Consórcio 1	4840 b	24,7b	3190 ab	43,3 a
Consórcio 2	5070 ab	35,9a	3000 ab	46,9 a
Controle	2530 c	25,9b	1210 c	45,4 a
CV (%)	11,0	10,8	19,7	12,1

forrageira (*Urochloa ruziziensis* solteira); MIX (*Urochloa ruziziensis*+milheto+mucuna preta); consórcio 1 (milheto+mucuna preta); consórcio 2 (*Urochloa ruziziensis*+milheto) e controle (vegetação espontânea)

5.2 Desenvolvimento da parte aérea e radicular do algodoeiro

O maior índice de área foliar (IAF) do algodoeiro até os 45 DAE, foi observado quando utilizada braquiária como planta de cobertura, exceto na safra 2020/2021. Porém, aos 65 DAE o controle (ausência de plantas de cobertura) apresentou maior IAF, diferenciando-se apenas do tratamento com braquiária solteira e do milheto + braquiária + mucuna preta.

Tabela 5. Índice de área foliar (IAF) do algodoeiro cultivado em diferentes sistemas de rotação de culturas nas safras 2019/2020 e 2020/2021.

Sistemas	2019/2020				
	DAE 25	DAE 45	DAE 65	DAE 85*	DAE 105*
Forrageira	0,27 a	1,40 ab	2,14 c	-	-
MIX	0,20 ab	1,20 c	2,54 bc	-	-
Consórcio 1	0,23 ab	1,22 c	2,90 ab	-	-
Consórcio 2	0,18 b	1,47 a	2,87 ab	-	-
Controle	0,24 ab	1,36 b	2,97 a	-	-
CV (%)	17,68	3,62	8,12	-	-
Sistemas	2020/2021				
	DAE 25	DAE 45	DAE 65	DAE 85*	DAE 105*
Forrageira	0,61 a	3,32 a	3,32 b	5,18 a	2,47 a
MIX	0,53 a	3,29 a	3,54 ab	4,89 a	2,30 a
Consórcio 1	0,59 a	3,24 a	3,96 a	5,06 a	2,31 a
Consórcio 2	0,56 a	3,28 a	3,29 b	4,95 a	2,02 a
Controle	0,57 a	3,22 a	3,44 ab	5,30 a	2,18 a
CV (%)	25,2	12,9	8,1	11,7	12,8

forrageira (*Urochloa ruziziensis* solteira); MIX (*Urochloa ruziziensis*+milheto+mucuna preta); consórcio 1 (milheto+mucuna preta); consórcio 2 (*Urochloa ruziziensis*+milheto) e controle (vegetação espontânea)

A massa de matéria seca da parte aérea do algodoeiro foi menor na ausência de plantas de cobertura na safra 2019/2020, mas não houve diferença entre os tratamentos na safra 2020/2021 (Figura 4).

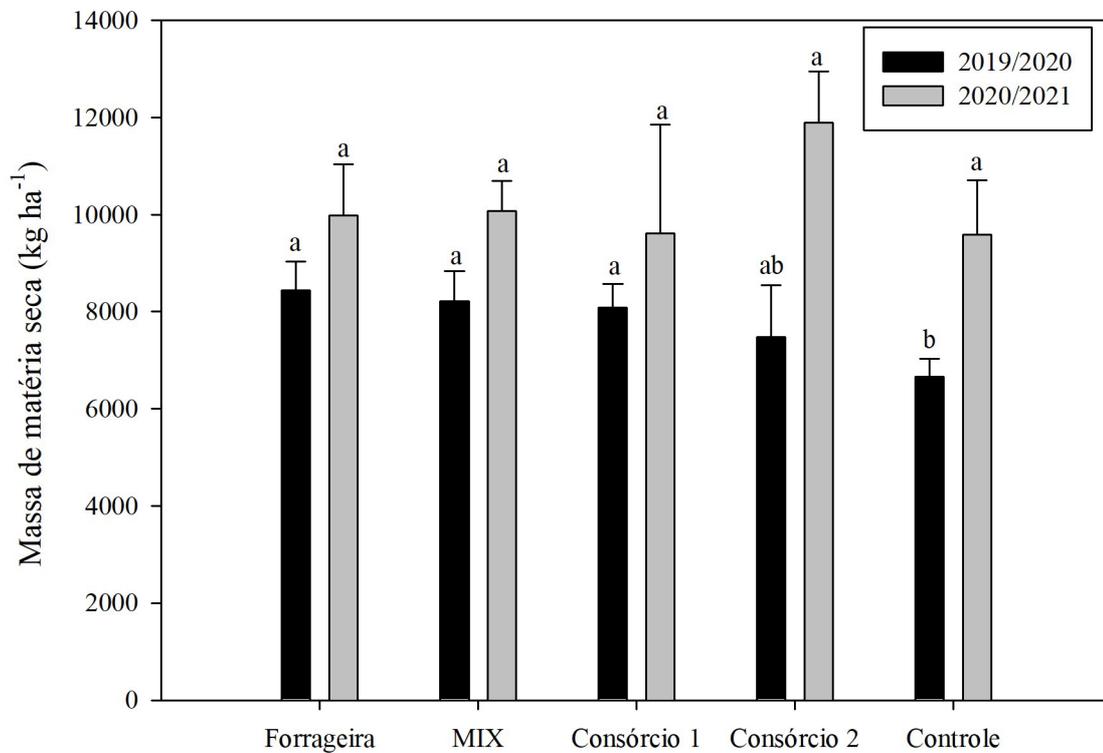


Figura 4. Massa de matéria seca da parte aérea do algodoeiro cultivado sobre diferentes rotações de culturas nas safras 2019/2020 e 2020/2021. Letras maiúsculas comparam os sistemas dentro de cada profundidade e letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada sistema. Médias seguidas de letras iguais não se diferenciam pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

O comprimento radicular do algodoeiro foi maior quando cultivado após braquiária solteira como planta de cobertura, porém essa diferença foi observada até 20 cm de profundidade. Na safra 2020/2021, o menor crescimento radicular do algodoeiro foi quando utilizado milho + braquiária.

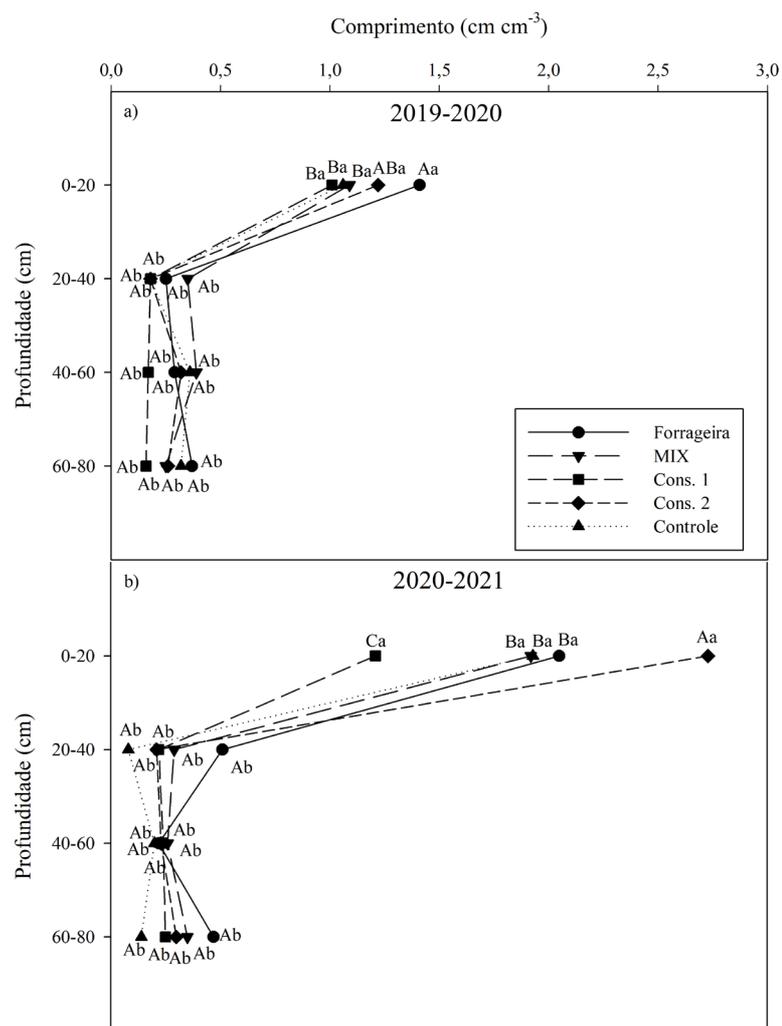


Figura 5. Comprimento radicular do algodoeiro cultivado em diferentes sistemas de rotação de culturas, safras 2019/2020 e 2020/2021. Letras maiúsculas comparam os sistemas dentro de cada profundidade e letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada sistema. Médias seguidas de letras iguais não se diferenciam pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Apesar do maior comprimento, quando utilizada braquiária solteira a massa de matéria seca da raiz do algodoeiro foi menor. Contudo, quando utilizado plantas consorciadas como milho + braquiária + mucuna preta obteve-se maior massa de matéria seca radicular do algodoeiro (Figura 6a). Na safra seguinte (2020/2021) o uso de braquiária solteira ou consorciada resultou na produção de massa de matéria seca das raízes do algodoeiro (Figura 6b).

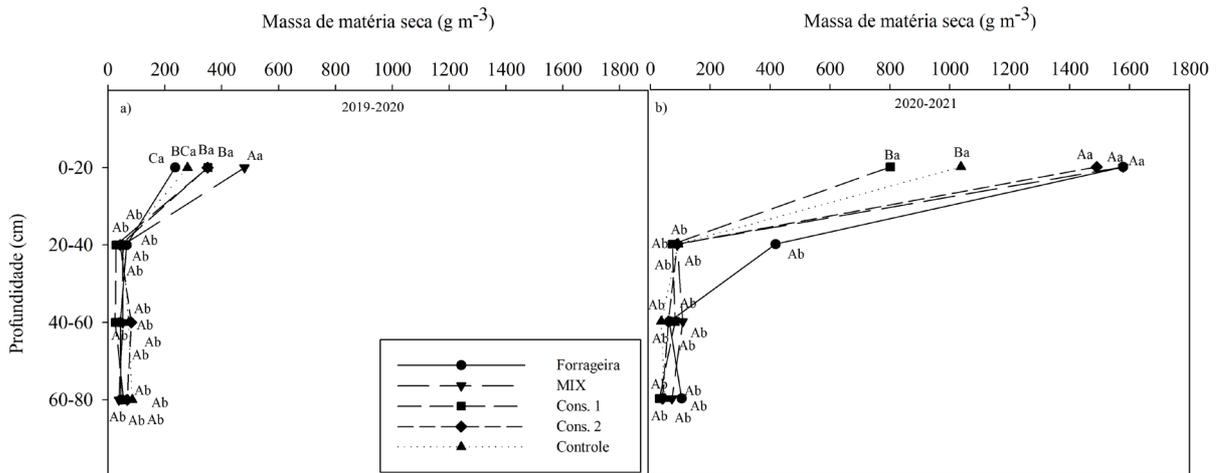


Figura 6. Massa de matéria seca (g m^{-3}) das raízes do algodoeiro cultivado em diferentes sistemas de rotação de culturas, safras 2019/2020 e 2020/2021. Letras maiúsculas comparam sistemas dentro de cada profundidade, letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada sistema. Médias seguidas de letras iguais não se diferenciam pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

O algodoeiro cultivado sobre palhada de braquiária solteira apresentou menor percentagem de raízes finas em 2019/2020 (20-40 cm), por outro lado, quando consorciado milho + braquiária o resultado foi invertido, apresentando maior percentagem de raízes finas. Em geral a utilização de uma leguminosa, como nos consórcios milho + braquiária + mucuna preta e milho + mucuna preta, resultou em raízes do algodoeiro de maior diâmetro.

Tabela 6. Percentagem do comprimento por classe de diâmetro (mm) das raízes do algodão, safras 2019/2020 e 2020/2021. Letras maiúsculas comparam sistemas dentro de cada profundidade, letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada sistema. Médias seguidas de letras iguais não se diferenciam pelo teste de Tukey ($p>0,05$).

Sistemas	2019/2020				2020/2021			
	0-20	20-40	40-60	60-80	0-20	20-40	40-60	60-80
<1,0 mm								
Forageira	96,0 Aa	84,4 Bb	93,7 Aa	94,9 ABa	94,78 Aa	95,52 ABa	95,64 Aa	95,96 ABa
MIX	94,9 Aa	95,4 Aa	93,3 Aa	94,8 ABa	94,14 Aa	93,65 Ba	92,43 Ba	95,24 ABa
Consórcio 1	95,0 Aa	95,7 Aa	96,4 Aa	93,4 ABa	94,00 Aa	92,88 Ba	94,16 ABa	92,93 Ba
Consórcio 2	95,3 Aa	92,0 Aa	93,0 Aa	95,1 Aa	96,46 Aab	97,86 Aa	94,91 ABb	96,49 Aab
Controle	94,1 Aab	93,8 Aab	96,8 Aa	89,5 Bb	94,40 Aa	94,02 Ba	94,90 ABa	94,73 ABa
1,0 – 2,0 mm								
Forageira	3,5Ab	6,9 ABa	6,5 Aa	4,8 Aab	3,56 Aa	3,34 ABa	4,01 Aa	3,80 BCa
MIX	4,0 Aa	4,9 BCa	6,2 Aa	5,7 Aa	4,26 Aa	5,08 Aa	5,80 Aa	4,25 BCa
Consórcio 1	4,0 Aab	3,4 Cb	2,9 BCb	6,3 Aa	4,85 Aa	4,79 Aa	5,13 Aa	6,41 Aa
Consórcio 2	3,8 Ab	8,1 Aa	5,4 ABb	4,7 Ab	2,97 Aa	1,98 Ba	3,92 Aa	2,64 Ca
Controle	5,0 Aab	5,1 BCab	2,5 Cb	7,0 Aa	4,26 Aa	4,80 Aa	4,23 Aa	4,99 ABa
> 4,5 mm								
Forageira	0,4 Ab	8,7 Aa	0,0 Bb	0,3 Bb	1,65 Aa	1,11 BCab	0,32 Bb	0,26 Ab
MIX	1,2 Aa	0,0 Ba	0,4 ABa	0,0 Ba	1,58 ABa	1,32 Bab	1,78 Aa	0,53 Ab
Consórcio 1	1,0 Aa	0,2 Ba	0,0 Ba	0,5 Ba	1,10 ABb	2,34 Aa	0,67 Bb	0,63 Ab
Consórcio 2	0,9 Aa	0,7 Ba	1,7 Aa	0,4 Ba	0,61 Ba	0,24 Ca	1,14 ABa	0,90 Aa
Controle	0,8 Ab	0,7 Bb	0,4 ABb	3,8 Aa	1,31 ABa	1,14 BCab	0,84 ABab	0,28 Ab

forrageira (*Urochloa ruziziensis* solteira); MIX (*Urochloa ruziziensis*+milheto+mucuna preta); consórcio 1 (milheto+mucuna preta); consórcio 2 (*Urochloa ruziziensis*+milheto) e controle (vegetação espontânea)

5.3 Status hídrico e trocas gasosas do algodoeiro

O algodoeiro cultivado após milheto + braquiária + mucuna preta como plantas de cobertura apresentou menor taxa fotossintética que os demais sistemas, e não houve diferença entre eles na safra 2019/2020 (Tabela 7). Além disso, a condutância estomática (gs) e a transpiração (E) também foram menores no consórcio de milheto + braquiária + mucuna preta (MIX), porém a concentração intercelular de CO₂ (Ci) foi inferior no sistema forrageira (braquiária). Não houve diferença entre os tratamentos na safra 2020/2021 para nenhuma variável das trocas gasosas.

Tabela 7. Médias dos dados de fotossíntese líquida (A), condutância estomática (Gs), concentração intercelular de CO₂ (Ci) e transpiração (E) no algodoeiro (pleno florescimento) cultivado em diferentes sistemas de rotação de culturas, safras 2019/2020 e 2020/2021.

Sistemas	2019/2020			
	A	Gs	Ci	E
	$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	$\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$	$\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Forageira	31,28 a	0,90 b	305,5 b	10,6 a
MIX	28,46 b	0,81 c	310,5 ab	9,88 b
Consórcio 1	31,68 a	0,93 ab	309,9 ab	10,73 a
Consórcio 2	32,45 a	0,98 a	309,5 ab	10,43 ab
Controle	32,35 a	0,95 ab	314,6 a	10,46 ab
CV(%)	4,66	4,12	1,14	3,30
	2020/2021			
Forageira	35,46 a	1,06 a	277,0 a	8,54 a
MIX	35,22 a	1,04 a	272,5 a	8,66 a
Consórcio 1	35,83 a	1,18 a	280,4 a	9,06 a
Consórcio 2	36,06 a	1,14 a	281,7 a	9,07 a
Controle	36,37 a	1,16 a	277,9 a	8,94 a
CV (%)	1,81	10,71	2,14	3,78

forrageira (*Urochloa ruziziensis* solteira); MIX (*Urochloa ruziziensis*+milheto+mucuna preta); consórcio 1 (milheto+mucuna preta); consórcio 2 (*Urochloa ruziziensis*+milheto) e controle (vegetação espontânea)

O algodoeiro cultivado após o consórcio de milho + mucuna preta (consórcio 1) apresentou concentração de prolina na folha 35,4% maior que o cultivado sobre a palhada de braquiária (Figura 7). Na segunda safra (2020/2021) os tratamentos MIX, consórcio 2 e controle apresentaram teor de prolina 70,4% maior que os algodoeiros do sistema com a forrageira (braquiária). Nos dois anos avaliados, o menor teor de prolina foi observado no sistema com a braquiária solteira, o que indica menor exposição da planta aos estresses ambientais.

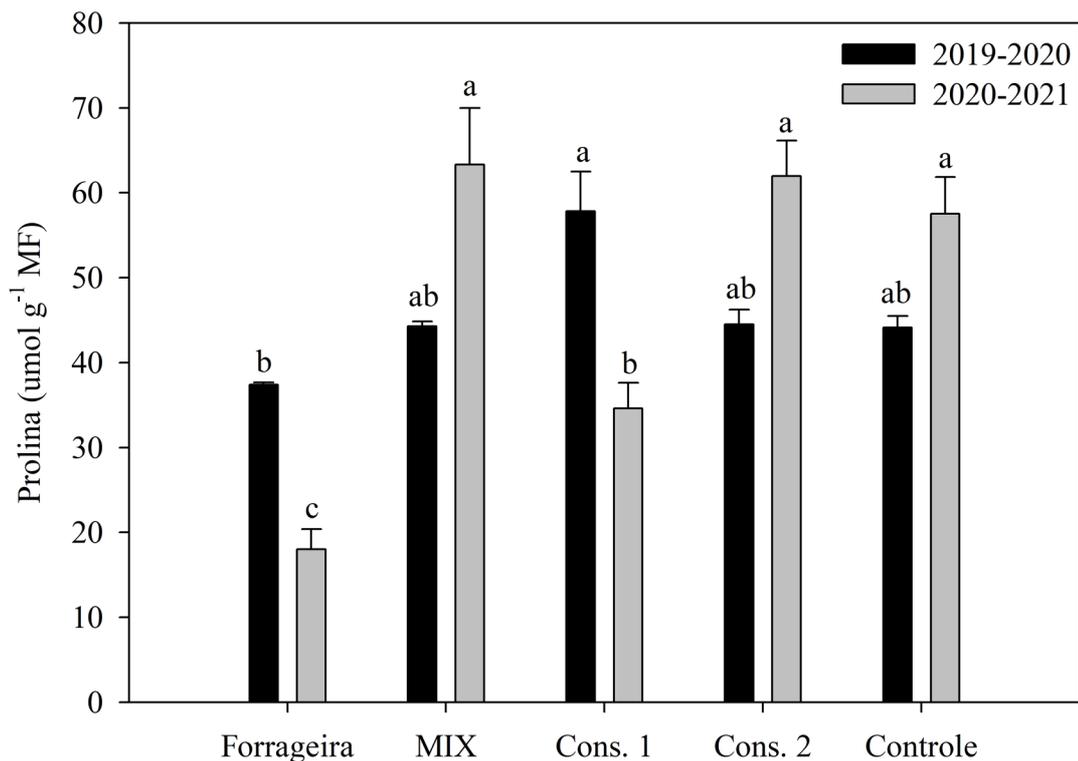


Figura 7. Teor de prolina na folha do algodoeiro aos 70 DAE, após um período de 5 dias sem chuva, safras 2019/2020 e 2020/2021.

O potencial hídrico foliar do algodoeiro não variou entre os tratamentos em nenhuma das safras, com média de -1,58 (2019/2020) e -1,72 MPa (2020/2021) (Tabela 10).

Tabela 8. Potencial hídrico foliar do algodoeiro ao meio dia em diferentes sistemas de rotação de culturas, safras 2019/2020 e 2020/2021.

	2019/2020	2020/2021
Sistemas	Mpa	Mpa
Forrageira	-1,40 a	-1,70 a
MIX	-1,46 a	-1,74 a
Consórcio 1	-1,82 a	-1,72 a
Consórcio 2	-1,42 a	-1,74 a
Controle	-1,80 a	-1,68 a
CV (%)	34,5	16,5

forrageira (*Urochloa ruziziensis* solteira); MIX (*Urochloa ruziziensis*+milheto+mucuna preta); consórcio 1 (milheto+mucuna preta); consórcio 2 (*Urochloa ruziziensis*+milheto) e controle (vegetação espontânea)

5.4 Produtividade, componentes de produção, qualidade de fibra e mapeamento do algodoeiro

O uso de braquiária solteira e milho + braquiária + mucuna preta (MIX) no primeiro ano resultou na maior produtividade do algodoeiro comparado aos demais tratamentos. Na segunda safra observou-se que o uso de plantas de cobertura resultou em maior produtividade. A ausência de plantas de cobertura resultou em menor produtividade do algodoeiro em relação ao sistema com a braquiária e o MIX nas duas safras avaliadas.

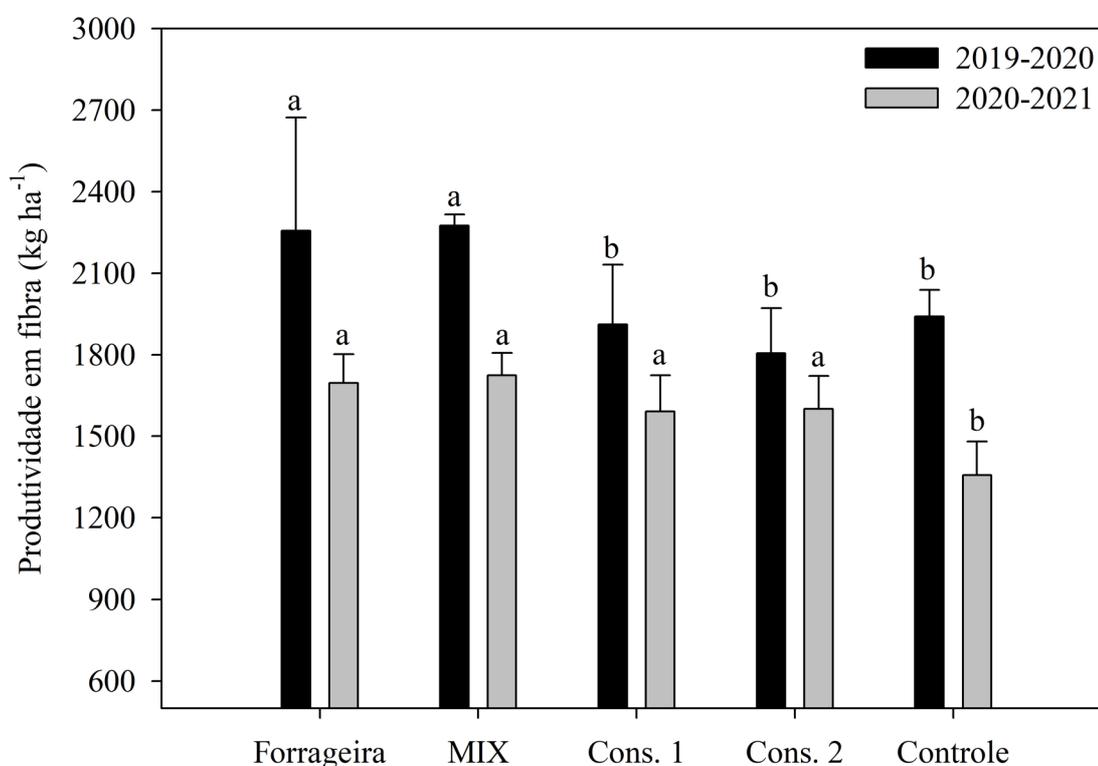


Figura 8. Produtividade de fibra (kg ha⁻¹) do algodoeiro cultivado em diferentes sistemas de rotação de culturas na safra de 2019/2020 e 2020/2021 na região de Presidente Bernardes – SP. As barras na vertical representa o desvio padrão.

O peso médio de capulhos (PMC) (2019/2020) e o rendimento de fibra (2020/2021) não foram influenciados pelos tratamentos. O número de capulhos na primeira safra foi maior no algodoeiro após o milho + braquiária + mucuna preta e braquiária produzindo em média 21,6 capulhos a mais que os outros tratamentos. Na segunda safra o número de capulhos foi 19,6% maior no sistema com a braquiária comparado ao controle (ausência de planta de cobertura). O PMC na safra

2020/2021 foi 9% maior no sistema braquiária + milho + mucuna, comparado ao milho + braquiária, mas sem diferença entre os demais tratamentos. Em geral os consórcios de gramíneas e leguminosa apresentaram maior rendimento de fibra em 2019/2020, mas sem diferença na safra posterior (Tabela 9).

Os parâmetros de qualidade de fibra (micronaire, comprimento, resistência e índice de fibras curtas) (2019/2020), e a resistência e comprimento (2020/2021) não apresentaram diferença entre os tratamentos. Na segunda safra (2020/2021) o micronaire do algodoeiro cultivado após o Mix foi 12,7% maior do que após a braquiária. O milho + braquiária apresentou um comprimento 13% maior do que o milho + mucuna preta na segunda safra (2020/2021) (Tabela 9).

Tabela 9. Média dos componentes de produção, rendimento (%), micronaire (MIC), comprimento (Comp), resistência (Resist) e índice de fibras curtas (SFI) de fibra do algodoeiro cultivado em diferentes sistemas de rotação de culturas, safras 2019/2020 e 2020/2021.

Sistemas	2019/2020						
	Capulhos m ²	PMC g	RF %	MIC µg in-1	Comp	Resist	SFI
Forrageira	113,2 ab	4,75 a	42,6 b	4,12 a	29,5 a	31,0 a	10,4 a
MIX	119,7 a	4,54 a	42,8 ab	4,68 a	29,3 a	30,3 a	10,1 a
Consórcio 1	98,6 bc	4,51 a	44,0 a	4,42 a	29,2 a	30,9 a	10,3 a
Consórcio 2	92,9 c	4,71 a	41,3 c	4,29 a	29,5 a	30,6 a	10,3 a
Controle	102,6 bc	4,51 a	42,6 b	4,32 a	29,5 a	29,7 a	9,8 a
CV (%)	11,8	6,4	1,6	9,2	2,2	5,9	17,0
Sistemas	2020/2021						
	Capulhos m ²	PMC g	RF %	MIC µg in-1	Comp	Resist	SFI
Forrageira	98,5 a	3,98 ab	42,1 a	3,23 b	31,18 a	35,4 a	7,8 ab
MIX	93,7 ab	4,18 a	42,1 a	3,70 a	31,1 a	34,6 a	7,8 ab
Consórcio 1	97,1 ab	3,98 ab	42,0 a	3,60 ab	31,22 a	34,5 a	7,4 b
Consórcio 2	97,3 ab	3,79 b	42,3 a	3,58 ab	31,01 a	35,3 a	8,5 a
Controle	79,2 b	3,91 ab	42,5 a	3,56 ab	31,1 a	34,7 a	8,0 ab
CV (%)	10,7	6,6	1,5	5,9	1,4	2,5	6,4

forrageira (*Urochloa ruziziensis* solteira); MIX (*Urochloa ruziziensis*+milho+mucuna preta); consórcio 1 (milho+mucuna preta); consórcio 2 (*Urochloa ruziziensis*+milho) e controle (vegetação espontânea)

A quantidade de capulhos no terço inferior das plantas foi 24 e 26% maior no milho + braquiária + mucuna preta em relação ao milho + mucuna preta e 26% superior em relação ao controle (ausência de planta de cobertura) na safra 2019/2020 (Figura 9a). No segundo ano (2020/2021) houve diferença apenas no terço superior, com produção de 5,5 capulhos a mais no Mix, em relação ao consórcio 2 (Figura 9b).

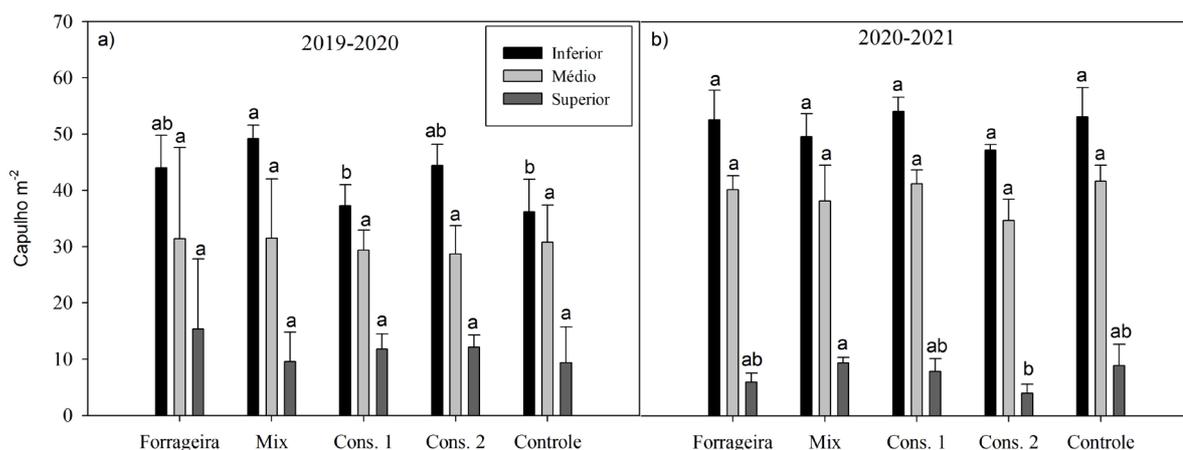


Figura 9. Número de capulhos nos terços (inferior, médio e superior) do algodoeiro cultivado em diferentes sistemas de rotação de culturas, safras 2019/2020 e 2020/2021. Letras maiúsculas comparam sistemas dentro de cada profundidade, letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada sistema. Médias seguidas de letras iguais não se diferenciam pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

5.5 Densidade do solo

A densidade do solo foi maior quando na ausência de plantas de cobertura (Figura 10), e o uso da braquiária como planta de cobertura reduziu a densidade na camada de 0 - 5 cm na safra 2019/2020. O cultivo de braquiária + milho na segunda safra (2020/2021) reduziu a densidade do solo na camada superficial (0-5 cm). De modo geral, a utilização de braquiária como planta de cobertura resultou em menor densidade do solo (Figura 10).

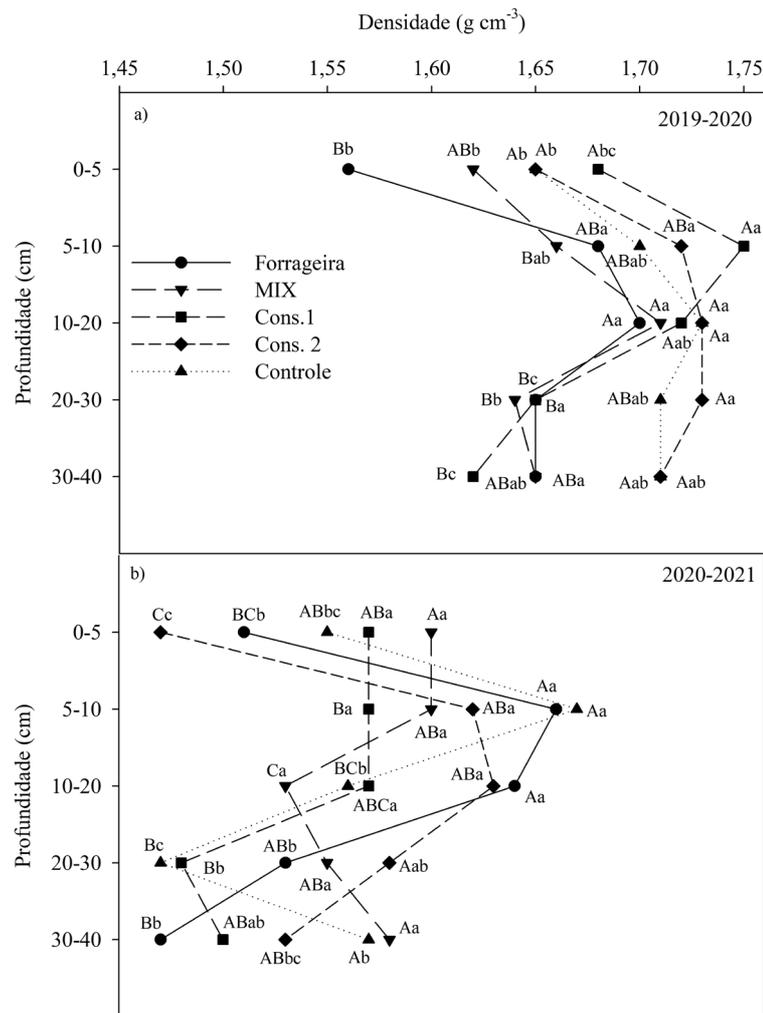


Figura 10. Densidade do solo (g cm^{-3}) em sistemas de rotação de culturas em diferentes profundidades do solo, safras 2019/2020 e 2020/2021. Letras maiúsculas comparam sistemas dentro de cada profundidade, letras minúsculas comparam profundidades dentro de cada sistema. Médias seguidas de letras iguais não se diferenciam pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

5.6 Correlação dos resultados

O aumento do número de capulhos em ambas as safras resultou em maior produtividade de fibra do algodoeiro. Assim como o maior comprimento radicular na camada de 20-40 cm (2019/2021) beneficiou para uma maior produtividade de fibra, porém resultou em uma menor fotossíntese líquida e condutância estomática (Tabela 10). Já em ano de menor precipitação esses resultados foram invertidos. A fotossíntese líquida e a condutância estomática afetaram negativamente o número de capulhos e a produtividade do algodoeiro em ambos os anos.

Tabela 10. Correlação da fotossíntese líquida (A), condutância estomática (Gs), número de capulhos (m²), produtividade de fibra e comprimento radicular do algodoeiro (cm cm⁻³) nas camadas de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm, cultivado em diferentes sistemas de rotação de culturas, safras 2019/2020 e 2020/2021.

2019/2020							
**1%/*5%	A	Gs	Capulho m ²	Produtividade fibra	Alg raiz 0-20/cm cm ⁻³	Alg raiz 20-40/cm cm ⁻³	Alg raiz 40-60/cm cm ⁻³
Gs	0,72**						
Capulho m ²	-0,42*	-0,48*					
Produtividade fibra	-0,40*	-0,45*	0,90**				
Alg raiz 0-20/cm cm ⁻³	0,05 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,40*			
Alg raiz 20-40/cm cm ⁻³	-0,60**	-0,69**	0,34 ^{ns}	0,45*	0,13 ^{ns}	1,00 ^{ns}	
Alg raiz 40-60/cm cm ⁻³	-0,15 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,50*	1,00 ^{ns}
Alg raiz 60-80/cm cm ⁻³	0,10 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,45*	0,13 ^{ns}	0,41*
2020/2021							
	A	Gs	Capulho m ²	Produtividade fibra	Alg raiz 0-20/cm cm ⁻³	Alg raiz 20-40/cm cm ⁻³	Alg raiz 40-60/cm cm ⁻³
Gs	0,15 ^{ns}						
Capulho m ²	-0,28 ^{ns}	0,02 ^{ns}					
Produtividade fibra	-0,47*	-0,06 ^{ns}	0,74**				
Alg raiz 0-20/cm cm ⁻³	0,16 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,11 ^{ns}			
Alg raiz 20-40/cm cm ⁻³	-0,43*	-0,57**	0,29 ^{ns}	0,48*	0,10 ^{ns}		
Alg raiz 40-60/cm cm ⁻³	0,13 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,09 ^{ns}	
Alg raiz 60-80/cm cm ⁻³	-0,29 ^{ns}	-0,39 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,47*	0,32 ^{ns}	0,73**	0,27 ^{ns}

ns, não significativo; ** e * sendo 1% e 5% de significância, respectivamente.

6 DISCUSSÃO

Durante o ciclo do algodoeiro, sua demanda por água é de 3 - 5, 8 - 10 e 4 - 6 mm dia⁻¹ nos períodos de 0 - 30, 31 - 80 e 81 - 100 DAE, respectivamente (ZONTA *et al.*, 2015). Em ambas as safras as médias pluviométricas (Figura 1) ficaram abaixo do ideal no período de 81 - 100 DAE, sendo 3,59 (2019/2020) e 3,21 (2020/2021) mm dia⁻¹. Enquanto aos 0 - 30 DAE e aos 31 - 80 DAE em ambas as safras o volume de chuvas foi adequado, sendo na safra de 2019/2020 de 7,92 e 9,87 mm dia⁻¹ e na safra 2020/2021 5,77 e 7,96 mm dia⁻¹ no período de 0 - 30 e 31 - 80, respectivamente. Contudo, na safra 2020/2021 aos 31 - 80 DAE, 35% da precipitação ficou acumulada aos 51 - 80 DAE. Além disso, na mesma safra após 50 DAE (até a colheita) a precipitação foi de 210,8 mm de um total de 684 mm. Em relação à safra 2019/2020, a precipitação após os 50 DAE (até a colheita) foi de 480,2 mm, de um total de 923,2 mm.

A temperatura ideal para o desenvolvimento do algodoeiro é entre 20°C e 30°C (SNIDER; KAWAKAMI, 2014). Reddy *et al.* (1999) relataram que parâmetros da fibra do algodoeiro são prejudicados quando a temperatura é menor do que 17°C e superior a 26°C. Durante a safra de 2019/2020 a temperatura máxima média foi de 31,2°C variando de 24,4°C a 35,7°C, enquanto na safra 2020/2021 foi de 31,3°C variando de 25,3°C a 35,6°C. Em relação à temperatura mínima, na safra 2019/2020 a média foi de 19,8°C e na safra 2020/2021 foi de 19,7°C. Desde que a temperatura não ultrapasse 32°C, o crescimento de desenvolvimento do algodoeiro aumenta, isso devido a sua raiz pivotante (ITC, 2011). Contudo, Milik e Ahsan, (2016) relatam que a temperatura ideal para a produtividade do algodoeiro é de 28,5°C. Em ambientes com condições climáticas extremas, o uso de plantas de cobertura pode ser adotado visando regular a temperatura (KAHIMBA *et al.*, 2008), além de outros benefícios.

Foi demonstrado que algumas espécies utilizadas como plantas de cobertura têm capacidade de penetrar camadas de solo com alta resistência à penetração, tanto em clima temperado (CHEN; WEIL, 2010) como em clima tropical (ROSOLEM; PIVETTA, 2017). Esse mesmo resultado foi observado em outros estudos onde trabalharam com espécies semelhante e iguais ao presente estudo (ROSOLEM; PIVETA, 2016; CALONEGO; ROSOLEM, 2010). Assim são formados bioporos que poderão ser ocupados pelas raízes da espécie sucessora, que terá

crescimento radicular facilitado (MARSHALL *et al.*, 2016). Um estudo com cevada e nabo forrageiro concluiu que o desenvolvimento das raízes ocorreu nos poros deixados pelas raízes das culturas antecessoras após sua decomposição (WAHLSTRÖM *et al.*, 2021). Na segunda safra (2020/2021), foi observado maior comprimento radicular do algodoeiro em relação a primeira safra, principalmente na camada de 0-20 cm.

O uso de plantas de cobertura com raízes axiais e com a capacidade de criar bioporos maiores proporciona melhores condições para a cultura sucessora desenvolver seu sistema radicular a maiores profundidades (PERKONS *et al.*, 2014). Contudo, no presente estudo não foi observado maior comprimento radicular em maiores profundidades quando usado mucuna preta (raiz axial). Porém, observou-se que nos tratamentos com mucuna preta como planta de cobertura, as raízes do algodoeiro possuíam maior massa de matéria seca (Figura 6) e raízes de maior diâmetro (Tabela 6). As braquiárias são particularmente importantes como melhoradoras do solo (Calonego e Rosolem, 2010). Assim, pode-se atribuir o maior crescimento radicular do algodoeiro à presença da *Urochloa ruziziensis*, solteira ou consorciada (Figura 5a, b). O menor crescimento radicular do algodoeiro no consórcio 1 (Figura 5b) não afetou a produtividade final da cultura. Estudos relatam que em casos de déficit hídrico há aumento do comprimento radicular do algodoeiro (ABDELRAHEEM *et al.*, 2019).

Quando há estresse hídrico, ocorre diminuição da transpiração da planta (LOBELL *et al.*, 2014; SINCLAIR, 2018). Assim, observa-se que a transpiração foi maior quando utilizado gramínea consorciada com leguminosa (Tabela 7), o que justifica o menor crescimento radicular, pois havia água suficiente para o algodoeiro manter sua transpiração e o menor gasto energético para produção de raízes pode ter resultado em maior produtividade, comparado ao controle (Figura 8). Fatores como fechamento estomático, aumento da taxa de transpiração e do conteúdo de prolina são mecanismos de defesas do algodoeiro em casos de déficit hídrico (BRITO *et al.*, 2011), podendo assim não prejudicar a produtividade final, similar ao que ocorreu no sistema com MIX de plantas de cobertura.

A ausência de plantas de cobertura resultou em maior densidade do solo principalmente na camada de 20-30 cm (Figura 10a) e 30-40 cm (Figura 10b). A utilização de plantas de cobertura reduz a compactação do solo, aumenta a

produtividade do algodoeiro e melhora as propriedades químicas do solo (P, K, Mn e matéria orgânica) (MARSHALL *et al.*, 2016). Esses fatores foram observados no presente estudo, onde houve maior comprimento de raízes (Figura 5a, b) e produtividade (Figura 8) do algodoeiro quando utilizado plantas de cobertura.

Em ano de maior precipitação (2019/2020), embora o fator ano não tenha sido comparado estatisticamente, o uso de plantas de cobertura proporcionou maior produção de massa de matéria seca da parte aérea do algodoeiro (Figura 4) e maior variação do índice de área foliar (IAF). O aumento do IAF é uma consequência de processo compensatório, devido a perda de estruturas reprodutivas (GRUNDY *et al.*, 2020). A ausência de plantas de cobertura resultou em maior IAF do algodoeiro (Tabela 5), porém menor massa de matéria seca da parte aérea do algodoeiro (Figura 4). Apesar do volume de chuva durante a safra 2019/2020 ter sido de 923 mm, houve um veranico no início da floração (final de janeiro) (Figura 1). Este é um dos períodos mais sensíveis da planta à falta de água, que pode resultar em perda de produtividade (ZONTA *et al.*, 2017). Em casos de estresse hídrico, ocorre o abortamento de estruturas reprodutivas no algodoeiro (ARAÚJO *et al.*, 2019), principalmente estruturas jovens, além da redução do peso médio do capulho. A menor retenção de estruturas reprodutivas resulta em maior crescimento vegetativo, ou seja, maior índice de área foliar (GRUNDY *et al.*, 2020), pois a perda dos drenos (capulhos - Tabela 9) na ausência de plantas de cobertura, principalmente no terço inferior (Figura 9), altera a relação fonte/dreno e a distribuição de fotoassimilados da planta vai para o desenvolvimento vegetativo. Em casos de limitação de água, o algodoeiro tem preferência em direcionar os carboidratos às raízes, seguido da parte aérea e, por fim, a parte reprodutiva (SHAREEF *et al.*, 2018).

Mesmo em anos de menor precipitação (2020/2021), quando não se observou diferença de produção de massa de matéria seca da parte aérea do algodoeiro (Figura 4), o uso de gramínea solteira resultou maior número de capulhos (Tabela 9) e menor IAF (Tabela 5). Em algodoeiro de alta produtividade (Austrália) foi relatado IAF ideal em torno de 3 em pleno florescimento (GRUNDY *et al.*, 2020). O aumento do IAF durante o início da floração pode sombrear o terço inferior da planta, causando maior abscisão das estruturas reprodutivas (GRUNDY *et al.*, 2020).

A produtividade do algodoeiro foi influenciada positivamente pelo uso de

plantas de cobertura. Na safra 2020/2021 (menor precipitação) a ausência de plantas de cobertura reduziu o número de capulhos (Tabela 9), resultando em perda de 18% na produtividade de fibra (Figura 8). A ausência de plantas de cobertura resultou em baixo comprimento radicular do algodoeiro na camada superficial (0-20 cm) (Figura 5) e menor biomassa sobre o solo (Tabela 4). O uso de plantas de cobertura (milho) aumentou em 14% a produtividade da soja (CHALISE *et al.*, 2018) e a umidade do solo em 3% a 5% na camada de 0-30 cm comparado ao controle (vegetação espontânea) (ACHARYA *et al.*, 2019).

O consórcio de milheto + braquiária + mucuna preta proporcionou maior massa de matéria seca da parte aérea em ambos os anos. O consórcio de milheto + braquiária resultou em uma produção similar enquanto o uso de braquiária solteira foi inferior. Isso se deve ao baixo desenvolvimento na estação fria (maio-julho) (Figura 1), assim o milheto torna-se um aliado da braquiária para a maior produção de matéria seca. O controle (vegetação espontânea) obteve a menor quantidade de matéria seca nas duas safras (Tabela 4). Após o mês de julho, a temperatura média aumenta e junto a braquiária se desenvolve melhor, o que explica a diferença em relação ao controle (Tabela 4). A maior relação C/N foi obtida no consórcio de duas gramíneas (milheto + braquiária) na safra 2019/2020, comparada aos demais tratamentos. Isso se deve a menor relação C/N das leguminosas (KOHMANN *et al.*, 2018).

Em relação a anos de maior precipitação (2019/2020), o uso de *Urochloa ruziziensis* (solteira ou consorciada) resultarem maior produtividade, provavelmente devido ao maior número de capulhos, principalmente do terço inferior. Este tratamento também apresentou o menor teor de prolina em valor absoluto (Figura 7). Hu *et al.*, (2018) observaram que o déficit hídrico moderado à grave reduziu o número de capulhos e a massa individual dos capulhos. Em ambas as safras (2019-2021) a produtividade do algodoeiro foi influenciada pelo número de capulhos (Tabela 9). Khokhar *et al.* (2017) avaliaram diferentes genótipos de algodão e observaram que o maior número de capulhos afetou positivamente na produtividade final. Em estudo conduzido em uma área com histórico de 5 anos dos mesmos tratamentos observou que no quarto ano o uso de gramínea solteira (trigo) ou o mix de plantas de cobertura (centeio, trigo, ervilha-de-inverno austríaca e ervilhaca) resultaram em maior número de capulhos, quando comparado à semeadura

convencional (ausência de planta de cobertura) (ADAMS *et al.*, 2020), porém não diferiu em relação à ausência de plantas de cobertura, em solo não revolvido.

Apesar da produtividade do sistema com gramínea solteira não ser diferente dos outros tratamentos com plantas de cobertura (Figura 8), em anos de menor precipitação (2020/2021) a qualidade de fibra foi prejudicada, cujo micronaire foi abaixo do ideal (3,5/4,9) (Tabela 9). Dependendo da severidade do estresse hídrico, o micronaire pode aumentar (WANG *et al.*, 2016b). Além disso, pode haver aumento do micronaire de acordo com o aumento da severidade do déficit hídrico (HU *et al.*, 2018), em razão da redução do comprimento da fibra. O índice de fibras curtas (SFI) foi menor quando utilizado o consórcio de uma gramínea e uma leguminosa (Tabela 9), porém todos os tratamentos apresentaram valores de SFI dentro do desejado (<10). Outros estudos em ambientes desfavoráveis também não observaram grandes efeitos negativos na qualidade de fibra do algodoeiro cultivado em SSD e SSC (HU *et al.*, 2018) e diferentes cultivares sob cinco regimes hídricos (MCDONALD *et al.*, 2019). Porém, sob estresse hídrico, os assimilados tendem a se acumular nas sementes ao invés da fibra (TANG *et al.*, 2017; GAO *et al.*, 2020).

Estudos relatam que para que haja perda de produtividade, o potencial hídrico foliar deve ser igual ou menor que -1,9 MPa ao meio-dia (início de pegamento de maçãs) (GINN; MAUNEY, 1984). No presente estudo, o potencial hídrico foi menor que -1,9 MPa nos tratamentos em ambos os anos, porém foram avaliados no período de pleno florescimento. Porém na segunda safra no período de 81 a 146 DAE, teve-se um acumulado de precipitação de 44 mm, onde 32 mm ocorreu em apenas um dia (92 DAE), o que acarretou em um estresse hídrico mais severo que encurtou o ciclo da cultura. Isso pode ter influenciado na produtividade final, que foi menor comparado ao ano anterior (2019/2020).

7 CONCLUSÃO

Conclui-se que, em anos de maior precipitação, o uso da braquiária solteira ou consorciada com outra gramínea favorece o crescimento radicular do algodoeiro, enquanto que em anos de menor precipitação esse resultado é observado apenas no consórcio com braquiária + milheto. Além disso, uso de braquiária solteira resultou em menor concentração de prolina foliar.

A introdução de braquiária solteira ou consorciada com uma gramínea e uma leguminosa no sistema diminui a perda de produtividade de algodão em anos com precipitação regular e suficiente. Entretanto, quando ocorre menor precipitação, a vegetação espontânea, ou seja, não uso de plantas de cobertura, resultou em maior perda de produtividade em relação à introdução de qualquer das espécies de cobertura.

REFERÊNCIAS

- ABDELRAHEEM, A.; ESMAEILI, N.; O'CONNELL, M.; ZHANG, J. Progress and perspective on drought and salt stress tolerance in cotton. **Industrial Crops and Products**, v. 130, p. 118-129, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.070>
- ABID, M.; ALI, S.; QI, L. K.; ZAHOR, R.; TIAN, Z.; JIANG, D.; SNIDER, J. L.; DAI, T. Physiological and biochemical changes during drought and recovery periods at tillering and jointing stages in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Scientific reports**, v. 8, p. 4615, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21441-7>
- ABRAPA. **Associação Brasileira dos Produtores de Algodão**. 2021. <https://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/algodao-no-brasil.aspx>
- ACHARYA, B. S.; DODLA, S.; GASTON, L. A.; DARAPUNENI, M.; WANG, J. J.; SEPAT, S.; BOHARA, H. Winter Cover Crops Effect on Solo Moisture and Soybean Growth and Yield under Different Tillage Systems. **Soil & Tillage Research**, v. 195, p. 104430, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104430>
- ACQUAAH, G. **Principles of plant genetics and breeding**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009.
- ADAMS, C.; THAPA, S.; DELAUNE, P. Growth and development of irrigated cotton in conservation management systems of the Texas Rolling Plains. **Agronomy Journal**, v. 112, p. 1805-1814, 2020. <https://doi.org/10.1002/ajj2.20172>
- ALMEIDA, D. S.; ROCHA, K. F.; SOUZA, M.; DELAI, L. B.; ROSOLEM, C. A. Soil phosphorus bioavailability and soybean grain yield impaired by ruzigrass. **Agronomy Journal**, v. 110, p. 654-663, 2018. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.08.0451>
- ALVAREZ, R.; STEINBACH, H. S.; DE PAEPE, J. L. Cover crop effects on soils and subsequent crops in the pampas: A meta-analysis. **Soil and Tillage Research**, v. 170, p. 53-65, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.03.005>
- ANGHINONI, G.; TORMENA, C. A.; LAL, R.; ZANCANARO, L.; KAPPES, C. Enhancing soil physical quality and cotton yields through diversification of agricultural practices in central Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 30, p. 788- 798, 2019. <https://doi.org/10.1002/ldr.3267>
- ARAÚJO, W. P.; PEREIRA, J. R.; ZONTA, J. H.; GUERRA, H. O. C.; CORDAO, M. A.; DE LIMA, R. F. Production components and water efficiency of upland cotton cultivars under water deficit strategies. **African Journal of Agricultural Research**, v. 14, p. 887-896, 2019. <https://doi.org/10.5897/AJAR2019.13907>
- BALKCOM, K. S.; REEVES, D. W.; SHAW, J. N.; BURMEST E.R., C. H.; CURTIS, L.

M. Cotton yield and fiber quality from irrigated tillage systems in the Tennessee Valley. **Agronomy Journal**, v. 98, p. 596–602, 2006.

<https://doi.org/10.2134/agronj2005.0219>

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

[doi:10.2134/agronj1994.00021962008600050008x](https://doi.org/10.2134/agronj1994.00021962008600050008x)

BANGE, M.; CARBERRY, P.; MARSHALL, J.; MILROY, S, 2005. Row configuration as a tool for managing rain-fed cotton systems: review and simulation analysis.

Australian Journal of Experimental Agriculture, v. 45, p. 65–77, 2005.

<https://doi.org/10.1071/EA03254>

BARBOSA, A. M.; FEITOSA, L. G. A. Episódios de estiagem em Presidente Prudente-SP. **Boletim de Pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Unoeste**, v. 2, p. 13-16, 2021.

BASCHE, A. D.; KASPAR, T. C.; ARCHONTOULIS, S. V.; JAYNES, D. B.; SAUER, T. J.; PARKIN, T. B.; MIGUEZ, F. E. Soil water improvements with the long-term use of a winter rye cover crop. **Agricultural Water Management**, v. 172, p. 40-50, 2016.

<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.006>

BASCHE, A.; DELONGE, M. The impact of continuous living cover on soil hydrologic properties: A meta-analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v. 81, p. 1179- 1190, 2017.

[doi:10.2136/sssaj2017.03.0077](https://doi.org/10.2136/sssaj2017.03.0077)

BATES, L.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water- stress studies. **Plant Soil**, v. 39, p. 205–207, 1973.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P.; BARBOSA, J. C. Intervalo hídrico ótimo e produtividade de culturas de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 10, p. 639-645, 2006.

<https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000300015>

BLANCO-CANQUI, H.; SHAPIRO, C. A.; WORTMANN, C. S.; DRIJBER, R. A.; MAMO, M.; SHAVER, T. M.; Ferguson, R. B. Soil organic carbon: The value to soil properties. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 68, n. 5, p. 129A-134A, 2013.

<https://doi.org/10.2489/jswc.68.5.129A>

BLUM, A. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential: are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 56, p. 1159–1168, 2005.

[doi: 10.1071/AR05069](https://doi.org/10.1071/AR05069)

BRITO, G. G.; SOFIATTI, V.; DE ANDRADE LIMA, M. M.; DE CARVALHO, L. P.; FILHO, J. L. DA S. Physiological traits for drought phenotyping in cotton Giovani.

Acta Scientiarum. Agronomy, v. 33, p. 117–125, 2011.

<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i1.9839>

BURKE, J. J.; ULLOA, M. Stress responses of commercial cotton cultivars to reduced irrigation at flowering and maximization of yields under sub-optimal subsurface drip irrigation. **Journal of Cotton Science**, v. 21, p. 229–241, 2017.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Soybean root growth and yield in rotation with cover crops under chiseling and no-till. **European Journal of Agronomy**, v. 33, p. 242- 249, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.06.002>

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. V.; CAMARGO, C. E. O. Adubação de cereais. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. p. 43-50. (IAC. Boletim técnico, 100).

CHALISE, K. S.; SINGH, S.; WEGNER, B. R.; KUMAR, S.; PÉREZ-GUTIÉRREZ, J. D.; OSBORNE, S. L.; ROHILA, J. S. Cover crops and returning residue impact on soil organic carbon, bulk density, penetration resistance, water retention, infiltration, and soybean yield. **Agronomy Journal**, 2018. [doi:10.2134/agronj2018.03.0213](https://doi.org/10.2134/agronj2018.03.0213)

CHEN, G.; WEIL, R. R. Penetration of Cover Crop Root through Compacted Soils. **Plant and Soil**, v. 331, p. 31-43, 2010. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-009-0223-7>

CHU, M.; JAGADAMMA, S.; WALKER, F. R.; EASH, N. S.; BUSCHERMOHLE, M. J.; DUNCAN, L. A. Effect of Multispecies Cover Crop Mixture on Soil Properties and Crop Yield. **Agricultural & Environmental Letters**, v. 2, p. 1-5, 2017. <https://doi.org/10.2134/ael2017.09.0030>

ÇERÇİOĞLU, M.; ANDERSON, S. H.; UDAWATTA, R. P.; ALAGELE, S. Effect of cover crop management on soil hydraulic properties. **Geoderma**, v. 343, p. 247-253, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.02.027>

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos safra 2016/17** - Quarto levantamento. [acessado em: 19 de jan. de 2017]. Disponível em: Disponível em: <http://www.conab.gov.br>

CONATY, W. C.; MAHAN, J. R.; NEILSEN, J. E.; TAN, D. K.; YEATES, S. J.; SUTTON, B. G. The relationship between cotton canopy temperature and yield, fibre quality and water-use efficiency. **Field Crops Research**, v. 183, p. 329-341, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.08.010>

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; BORGHI, E.; MATEUS, G. P. Benefits of integrating crops and tropical pastures as system of production. **Better Crops International**, v. 94, p. 14-16, 2010.

DAS, A.; RUSHTON, P.; ROHILA, J. S. Metabolomic profiling of soybeans (*Glycine max* L.) reveals the importance of sugar and nitrogen metabolism under drought and heat stress. **Plants**, v. 6, p. 21, 2017. [doi:10.3390/plants6020021](https://doi.org/10.3390/plants6020021)

DELAUNE, P. B.; MUBVUMBA, P.; FAN, Y.; BEVERS, S. Agronomic and economic impacts of cover crops in Texas rolling plains cotton. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, v. 3, p. e20027, 2020. <https://doi.org/10.1002/agg2.20027>

EMBRAPA. **Série Desafios do Agronegócio – Algodão**. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/198192/1/SerieDesafioAgronego cioBrasileiroNT3Algodao.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2020.

FOLBERTH, C.; SKALSKÝ, R.; MOLTCHANOVA, E.; BALKOVIČ, J.; AZEVEDO, L. B.; OBERSTEINER, M.; VAN DER VELDE, M. Uncertainty in soil data can outweigh climate impact signals in global crop yield simulations. **Nature communications**, v. 7, p. 11872, 2016. [doi: 10.1038/ncomms11872](https://doi.org/10.1038/ncomms11872)

GAO, M.; SNIDER, J. L.; BAI, H.; HU, W.; WANG, R.; MENG, Y.; WANG, Y.; CHEN, B.; ZHOU, Z. Drought effects on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) fibre quality and fibre sucrose metabolism during the flowering and boll-formation period. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 206, p. 309-321, 2020. <https://doi.org/10.1111/jac.12389>

GERIK, T. J.; FAVER, K. L.; THAXTON, P. M.; EL-ZIK, K. M. Late season water stress in cotton: I. Plant growth, water use and yield. **Crop Science**, v. 36, p. 914-921, 1996. [doi:10.2135 / cropsci1996.0011183X003600040017x](https://doi.org/10.2135/cropsci1996.0011183X003600040017x)

GRUNDY, P. R.; YEATES, S. J.; BELL, K. L. Cotton production during the tropical monsoon season. II–Biomass accumulation, partitioning and RUE in response to boll loss and compensation. **Field Crops Research**, v. 255, p. 107868, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107868>

GUARESCHI R. F.; PEREIRA M. G.; PERIN A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 36, p. 909-920, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000300021>

GUINN, G.; MAUNEY, J. R. Fruiting of cotton. II. Effects of plant moisture status and active boll load on boll retention 1. **Agronomy Journal**, v. 76, p. 94-98, 1984. <https://doi.org/10.2134/agronj1984.00021962007600010024x>

HAJIHASHEMI, S.; EHSANPOUR, A. A. Influence of exogenously applied paclobutrazol on some physiological traits and growth of *Stevia rebaudiana* under in vitro drought stress. **Biologia**, v. 68, p. 414–420, 2013. [doi: 10.2478/s11756-013-0165-7](https://doi.org/10.2478/s11756-013-0165-7)

HAJIHASHEMI, S.; EHSANPOUR, A. A. Antioxidant response of *Stevia rebaudiana* B. to polyethylene glycol and paclobutrazol treatments under *in vitro* culture. **Applied biochemistry and biotechnology**, v. 172, p. 4038–4052, 2014. [doi: 10.1007/s12010-014-0791-8](https://doi.org/10.1007/s12010-014-0791-8)

HAMARASHID, N.; OTHMAN, M.; HUSSAIN, M. Effects of soil texture on chemical compositions, microbial populations and carbon mineralization in soil. **The Egyptian Society of Experimental Biology**, v. 6, p. 59–64, 2010.

HASSINK, J. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. **Plant and Soil**, v. 191, p. 77-87, 2016. <https://doi.org/10.1023/A:1004213929699>

HOBBS, P. R.; SAYRE, K.; GUPTA, R. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, p. 543–555, 2008. [doi:10.1098/rstb.2007.2169](https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2169)

HU, W.; SNIDER, J. L.; WANG, H.; ZHOU, Z.; CHASTAIN, D. R.; WHITAKER, J.; PERRY, C. D.; BOURLAND, F. M. The water-induced variation in yield and quality can be explained by the altered contributions of yield components in field-grown cotton. **Field Crops Research**, v. 224, p. 139-147, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.05.013>

HUBBARD, R. K.; STRICKLAND, T. C.; PHATAK, S. Effects of cover crop systems on soil physical properties and carbon/nitrogen relationships in the coastal plain of southeastern USA. **Soil and Tillage Research**, v. 126, p. 276–283, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.07.009>

HUNTER, M. C.; SCHIPANSKI, M. E.; BURGESS, M. H.; LACHANCE, J. C.; BRADLEY, B. A.; BARBERCHECK, M. E.; KAYE, J. P.; MORTENSEN, D. A. Cover Crop Mixture Effects on Maize, Soybean, and Wheat Yield in Rotation. **Agricultural & Environmental Letters**, v. 4, p. 1-5, 2019. <https://doi.org/10.2134/ael2018.10.0051>

ITC. **Cotton and climate change**: impacts and options to mitigate and adapt. International Trade Centre. Technical Report ID=42267. 2011.

JOHNSON, J. M.; STROCK, J. S.; TALLAKSEN, J. E.; REESE, M. Corn stover harvest changes soil hydrology and soil aggregation. **Soil and Tillage Research**, v. 161, p. 106-115, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.04.004>

JÚNIOR, D. D. V.; FIORILLIO, N. O.; VALADÃO, F. C. A.; GUIMARÃES, P. R.; TARGINO, C. M. S.; SILVA, J. L.; DALCHIAVON, F. C. Critical limits of the soil physical properties for cotton. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, p. 1-9, 2020. [DOI:10.5039/agraria.v15i1a5809](https://doi.org/10.5039/agraria.v15i1a5809)

JUNGKLANG, J.; SAENGNIL, K.; UTHAIBUTRA, J. Effects of water-deficit stress

and paclobutrazol on growth, relative water content, electrolyte leakage, proline content and some antioxidant changes in *Curcuma alismatifolia* Gagnep. cv. Chiang Mai Pink. Saudi. **Saudi journal of biological sciences**, v. 24, p. 1505-1512, 2016. doi: [10.1016/j.sjbs.2015.09.017](https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.09.017).

KAHIMBA, F. C.; RANJAN, R. S.; FROESE, J.; ENTZ, M.; NASON, R. Cover crop effects on infiltration, soil temperature, and soil moisture distribution in the Canadian Prairies. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 24, p. 321-333, 2008. doi: 10.13031/2013.24502

KARL, T. R.; MELILLO, J. M.; PETERSON, T. C. **Global climate change impacts in the United States**. New York: Cambridge University Press, 2009.

KHAN, A.; TAN, D. K. Y.; AFRIDI, M. Z.; LUO, H.; TUNG, S. A.; AJAB, M.; FAHAD, S. Nitrogen fertility and abiotic stresses management in cotton crop: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 14551-14566, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8920-x>

KHOKHAR, E. S.; SHAKEEL, A.; MAQBOOL, M. A.; ANWAR, M. W.; TANVEER, Z.; IRFAN, M. F. Genetic study of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) genotypes for different agronomic, yield and quality traits. **Pakistan Journal of Agricultural Research**, v. 30, 2017. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjar/2017/30.4.363.372>

KITAO, M.; LEI, T. Circumvention of over-excitation of PSII by maintaining electron transport rate in leaves of four cotton genotypes developed under long-term drought. **Plant Biology**, v. 9, p. 69–76, 2007. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924280>

KOHMANN, M. M.; SOLLENBERGER, L. E.; DUBEUX JR, J. C.; SILVEIRA, M. L.; MORENO, L. S.; DA SILVA, L. S.; ARYAL, P. Nitrogen fertilization and proportion of legume affect litter decomposition and nutrient return in grass pastures. **Crop Science**, v. 58, p. 2138-2148. 2018. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.01.0028>

KOLAH, M.; FAGHANI, E.; GOLDSON-BARNABY, A. E.; SOHRABI, B. Physiological traits and anatomic structures of the seed for two short cotton season genotypes (*Gossypium hirsutum* L.) under water stress. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 19, p. 89-98, 2019. doi: [10.1016/S2095-3119\(19\)62619-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62619-5)

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Elsevier Science, 1995.

LAMB, M. C.; SORENSEN, R. B.; NUTI, R. C.; BUTTS, C. L. Agronomic and economic effect of irrigation rate in cotton. **Crop, Forage & Turfgrass Management**, v. 1, p. 1-7, 2015. <https://doi.org/10.2134/cftm2014.0061>

LEWIS, K. L.; BURKE, J. A.; KEELING, W. S.; McCALLISTER, D. M.; DeLAUNE, P. B.; KEELING, J. W. Soil Benefits and Yield Limitations of Cover Crop Use in Texas

High Plains Cotton. **Agronomy Journal**, v. 110, p. 1616-1623, 2018.
<https://doi.org/10.2134/agronj2018.02.0092>

LOBELL, D. B.; ROBERTS, M. J.; SCHLENKER, W.; BRAUN, N.; LITTLE, B. B.; REJESUS, R. M.; HAMMER, G.L. Greater Sensitivity to Drought Accompanies Maize Yield Increase in the U.S. **Midwest. Science**, v. 344, p. 516–519, 2014. [DOI: 10.1126/science.1251423](https://doi.org/10.1126/science.1251423)

LOKA, D. M.; DERRICK, M.; OOSTERHUIS, D. M.; RITCHIE, G. L. Water -deficit stress in cotton. In: *Stress Physiology in Cotton*. (Oosterhuis, D. M., eds). **Number Seven The Cotton Foundation Book Series**, p. 37 -72, 2011.

LIMA, J. S.; de ASSIS SILVA, S.; da SILVA, J. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, p. 16-23, 2013.

LOBELL, D. B.; ROBERTS, M. J.; SCHLENKER, W.; BRAUN, N.; LITTLE, B. B.; REJESUS, R. M.; HAMMER, G. L. Greater sensitivity to drought accompanies maize yield increase in the US Midwest. **Science**, v. 344, p. 516-519, 2014. [DOI: 10.1126/science.1251423](https://doi.org/10.1126/science.1251423)

LUO, H. H.; ZHANG, H. Z.; HAN, H. Y.; HU, Y. Y.; ZHANG, Y. L.; ZHANG, W. F. Effects of water storage in deeper soil layers on growth, yield, and water productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in arid areas of northwestern China. **Irrigation and drainage**, v. 63, p. 59–70, 2014. [doi: 10.1002/ird.1793](https://doi.org/10.1002/ird.1793)

LUO, H. H.; YONG, H. H.; ZHANG, Y. L.; ZHANG, W. F. Effects of water stress and rewatering on photosynthesis, root activity, and yield of cotton with drip irrigation under mulch. **Photosynthetica**, v. 54, p. 65-73, 2016. [DOI: 10.1007/s11099-015-0165-7](https://doi.org/10.1007/s11099-015-0165-7)

MAIN, L. L. **Cotton Growth and Development**, University of Tennessee Extension Bulletin W287 12-0108 4/12, 2012.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agrônômica Ceres, 2006. 631p

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p. 210, 1997.

MARSHALL, M. W.; WILLIAMS, P.; NAFCHI, A. M.; MAJA, J. M.; PAYERO, J.; MUELLER, J.; KHALILIAN, A. Influence of Tillage and Deep Rooted Cool Season Cover Crops on Soil Properties, Pests, and Yield Responses in Cotton. **Open Journal of Soil Science**, v. 6, p. 149-158, 2016.
<http://dx.doi.org/10.4236/ojss.2016.610015>.

MALIK, T. H.; AHSAN, M. Z. Review of the cotton market in Pakistan and its future prospects. **Oilseeds Fats Crops Lipids**, v. 23, p. D606, 2016.
<https://doi.org/10.1051/ocl/2016043>

MCDANIEL, M. D.; GRANDY, A. S.; TEMANN, L. K.; WEINTRAUB, M. N. Crop rotation complexity regulates the decomposition of high and low quality residues. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 78, p. 243-254, 2014.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.07.027>

MCDONALD, M. D.; LEWIS, K. L.; RITCHIE, G. L. Short Term Cotton Lint Yield Improvement with Cover Crop and No-Tillage Implementation. **Agronomy**, v. 10, p. 994. 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10070994>

MCMICHAEL, B.L.; OOSTERHUIS, D. M.; ZAK, J. C.; BEYROUTY, C. A. Growth and development of root systems. In: STEWART, J.M.; OOSTERHUIS, D.M.; HEITHOLT, J.; MAUNEY, J.R. (Ed.). **Physiology of Cotton**. New York: Springer, 2010. p.57-71.

MEEKS, C. D.; SNIDER, J. L.; BABB-HARTMAN, M. E.; BARNES, T. L. Evaluating the Mechanisms of Photosynthetic Inhibition under Growth-Limiting, Early-Season Water Deficit Stress in Cotton. **Crop Science**, v. 59, p. 1144-1154, 2019.
<https://doi.org/10.2135/cropsci2018.07.0432>

MOLINARI, H. B. C.; MARUR, C. J.; DAROS, E.; DE CAMPOS, M. K. F.; DE CARVALHO, J. F. R. P.; FILHO, J. C. B.; VIEIRA, L. G. E. Evaluation of the stress- inducible production of proline in transgenic sugarcane (*Saccharum spp.*): osmotic adjustment, chlorophyll fluorescence and oxidative stress. **Physiologia Plantarum**, v. 130, p. 218-229, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.00909.x>

MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; DA SILVA, V. R.; DA LUZ, F. B. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 351-362, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.07.015>

NAKHFOROOSH, A.; GRAUSGRUBER, H.; KAUL, H. P.; BODNER, G. Wheat root diversity and root functional characterization. **Plant and Soil**, v. 380, p. 211–229, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2082-0>

NOURI, A., LEE, J.; YIN, X.; TYLER, D. D. SAXTON, A. M. Thirty-four years of no-tillage and cover crops improve soil quality and increase cotton yield in Alfisols, Southeastern USA. **Geoderma**, v. 337, p.998-1008, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.016>

PARAHYBA, R. B. V.; ALMEIDA, B. G. DE; ROLIM NETO, F. C.; ARAÚJO, M. DO S. B. DE; SILVA, M. S. L. Retenção de água em solos arenosos da Bacia Sedimentar

do Tucano, Bahia. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15, 2015, Natal. **Anais Eletrônicos...** Natal: CBCS, 2015.

PARIDA, A. K.; DAGAONKAR, V. S.; PHALAK, M. S.; UMALKAR, G.; AURANGABADKAR, L. P. Alterations in photosynthetic pigments, protein and osmotic components in cotton genotypes subjected to short -term drought stress followed by recovery. **Plant Biotechnology Reports**, v. 1, p. 37-48, 2007. <https://doi.org/10.1007/s11816-006-0004-1>

PETTIGREW, W.T. Cotton genotypic variation in the photosynthetic response to irradiance. **Photosynthetica**, v. 42, p. 567-571. 2004. <https://doi.org/10.1007/S11099-005-0014-1>

PERKONS, U.; KAUTZ, T.; UTEAU, D.; PETH, S.; GEIER, V.; THOMAS, K.; HOLZ, K. L.; ATHAMANN, M.; PUDE, R.; KÖPKE, U. Root-length densities of various annual crops following crops with contrasting root systems. **Soil and Tillage Research**, v. 137, p. 50-57, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.11.005>

PILON, C.; LOKA, D.; SNIDER, J. L.; OOSTERHUIS, D. M. Drought-induced osmotic adjustment and changes in carbohydrate distribution in leaves and flowers of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Journal of Agronomy and Crop Science**, v, 205, p. 168-178, 2019. <https://doi.org/10.1111/jac.12315>

RAPER, R.; REEVES, D.; BURMESTER, C.; SCHWAB, E. Tillage depth, tillage timing, and cover crop effects on cotton yield, soil strength, and tillage energy requirements. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 16, p. 379, 2000.

REDDY, K. R.; DAVIDONIS, G. H.; JOHNSON, A. S.; VINYARD, B. T. Temperature regime and carbon dioxide enrichment alter cotton boll development and fiber properties. **Agronomy Journal**, v. 91, p. 851-858, 1999. <https://doi.org/10.2134/agronj1999.915851x>

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Ed. Manole Ltda. Cap. 3, p. 27 – 65, 1990.

RITCHIE, G. G. L.; BEDNARZ, C. W.; JOST, P. H.; BROWN, S. M. Cotton Growth and Development, Univ. **Georgia Coop Extension Bulletin** 1252, 2007.

ROSOLEM, C. A. **Ecofisiologia e manejo da cultura do algodoeiro**. Campinas: Informações Agronomicas, 2001.

ROSOLEM, C. A.; PIVETTA, L. A. Mechanical and biological approaches to alleviate soil compaction in tropical soils: assessed by root growth and activity (Rb uptake) of soybean and maize grown in rotation with cover crops. **Soil use and Management**, v. 33, p. 141-152, 2017. <https://doi.org/10.1111/sum.12313>

SCHAEFER, C.R.; RITCHIE, G.L.; BORDOVSKY, J.P.; LEWIS, K.; KELLY, B. Irrigation timing and rate affect cotton boll distribution and fiber quality. **Agronomy Journal**, v. 110, p. 922–931, 2018. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.06.0360>

SCHLENKER, W.; ROBERTS, M. J. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to US crop yields under climate change. **Proceedings of the National Academy of sciences**, v. 106, p. 15594–15598, 2009. <https://doi.org/10.1073/pnas.0906865106>

SEBEN JUNIOR, G. D. F.; CORÁ, J. E.; LAL, R. Physical quality of an Oxisol under no-tillage subjected to different cropping systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1568-1574, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900056>

SEKMEN, A. H.; OZGUR, R.; UZILDAY, B.; TURKAN, I. Reactive oxygen species scavenging capacities of cotton (*Gossypium hirsutum*) cultivars under combined drought and heat induced oxidative stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 99, p. 141–149, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.11.010>

SHAREEF, M.; GUI, D.; ZENG, F.; AHMED, Z.; WAQAS, M.; ZHANG, B.; IQBAL, H.; FIAZ, M. Impact of drought on assimilates partitioning associated fruiting physiognomies and yield quality attributes of desert grown cotton. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 40, p. 1-12, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2646-3>

SHARMA, V.; IRMAK, S.; SHARMA, V.; DJAMAN, K.; ODHIAMBO, L. Soil-water dynamics, evapotranspiration, and crop coefficients of cover-crop mixtures in seed maize cover-crop rotation fields. I: Soil-water dynamics and evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 143, p. 04017032, 2017. [doi:10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.000121](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.000121)

SHARMA, P.; SINGH, A.; KAHLON, C. S.; BRAR, A. S.; GROVER, K. K.; DIA, M.; STEINER, R. L. The Role of Cover Crops towards Sustainable Soil Health and Agriculture—A Review Paper. **American Journal of Plant Sciences**, v. 9, p. 1935, 2018. [doi: 10.4236 / ajps.2018.99140](https://doi.org/10.4236/ajps.2018.99140)

SHENG, X. F.; HE, L. Y.; HUANG, W. Y. The conditions of releasing potassium by a silicate-dissolving bacterial strain NBT. **Agricultural Sciences in China**, v. 1, p. 662-666, 2002.

SINCLAIR, T. R. Effective Water Use Required for Improving Crop Growth Rather Than Transpiration Efficiency. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1442, 2018. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01442>

SNIDER, J. L.; OOSTERHUIS, D. M.; SKULMAN, B. W.; KAWAKAMI, E. M. Heat stress-induced limitations to reproductive success in *Gossypium hirsutum*.

Physiologia plantarum, v. 137, p. 125–138, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2009.01266.x>

SNOWDEN, C.; RITCHIE, G.; CAVE, J.; KEELING, W.; RAJAN, N. Multiple irrigation levels affect boll distribution, yield, and fiber micronaire in cotton. **Agronomy Journal**, v. 105, p. 1536–1544, 2013. <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0084>

STŘEDA, T.; DOSTÁL, V.; HORÁKOVÁ, V.; CHLOUPEK, O. Effective use of water by wheat varieties with different root system sizes in rain-fed experiments in Central Europe. **Agricultural Water Management**, v. 104, p. 203–209, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.12.018>

TANG, F., ZHU, J., WANG, T., SHAO, D. Water deficit effects on carbon metabolism in cotton fibers during fiber elongation phase. **Acta physiologiae plantarum**, v. 39, p. 69, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11738-017-2368-y>

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, planta e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, p. 174, 1995.

TIECHER, T. **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil**: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água. Porto Alegre: UFRGS, 2016

TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S.; DA SILVA, A. P. Quantificação da resistência tênil e da friabilidade de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 943-952, 2008. [doi: 10.1590/S0100-06832008000300004](https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300004)

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; DE ASSIS, R. L.; DE SOUZA, Z. M. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 428-437, 2015. [doi: 10.1590/01000683rbc20140597](https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140597)

TOSTI, G.; BENINCASA, P.; FARNESELLI, M.; TEI, F.; GUIDUCCI, M. Barley-hairy vetch mixture as cover crop for green manuring and the mitigation of N leaching risk. **European Journal of Agronomy**, v. 54, p. 34–39, 2014. [doi:10.1016/j.eja.2013.11.012](https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.11.012)

USDA-ERS, 2017b. **Cotton and Wool Outlook**. Accessed 29 Aug. 2018. <http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/ers/CWS//2010s/2017/CWS-09-14-2017.pdf>

VALADÃO, F. C. A.; WEBER, O. L. S.; VALADÃO JÚNIOR, D. D.; SCAPINELLI, A.; DEINA, F. R.; BIANCHINI, A. Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 243-255, 2015.

<https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20150144>

XIAO, L.; YAO, K.; LI, P.; LIU, Y.; CHANG, E.; ZHANG, Y.; ZHU, T. Increased soil aggregate stability is strongly correlated with root and soil properties along a gradient of secondary succession on the Loess Plateau. **Ecological Engineering**, v. 143, p. 105671, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105671>

ULLAH, A.; SUN, H.; YANG, X.; ZHANG, X. Drought coping strategies in cotton: increased crop per drop. **Plant biotechnology journal**, v. 15, p. 271-284, 2017. <https://doi.org/10.1111/pbi.12688>

ULLOA, M.; DE SANTIAGO, L.M.; HULSE-KEMP, A.M.; STELLY, D.M.; BURKE, J.J. Enhancing Upland cotton for drought resilience, productivity, and fiber quality: comparative evaluation and genetic dissection. **Molecular Genetics and Genomics**, v. 295, p. 155-176, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00438-019-01611-6>.

UZUN, O.; KAPLAN, S.; BASARAN, M.; DEVIREN SAYGIN, S.; YOUSSEF, F.; NOURI, A.; OZCAN, A.U.; ERPUL, G. Spatial distribution of wind-driven sediment transport rate in a fallow plot in Central Anatolia, Turkey. **Arid land research and management**, v. 31, p. 125–139, 2017. <https://doi.org/10.1080/15324982.2016.1276487>

WAHLSTRÖM, E. M.; KRISTENSEN, H. L.; THOMSEN, I. K.; LABOURIAU, R.; PULIDO-MONCADA, M.; NIELSEN, J. A.; MUNKHOLM, L. J. Effect of subsoil compaction on spatiotemporal root growth, biopore reuse and spring barley crop yield. **European Journal of Agronomy**, v. 123, p. 126225, 2021.

WANG, E.; CRESSWELL, H.; XU, J.; JIANG, Q. Capacity of soil to buffer impact of climate variability and value of seasonal forecast. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, p. 38-50, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.07.001>

WANG, J.; GRIFFITHS, R.; YING, J.; MCCOURT, P.; HUANG, Y. Development of drought-tolerant (*Brassica napus* L.) through genetic modulation of ABA-mediated stomata responses. **Crop Science**, v. 49, p. 1539–1554, 2009. [doi:10.2135/cropsci2008.09.0568](https://doi.org/10.2135/cropsci2008.09.0568)

WANG, R.; JI, S.; ZHANG, P.; MENG, Y.; WANG, Y.; CHEN, B.; ZHOU, Z. Drought effects on cotton yield and fiber quality on different fruiting branches. **Crop Science**, v. 56, p. 1265-1276, 2016b. <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.08.0477>

WITT, T.W.; ULLOA, M.; PELLETIER, M.G.; MENDU, V.; RITCHIE, G.L. Irrigation's effect and applied selection on the fiber quality of Ethyl MethaneSulfonate (EMS) treated upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Journal of Cotton Research**, v. 1, p. 17, 2018b. <https://doi.org/10.1186/s42397-018-0016-8>

WITT, T. W.; ULLOA, M.; SCHWARTZ, R. C.; RITCHIE, G. L. Response to deficit

irrigation of morphological, yield and fiber quality traits of upland (*Gossypium hirsutum* L.) and Pima (*G. barbadense* L.) cotton in the Texas High Plains. **Field Crops Research**, v. 249, p. 107759, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107759>

WORTMAN, S. E.; FRANCIS, C. A.; BERNARDS, M. L.; DRIJBER, R. A.; LINDQUIST, J. L. Optimizing cover crop benefits with diverse mixtures and an alternative termination method. **Agronomy Journal**, v. 104, p. 1425–1435, 2012. [doi:10.2134/agronj2012.0185](https://doi.org/10.2134/agronj2012.0185)

WRIGHT, A. L.; F. M. HONS, F. M. Carbon and nitrogen sequestration and soil aggregation under sorghum cropping sequences. **Biology and fertility of soils**, v. 41, p. 95– 100, 2005. <https://doi.org/10.1007/s00374-004-0819-2>

YI, X. P.; ZHANG, Y. L.; YAO, H. S.; ZHANG, W. F. Rapid recovery of photosynthetic rate following soil water deficit and re-watering in cotton plants (*Gossypium herbaceum* L.) is related to the stability of the photosystems. **Journal of plant physiology**, v. 194, p. 23– 34, 2016. [doi:10.1016/j.jplph.2016.01.016](https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.01.016)

YOOYONGWECH, S.; SAMPHUMPHUANG, T.; THEERAWITAYA, C.; CHA-UM, S. Physio-morphological responses of sweet potato [*Ipomoea batatas* L. (Lam.)] genotypes to water-deficit stress. **Plant Omics**, v. 7, p. 361–368, 2014.

YOSHIBA, Y.; KIYOSUE, T.; NAKASHIMA, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; SHINOZAKI, K. Regulation of levels of proline as an osmolyte in plants under water stress. **Plant and Cell Physiology**, v. 38, p. 1095–1102, 1997. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a029093>

YU, J.; YU, S.; FAN, S.; SONG, M.; ZHAI, H.; LI, X. Mapping quantitative trait loci for cottonseed oil, protein and gossypol content in a *Gossypium hirsutum*×*Gossypium barbadense* back cross inbred line population. **Euphytica**, v. 187, p. 191–201, 2012. [doi 10.1007/s10681-012-0630-3](https://doi.org/10.1007/s10681-012-0630-3)

ZHANG, D.; LUO, Z.; LIU, S.; LI, W.; DONG, H. Effects of deficit irrigation and plant density on the growth, yield and fiber quality of irrigated cotton. **Field Crops Research**, v. 197, p. 1-9, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.06.003>

ZHI, X.; HAN, Y.; LI, Y.; WANG, G.; FENG, L.; YANG, B.; FAN, Z.; LEI, Y.; DU, W.; MAO, S. Root growth and spatial distribution characteristics for seedlings raised in substrate and transplanted cotton. **PLOS ONE**. v. 12, p. e0190032, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190032>

ZHU, X.; SUN, L.; KUPPU, S.; HU, R.; MISHRA, N.; SMITH, J.; ESMAEILI, N.; HERATH, M.; GORE, M. A.; PAYTON, P.; SHEN, G.; ZHANG, H. The yield difference between wild-type cotton and transgenic cotton that expresses IPT depends on when water-deficit stress is applied. **Scientific reports**, v. 8, p. 2538, 2018. [doi:10.1038/s41598-018-2094](https://doi.org/10.1038/s41598-018-2094)

ZONTA, J. H.; BEZERRA, J. R. C.; PEREIRA, J. R.; SOFIATTI, V. Manejo da irrigação do algodoeiro. **Embrapa Algodão-Circular Técnica** (INFOTECA-E), 2015.

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

ZONTA, J. H.; BRANDAO, Z. N.; RODRIGUES, J. I. D. S.; SOFIATTI, V. Cotton response to water deficits at different growth stages 1. **Revista Caatinga**, v. 30, p. 980-990, 2017. <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n419rc>