



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE GURUPI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

NADIA DA SILVA RAMOS

**ECOFISIOLOGIA DE MILHO TOLERANTE SECA EM COMPETIÇÃO
COM *SENNA OBTUSIFOLIA L.* SOB DÉFICIT HÍDRICO**

**Gurupi-TO
2022**

Nadia da Silva Ramos

Ecofisiologia de milho tolerante a seca em competição com *senna obtusifolia* L. sob déficit hídrico

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal como requisito parcial à obtenção do grau de Doutora em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Andrea Lemus Erasmo

**Gurupi-TO
2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- R175e Ramos, Nadia da Silva.
Ecofisiologia de milho tolerante a seca em competição com senna obtusifolia L. sob déficit hídrico. / Nadia da Silva Ramos. – Gurupi, TO, 2022.
51 f.
- Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-Graduação (Doutorado) em Produção Vegetal, 2022.
Orientador: Eduardo Andrea Lemus Erasmo
1. Tolerância. 2. Déficit hídrico. 3. Índices. 4. Zea mays L. I. Título

CDD 635

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizada desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Nadia da Silva Ramos

Ecofisiologia de milho tolerante a seca em competição com *senna obtusifolia* l. sob déficit hídrico

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal foi avaliada para obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal e aprovada em uma forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de Aprovação: ____/____/____

Banca examinadora:

Prof. (a) Dr. (a) Eduardo Andrea Lemus Erasmo, Orientador, UFT

Prof. Dr. Aurélio Vaz de Melo, UFT

Prof. Dr. , Jacinto Pereira dos Santos, UFT

Dr. Hallefy Elias Fernandes, Prefeitura Municipal de Gurupi/Diretoria de Meio Ambiente

Dr^a. Antonia Clemilda Nunes, Técnica Administrativo, UFT

Dedico a você José Iran (Buda) (in memoriam) mais uma vez, que infelizmente não pôde estar presente neste momento tão feliz da minha vida, mas não poderia deixar de dedicar a você, pois se hoje continuo enfrentado todos os percalços da vida, teve grande contribuição, obrigado pelo carinho, incentivo e amizade. Obrigado por tudo!! Serei eternamente grata!

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à Deus por estar comigo em todos os momentos dessa Tese, iluminando minha mente e me ajudando a entender cada vez mais o motivo de tanta luta e provação.

Agradeço aos meus pais, Raimundo e Maria de Nasaré, por serem parte fundamental da minha vida, me educarem da melhor maneira possível, me formando com o caráter que hoje tenho, por estarem comigo em todas as dificuldades.

Agradeço aos meus irmãos Cleiton e Nara, pelo incentivo, as minhas filhas Anna Luisa e Anna Beatriz, aos meus sobrinhos Camyla e Lucas pelo carinho e compreensão.

Agradeço a todos os meus amigos, Cineya, Dilzane, Vanice, Layena por me ajudarem e incentivarem, tornando-se pessoas especiais e que com certeza tem um papel fundamental da minha construção como profissional e como pesquisadora.

Agradeço aos amigos do Grupo de pesquisa, Flávia, Ivan e Rita pelo companheirismo, por toda a ajuda prestada nas dificuldades e auxílio em medidas e procedimentos utilizados nessa Tese.

Ao meu amigo especial Cleyton Vieira, por toda ajuda e apoio na coleta de dados. Agradeço em especial ao meu orientador Dr. Eduardo Andrea Lemus Erasmo, por todo o conhecimento, oportunidades e por acreditar em mim.

A UFT, a CAPES e ao programa de pós-graduação em Produção Vegetal pela oportunidade.

Muito obrigado!!!!

RESUMO

A escassez de água no solo é uma situação cada vez mais comum em lavouras de sequeiro no Brasil e pode levar à redução do crescimento e da produção das plantas. Esta situação pode ser agravada ainda mais pelo surgimento de plantas daninhas pelo estabelecimento de competição por recursos de crescimento, como a água. Este trabalho avaliou a influência da competição entre a variedade de milho UFT Robusto tolerante a seca e a planta daninha *Senna obtusifolia*, bem como os efeitos do déficit hídrico sobre o comportamento fisiológico do milho. O estudo foi conduzido em viveiro na Universidade Federal do Tocantins, utilizando um delineamento experimental em blocos casualizados, com 4 repetições. Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial 3x4. O primeiro fator foi o manejo hídrico: 80% (controle), 60% e 40% da capacidade de campo (c.c). O segundo fator foram as densidades de plantas daninhas convivendo com o milho (0, 2, 4 e 6 plantas de *Senna obtusifolia*), que variava conforme as condições de disponibilidade hídrica e a densidade de plantas daninhas. O déficit hídrico foi estabelecido no estágio V3 do milho e a partir da data da suspensão da irrigação, as plantas foram submetidas às seguintes avaliações: condutância estomática (g_s ; $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E ; $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e taxa fotossintética líquida (A ; $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}$), realizadas diariamente até que as taxas de assimilação de CO_2 das plantas submetidas ao déficit hídrico fossem semelhantes às das irrigadas. Através dos dados fisiológicos foi realizada a quantificação da eficiência da carboxilação (A/C_i) ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e da eficiência instantânea no uso de água (EUA) (A/E) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) / (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$] e eficiência intrínseca da carboxilação (E/C_i) [$(\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1} / (\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1})$]. Ao final do experimento foram avaliados: altura de plantas, biomassa seca da parte aérea, biomassa seca da raiz, volume de raiz, potencial hídrico e prolina. A variedade de milho manteve altos níveis de assimilação de CO_2 , condutância estomática e transpiração, mesmo sob condições adversas. Embora o aumento da densidade de plantas tenha causado uma redução na biomassa radicular do milho, o desenvolvimento da parte aérea não foi significativamente afetado. Além disso, o manejo hídrico mais severo, correspondente a 40% da capacidade de campo, foi comprovado em maior eficiência no uso da água, demonstrando a capacidade adaptativa do genótipo às condições limitantes do cerrado. O incremento na concentração de prolina nas folhas sugere uma resposta fisiológica adaptativa ao estresse hídrico, refletida no ajuste do potencial hídrico foliar. Assim, conclui-se que o milho UFT Robusto exibe uma tolerância tanto ao déficit hídrico quanto à competição com *Senna obtusifolia*.

Palavras-Chave: Tolerância. Déficit hídrico. Índices. *Zea mays* L.

ABSTRACT

Soil water scarcity is an increasingly common situation in rainfed crops in Brazil and can lead to reduced plant growth and production. This situation can be further aggravated by the emergence of weeds and the establishment of competition for growth resources, such as water. This study evaluated the influence of competition between the drought-tolerant UFT Robusto corn variety and the weed *Senna obtusifolia*, as well as the effects of water deficit on the physiological behavior of corn. The study was conducted in a nursery at the Federal University of Tocantins, using a randomized block experimental design with 4 replications. The treatments were arranged in a 3x4 factorial scheme. The first factor was water management: 80% (control), 60% and 40% of field capacity (f.c.). The second factor was the densities of weeds coexisting with corn (0, 2, 4 and 6 *Senna obtusifolia* plants), which varied according to water availability conditions and weed density. Water deficit was established at the V3 stage of corn and from the date of irrigation suspension, the plants were subjected to the following evaluations: stomatal conductance (g_s ; $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiration (E ; $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and net photosynthetic rate (A ; $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}$), performed daily until the CO_2 assimilation rates of the plants subjected to water deficit were similar to those of the irrigated plants. Through the physiological data, the quantification of carboxylation efficiency (A/C_i) ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) and instantaneous water use efficiency (EUA) (A/E) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) / (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})$] and intrinsic carboxylation efficiency (E/C_i) [$(\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}) / (\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1})$] were performed. At the end of the experiment, the following were evaluated: plant height, shoot dry biomass, root dry biomass, root volume, water potential and proline. The corn variety maintained high levels of CO_2 assimilation, stomatal conductance and transpiration, even under adverse conditions. Although the increase in plant density caused a reduction in corn root biomass, shoot development was not significantly affected. Furthermore, the most severe water management, corresponding to 40% of field capacity, was proven to result in greater water use efficiency, demonstrating the adaptive capacity of the genotype to the limiting conditions of the cerrado. The increase in proline concentration in the leaves suggests an adaptive physiological response to water stress, reflected in the adjustment of leaf water potential. Thus, it is concluded that UFT Robusto corn exhibits tolerance to both water deficit and competition with *Senna obtusifolia*.

Keywords: Tolerance. Water deficit. Indices. *Zea mays* L.

LISTA DE SIGLAS

A	Assimilação líquida
ATP	Adenosina Trifosfato
DIC	Delineamento inteiramente casualizado
E	Transpiração
GS	Condutância estomática
MSC	Massa seca caule
MSF	Massa seca da folha
MSR	Massa seca da raiz
NADP	Fosfato de dinucleotídeo de adenina
PEP	Fosfoenolpiruvato
PSI	Fotossistema I
PSII	Fotossistema II
VR	Volume de raiz
CC	Capacidade de campo
CRA	conteúdo relativo de água
EiC	Eficiência intrínseca da carboxilação
EiUA	Eficiência intrínseca do uso da água
EUA	Eficiência do uso da água
MF	Massa fresca
MT	Massa túrgida

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	9
2	TROCAS GASOSAS DO MILHO ROBUSTO-UFT EM COMPETIÇÃO COM SENNA OBTUSIFOLIA E DÉFICIT HÍDRICO.....	11
3	COMPETIÇÃO ENTRE <i>SENNA OBTUSIFOLIA</i> E A CULTIVAR DE MILHO ROBUSTO -UFT (TOLERANTE A SECA) SOB DÉFICIT HÍDRICO.....	26
	REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO GERAL

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas mais importantes e amplamente cultivadas em todo o mundo, devido ao elevado valor nutricional e versatilidade na alimentação humana e animal (Santos *et al.*, 2017; Mutlu *et al.*, 2018). Além da significância alimentar, o milho desempenha papel crucial em diversas cadeias agroindustriais, contribuindo significativamente na economia global (Ranum *et al.*, 2014; Kopp *et al.*, 2016).

No Brasil, o milho é uma das principais culturas anuais, sendo fundamental na economia devido à alta capacidade de geração de empregos e renda (Pedrotti *et al.*, 2017). No entanto, a produtividade do milho varia amplamente entre as diferentes regiões do país, refletindo as diversas condições de cultivo. Incluindo fatores ambientais adversos, como o estresse hídrico (Araújo *et al.*, 2017).

O estresse hídrico é um dos desafios mais prementes na produção de milho. Mesmo sendo uma planta C4, que possui a capacidade de realizar fotossíntese com os estômatos parcialmente fechados, o milho ainda sofre consideravelmente sob déficit hídrico, levando a reduções significativas em crescimento e produtividade.

A ausência de híbridos de milho que sejam comercialmente disponíveis e verdadeiramente tolerantes à seca evidencia a necessidade de avanços na modificação genética. Um exemplo promissor nesse campo é o milho DroughtGard™ da Bayer Crop Science, que expressa a proteína *cspB* para melhorar a resistência à seca. Contudo, as pesquisas sobre híbridos tolerantes à seca apresentam resultados variados quanto à eficiência do uso da água e ao rendimento de grãos. Além disso, a competição com plantas daninhas, como a *Senna obtusifolia* L., impõe um estresse biótico adicional, desafiando ainda mais a produção agrícola em um contexto de mudanças climáticas (Ramesh *et al.*, 2017).

A cultivar de milho UFT Robusto, desenvolvida em colaboração com a Empresa Pioneira, e categorizada como tolerante à seca. Esta tolerância é atribuída a características específicas desenvolvidas durante o processo de seleção, como o diâmetro do colmo nos estágios iniciais, que serve como um órgão equilibrador, promovendo a remobilização eficiente dos fotoassimilados durante períodos de estresse hídrico (Melo *et al.*, 2018). A *Senna obtusifolia*, conhecida como fedegoso, é uma planta daninha de grande preocupação na agricultura devido à sua natureza invasiva e ao impacto adverso que causa nas culturas. Compete agressivamente por recursos essenciais como água, nutrientes e luz solar, comprometendo o crescimento e a produtividade das culturas. Além disso, sua capacidade

alelopática e resistência a herbicidas tornam o controle ainda mais complexo (Ponte et al., 2023).

A prolífica produção de sementes da *Senna obtusifolia* contribui na disseminação persistente, exacerbando os desafios econômicos e agrônômicos enfrentados pelos agricultores. Em condições de baixa disponibilidade hídrica, o manejo de plantas daninhas pode intensificar os efeitos negativos do déficit hídrico, promovendo alterações na condutância estomática e na concentração interna de gases, afetando a atividade fotossintética das culturas (Afifi et al., 2012). A presença dessas plantas daninhas pode intensificar a escassez de água no solo, resultando em perdas de até 30% no rendimento final (Jabran et al., 2015).

Plantas daninhas, como a *Senna obtusifolia*, exibem diferentes estratégias de adaptação à seca, tais como a manutenção do potencial hídrico foliar, que permite que os estômatos permaneçam abertos por mais tempo em condições de baixa disponibilidade hídrica (Larcher, 2006). Compreender esses mecanismos de adaptação é essencial para entender as interações competitivas entre o milho e as plantas daninhas, bem como em desenvolver estratégias de manejo que minimizem a competição por recursos hídricos.

Com isso, objetiva-se avaliar os efeitos fisiológicos, morfológicos e bioquímicos da competição entre o milho tolerante à seca (*Zea mays* L.) e a *Senna obtusifolia* sob condições de déficit hídrico.

2 TROCAS GASOSAS DO MILHO ROBUSTO-UFT EM COMPETIÇÃO COM SENNA OBTUSIFOLIA E DEFICIT HÍDRICO

Resumo

O déficit hídrico pode alterar as funções fisiológicas vitais e comprometer o crescimento e a produtividade das plantas. Esses efeitos podem ser intensificados por plantas daninhas que competem pela água do solo disponível para as plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da competição entre milho tolerante à seca (*Zea mays* L.) e *Senna obtusifolia* sob déficit hídrico. Utilizou-se um esquema fatorial 3x4 com 4 repetições, com os fatores sendo regimes hídricos (80%, 60%, 40% da capacidade de campo) e densidades de *Senna obtusifolia* (0, 2, 4, 6 plantas). O déficit hídrico começou no estágio V3 do milho. Observou-se que o déficit hídrico influenciou a transpiração do milho Robusto, mas a variedade demonstrou boa tolerância, com melhor desempenho em 80% da capacidade de campo, evidenciado por taxas superiores de assimilação líquida, condutância estomática e transpiração. A concentração interna de carbono (C_i) afetou a taxa fotossintética, destacando a importância da regulação estomática e do transporte de CO_2 . A eficiência intrínseca da carboxilação (E_iC) não variou significativamente, sugerindo adaptação ao déficit hídrico, enquanto a eficiência intrínseca do uso da água (E_iUA) e a eficiência do uso da água (EUA) foram otimizadas a 40% da capacidade de campo. A variedade UFT Robusto demonstrou tolerância ao déficit hídrico e à competição com *Senna obtusifolia*.

Palavras-chaves: Fedegoso, Interferência, Trocas gasosas.

Abstract

Water deficit can alter vital physiological functions and compromise plant growth and productivity. These effects can be intensified by weeds that compete for soil water available to plants. The objective of this study was to evaluate the effects of competition between drought-tolerant corn (*Zea mays* L.) and *Senna obtusifolia* under water deficit. A 3x4 factorial scheme with 4 replications was used, with the factors being water regimes (80%, 60%, 40% of field capacity) and *Senna obtusifolia* densities (0, 2, 4, 6 plants). Water deficit began at the V3 stage of corn. It was observed that water deficit influenced the transpiration of Robusto corn, but the variety demonstrated good tolerance, with better performance at 80% of field

capacity, evidenced by higher rates of net assimilation, stomatal conductance and transpiration. Internal carbon concentration (C_i) affected the photosynthetic rate, highlighting the importance of stomatal regulation and CO_2 transport. Intrinsic carboxylation efficiency (EiC) did not vary significantly, suggesting adaptation to water deficit, while intrinsic water use efficiency (EiUA) and water use efficiency (EUA) were optimized at 40% of field capacity. The UFT Robusto variety demonstrated tolerance to water deficit and competition with *Senna obtusifolia*.

Keywords: Fedegoso, Interference, Gas exchange.

Introdução

A competição entre plantas de milho e plantas daninhas é um dos fatores que afetam o rendimento e a qualidade da cultura. Entre as espécies daninhas que ocorrem na região do cerrado, a *Senna obtusifolia* (fedegoso) é uma das mais problemáticas, pois apresenta alta capacidade de adaptação e resistência ao déficit hídrico.

O milho (*Zea mays L.*) é uma das culturas mais importantes do mundo, sendo utilizado na alimentação humana, animal e industrial. No Brasil, o milho é cultivado em diversas regiões e sistemas de produção, sendo o segundo maior produtor mundial, atrás apenas dos Estados Unidos. A área plantada obteve incremento de 5% em relação à safra anterior, abrangendo 78,3 milhões de hectares. Ao mesmo tempo, a produtividade média registrou incremento de 11,8%, subindo de 3.656 para 4.086 kg.ha⁻¹ (CONAB, 2023)

O déficit hídrico influencia o crescimento e desenvolvimento das plantas, ocasionando alterações nas trocas gasosas, metabolismo e alocação de assimilados. As trocas gasosas, processos fisiológicos que envolvem a absorção de dióxido de carbono (CO_2) e a liberação de oxigênio (O_2) pelas plantas através dos estômatos, são reguladas por fatores ambientais e genéticos. Essas trocas estão diretamente ligadas à fotossíntese, transpiração e condutância estomática, servindo como indicadores do estado hídrico e do desempenho das plantas (Campos *et. al*, 2021).

Visando aumentar a eficiência do uso da água na cultura do milho, é necessário selecionar genótipos que apresentem maior tolerância ao déficit hídrico, ou seja, que sejam capazes de manter ou recuperar as trocas gasosas sob condições adversas. Alguns exemplos de milhos tolerantes à seca são os híbridos BRS 1010 e BRS 1030, desenvolvidos pela Embrapa Milho e Sorgo, que apresentam alta produtividade e estabilidade em regiões com

baixa disponibilidade de água (Oliveira *et al.*, 2014). Na região do cerrado Tocantinense foi desenvolvido a variedade de milho UFT Robusto em parceria entre a Universidade Federal do Tocantins e a empresa Pioneira. Essa variedade de milho é adaptada as condições edafoclimáticas do cerrado, abaixo de 300 m de altitude. Essa variedade apresenta altas produtividades tanto na safra quanto na safrinha. Principalmente em função a tolerância ao déficit hídrico e ao alumínio. Em trabalhos realizados por MELO *et al* (2019) observou-se que as médias de produtividade dessa variedade foram superiores as médias observadas nas regiões com altas produtividades (acima de 8000 kg ha⁻¹ de grãos). Outro fato é que essas altas produtividades são observadas em regiões localizadas acima de 800 metros de altitude. Ou seja, noite com temperaturas amenas. O que não ocorre em regiões de cerrado abaixo de 300 metros de altitude.

Além do déficit hídrico, outro fator que limita a produção de milho é a competição com plantas daninhas, que podem reduzir o rendimento da cultura em até 80%, dependendo da espécie, da densidade e do período de convivência (Pitelli *et al.*, 2005). As plantas daninhas competem com as plantas de milho por recursos como luz, água e nutrientes. Além de interferirem nas trocas gasosas e no balanço energético da cultura. Entre as espécies plantas daninhas que ocorrem na região do cerrado brasileiro, a *Senna obtusifolia* (L.) (Fedegoso) é uma das mais competitivas, pois apresenta alta capacidade de adaptação e resistência ao déficit hídrico (Freitas *et al.*, 2018).

A *Senna obtusifolia* é uma planta herbácea perene, pertencente à família Fabaceae, que possui hábito prostrado-ereto e pode atingir até um metro de altura. Suas folhas são compostas por três folíolos ovais ou elípticos, com margens inteiras ou levemente denteadas. Suas flores são amarelas, pequenas e agrupadas em racemos terminais. Seus frutos são legumes cilíndricos, com sementes pretas e duras, que podem permanecer viáveis no solo por vários anos (Lorenzi, 2000).

O controle da *Senna obtusifolia* é difícil, pois a planta possui mecanismos de defesa contra herbicidas, como a cutícula espessa, a presença de tricomas e a capacidade de rebrota. Além disso, a planta possui um sistema radicular profundo e ramificado, que lhe confere maior resistência ao estresse hídrico e maior extração de água e nutrientes do solo. A *Senna obtusifolia* também é capaz de fixar nitrogênio atmosférico, o que lhe confere vantagem competitiva sobre as plantas de milho (Silva *et al.*, 2018).

Diante do exposto, objetivou-se com a presente tese avaliar as trocas gasosas do milho robusto-UFT em competição com *Senna obtusifolia* e déficit hídrico.

Material e métodos

O experimento foi conduzido no viveiro, na Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus Universitário de Gurupi, localizado na região sul do estado do Tocantins a 11° 43' S e 49° 04' W, a 280 m de altitude. O Clima local, segundo a classificação de Köppen, é Tropical de savana (Aw) e úmido com pequena deficiência de água no inverno, megatérmico com concentração da evapotranspiração no verão inferior a 48% do total anual (B1wA'a'), segundo a classificação de Thornthwaite (Peel, 2007).

As unidades experimentais constaram de sacos plásticos com volume de 10 kg de solo seco ao ar coletados na fazenda experimental da Universidade Federal do Tocantins *Campus Gurupi-TO*. Uma amostra composta do solo foi caracterizada química e fisicamente, apresentando os seguintes resultados: pH = 5,7; Matéria Orgânica = 1,0 dag kg⁻¹; P = 0,9 mg dm⁻³ e K = 21 mg dm⁻³; Ca = 0,7, Mg = 0,3 cmolc dm⁻³; Al = 0,00 cmolc dm⁻³; H+Al = 1,80 cmolc dm⁻³ e CTC total = 2,85 cmolc dm⁻³; areia = 550 g kg⁻¹; silte = 75 g kg⁻¹ e argila = 375 g kg⁻¹; classificação argilosa (EMBRAPA, 2013). Com base nesses resultados foram realizadas as correções com calcário dolomítico obtido através do método de neutralização do alumínio e elevação do Ca e Mg. Posteriormente, o solo foi umedecido e revolvido todos os dias, durante três semanas, objetivando a reação com o calcário e neutralização do Al⁺³ e elevação do pH. A adubação constou na aplicação de 667 kg. ha⁻¹ de superfosfato simples, 226 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio, no qual foi aplicado 1/3 na semeadura e o restante 24 dias após emergência (DAE), correspondendo aos estádios fenológicos V3-V4 do milho.

O delineamento experimental foi blocos casualizados, com 4 repetições. Os tratamentos foram arrançados em esquema fatorial 3x4. O primeiro fator foi o manejo hídrico: 80% (controle), 60% e 40% da capacidade de campo (C.C). O segundo fator foram as densidades de plantas daninhas convivendo com o milho (0, 2, 4 e 6 plantas de *Senna obtusifolia*). O método gravimétrico direto na determinação de C.C foi desenvolvido a partir de quatro vasos contendo o equivalente a seis quilos de solo seco em estufa. Nos vasos, o solo de estrutura deformada foi umedecido até a saturação por água via superfície. Após, foram submetidos à drenagem por um período não inferior a 28 horas e posteriormente foram cobertos com sacos plásticos para evitar a evaporação e posteriormente determinado o teor de água. O substrato reteve 1,6 litros de água, o que correspondeu a 100 % da capacidade de campo. Este valor mais o peso do substrato seco ao ar (6 kg) foi considerado o tratamento controle (7,6 kg). Os demais tratamentos foram calculados de acordo com as porcentagens

estabelecidas. O segundo fator foram as densidades de plantas daninhas convivendo com o milho (0, 2, 4 e 6 plantas de *Senna obtusifolia*).

Nos vasos, o solo de estrutura deformada foi umedecido até a saturação por água via superfície. Após, foram submetidos à drenagem por um período não inferior a 28 horas e posteriormente foram cobertos com sacos plásticos para evitar a evaporação e posteriormente determinado o teor de água. O substrato reteve 1,6 litros de água, o que correspondeu a 100 % da capacidade de campo. Este valor mais o peso do substrato seco ao ar (6 kg) foi considerado o tratamento controle (7,6 kg). Os demais tratamentos foram calculados de acordo com as porcentagens estabelecidas. O segundo fator foram as densidades de plantas daninhas convivendo com o milho (0, 2, 4 e 6 plantas de *Senna obtusifolia*).

A variedade de milho utilizada no estudo foi a “UFT Robusto”, desenvolvida em parceria com a empresa Pioneira. As sementes de milho e *Senna obtusifolia* foram semeadas no centro e na borda de cada unidade experimental, respectivamente. As plantas, de ambas as culturas, foram desbastadas cinco dias após a sua emergência. Manteve-se a densidade de 2, 4 e 6 plantas daninhas e 2 plantas de milho por vaso.

Em seguida, foi realizada a determinação do teor de umidade no solo na capacidade de campo (C.C.) pelo método termogravimétrico, segundo Embrapa (1997), que consiste em pesar a massa de solo úmido (Mu) e em seguida secá-lo em estufa a 105 – 110°C por 24 horas, e após determinar sua massa seca (Ms).

A partir da equação 1, calculou-se a umidade do solo.

Em que:

$$U(\%) = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100$$

U = Umidade do solo, %

Mu = Massa de solo úmido, g

Ms = Massa de solo seco em estufa, g

Os tratamentos correspondentes aos diferentes níveis de umidade do solo foram determinados a partir da capacidade de campo (C.C), que é definida como à capacidade máxima de retenção de água pelo substrato. A reposição diária da quantidade de água suficiente para manter a umidade desejada dos tratamentos foi realizada pelo método gravimétrico.

O manejo hídrico foi iniciado quando as plantas de milho estavam com duas folhas completamente desenvolvidas. Até esse estágio da planta, todos os vasos foram irrigados com

80 % da C.C. Após essa fase foi iniciada o manejo hídrico de 80% (controle), 60% e 40% da capacidade de campo (C.C) em função dos tratamentos.

Análises fisiológicas

A medição das trocas gasosas foi realizada no vigésimo quinto dia a partir da redução da água da irrigação, quando as plantas se encontravam no estágio vegetativo V3, utilizando o equipamento IRGA – *Infrared Gas Analyzer*, modelo Li-6400 (Li-Cor, Biosciences Inc., Nebraska, EUA). A taxa fotossintética líquida (A ; $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}$), condutância estomática (g_s ; $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Carbono interno (C_i ; $\mu\text{mol mol}^{-1}$) e transpiração (E ; $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), sendo as leituras realizadas entre às 08:00 e 10:00 horas da manhã. Os teores de CO_2 foram fixados em $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e a intensidade luminosa em $1500 \mu\text{mol de f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Através dos dados fisiológicos foi realizada a quantificação da eficiência intrínseca da carboxilação (E_iC) (A/C_i) ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e da eficiência no uso de água (EUA) (A/E) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$] e eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) (A/g_s) [$(\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}/(\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1})$] (Machado *et al.* 2005; Melo *et al.* 2010).

As avaliações foram realizadas em folhas jovens, recém-expandidas, não danificadas e bem iluminadas (quando a intensidade luminosa foi superior a $1000 \mu\text{moles de f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Realizadas em duplicata, na mesma planta, em folhas de localização próxima.

Análise dos dados

Os dados foram submetidos a verificação do cumprimento das premissas de normalidade e homogeneidade de variâncias. Quando satisfeitas, foram submetidos à análise de variância e quando não satisfeitas realizou-se, primeiramente, a transformação (raiz quadrada) para atender a ANAVA. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa software SISVAR (Ferreira, 2011).

Resultados e discussão

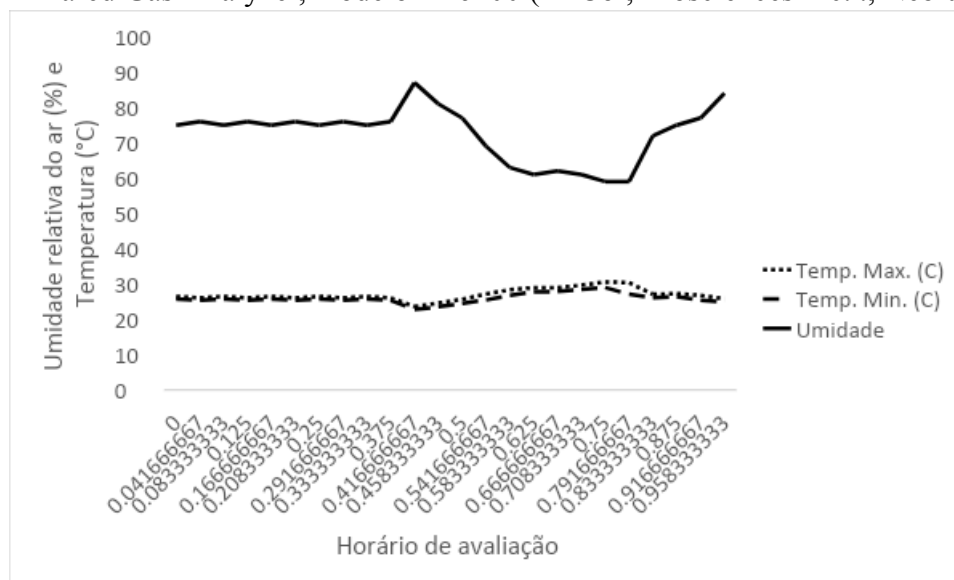
Os dados climatológicos referentes ao período experimental, durante a determinação das trocas gasosas, estão apresentados na Figura 1. A análise dos dados, obtidos do

INMET-TO para o dia 21 de dezembro de 2020, revela informações detalhadas sobre a temperatura máxima e mínima, bem como a umidade relativa do ar.

No dia 21 de dezembro de 2020, a temperatura máxima registrada foi de 30°C, enquanto a mínima foi de 25°C. A umidade relativa do ar variou entre 60% e 70%. Essas condições climáticas fornecem contexto importante visando entender o comportamento fisiológico do milho híbrido durante o experimento, especialmente em relação às trocas gasosas.

A temperatura e a umidade do ar, diretamente relacionadas às trocas gasosas, influenciam a eficiência fotossintética e a transpiração das plantas.

Figura 1- Dados meteorológicos de umidade relativa do ar e temperaturas máximos, relativos ao período em que foram realizadas as análises de trocas gasosas através do utilizando o equipamento IRGA – Infrared Gas Analyzer, modelo Li-6400 (Li-Cor, Biosciences Inc. , Nebraska, EUA)



Fonte: elaborado pela autora (2020).

Na Tabela 1, apresentam-se as médias das variáveis fisiológicas avaliadas, junto à análise estatística. Observou-se que a interação entre manejo hídrico e densidade não foi significativa em nenhuma das variáveis, exceto na transpiração (E).

Houve diferenças significativas nas variáveis fisiológicas entre os manejos hídricos, exceto na eficiência intrínseca da carboxilação (EiC). A assimilação líquida (A) foi significativamente maior no manejo de 80% da capacidade de campo (C.C) (11,49 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em comparação aos manejos de 60% e 40% C.C (9,04 e 9,72 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), com reduções de 27,10% e 18,21%, respectivamente (Tabela 1). Essas diferenças corroboram os achados de Freitas (2018) e Lavinsky *et al.* (2016), que associam o déficit hídrico à redução na taxa de assimilação (A) e ao fechamento estomático.

A condutância estomática (g_s) foi significativamente maior no manejo de 80% C.C. ($0,081 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) comparado aos manejos de 60% e 40% C.C. ($0,068$ e $0,067 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente). Estes resultados estão de acordo com Lavinsky *et al.* (2016) e Freitas *et al.* (2018), que observaram reduções na g_s em condições de estresse hídrico e interação com plantas daninhas.

A concentração interna de carbono (C_i) apresentou redução significativa apenas no tratamento de 40% C.C., com uma diminuição de 29,58% em comparação ao controle (80% C.C.). Essa redução está alinhada com estudos de Yu *et al.* (2020) sobre a limitação da absorção de CO_2 sob estresse hídrico.

A taxa transpiratória (E) foi significativamente maior no manejo de 80% C.C. Plantas submetidas a 60% e 40% C.C. apresentaram reduções na E de 33,07% e 36,61%, respectivamente, em relação ao controle. Estas adaptações estão em consonância com Flexas *et al.* (2019) e Tardieu *et al.* (2020), que documentam a redução na transpiração como estratégia na conservação de água.

Não foram observadas diferenças significativas na eficiência intrínseca da carboxilação (E_iC) entre os tratamentos. A E_iC , que mede a relação entre a assimilação de CO_2 pela planta (A) e a concentração interna de CO_2 (C_i), reflete a eficácia com que a planta utiliza o CO_2 para a fotossíntese. Essa métrica é essencial para compreender a resposta das plantas à disponibilidade de CO_2 e sua capacidade de otimização desse recurso. No entanto, a ausência de diferenças significativas na E_iC sugere que a planta de milho foi eficiente em utilizar o CO_2 disponível para promover o aumento da biomassa, mesmo sob condições de déficit hídrico. Isso demonstra que a variedade estudada consegue manter o crescimento e desenvolvimento, destacando-se como tolerante ao estresse hídrico.

Essa tolerância é evidenciada pela tendência de aumento na eficiência (E_iC , EUA e $EiUA$) em condições de manejo que envolvem maior déficit hídrico ou maior competição com plantas daninhas. Isso reforça a capacidade adaptativa dessa variedade. Em situações de baixa A e C_i , que geralmente indicam paralisação ou morte da planta sob estresse hídrico severo, essa variedade específica mostrou uma resposta inversamente proporcional, mantendo ou até melhorando a eficiência em termos de $EiUA$, E_iC e EUA . Essas características têm uma correlação positiva com o acúmulo de biomassa e desenvolvimento da planta, o que sugere que essas métricas podem ser usadas como critérios de seleção para cultivares de milho adequados para cultivo em áreas com alta competição por recursos, como a consorciação de pastagem, plantio em segunda safra, ou regiões com alta temperatura e déficit hídrico moderado.

Além disso, a *EiUA*, que mede a relação entre a assimilação de CO_2 (*A*) e a condutância estomática (*gs*), oferece insights sobre como as plantas ajustam a abertura dos estômatos para equilibrar a fotossíntese e a transpiração. Esses dados são valiosos para entender as respostas fisiológicas das plantas em diferentes condições de estresse ambiental e para desenvolver estratégias que melhorem a eficiência no uso da água. Neste estudo, a *EiUA* foi significativamente maior no tratamento com 40% da capacidade de campo (C.C.), assim como a eficiência no uso da água (*EUA*). A *EUA*, que relaciona a assimilação de CO_2 (*A*) com a taxa de transpiração (*E*), indica o quão bem a planta converte a água absorvida em biomassa, um fator crítico em situações de escassez hídrica. Esses resultados refletem a adoção de estratégias adaptativas que otimizam o uso da água sob estresse hídrico, conforme descrito por Flexas et al. (2014) e Tuberosa et al. (2018). Assim, a variedade de milho UFT Robusto, com sua alta eficiência em condições de déficit, destaca-se como uma variedade promissora para estratégias de manejo e programas de melhoramento genético que visam a sustentabilidade agrícola em ambientes desafiadores.

Tabela 1- Valores médios para *A* (taxa de assimilação líquida), *gs* (condutância estomática), *Ci* (Carbono interno), *E* (transpiração), *EiC* (eficiência intrínseca da carboxilação), *EiUA* (eficiência intrínseca do uso de água) e *EUA* (eficiência do uso da água) do milho convivendo com densidades de *Senna obtusifolia* (2, 4, 6 e 8 plantas), sob três manejos hídricos (80, 60 e 40 % da capacidade de campo), 45 dias após germinação. Gurupi/TO, 2020

Avaliações							
Manejo hídrico (M)	<i>A</i> ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	<i>gs</i> ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	<i>Ci</i> ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	<i>E</i> ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	<i>EiC</i> ($\mu\text{mol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	<i>EiUA</i> [$(\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1} / (\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$]	<i>EUA</i> [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) / (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$]
80 %	11,49 a	0,081 a	171,14 a	2,54 a	0,51 a	141,85 b	4,43 b
60 %	9,04 b	0,068 b	163,56 a	1,70 b	0,51 a	132,94 b	5,31 b
40 %	9,72 b	0,067 b	120,52 b	1,61 b	0,55 a	145,07 a	6,03 a
Densidade (D)	<i>A</i>	<i>gs</i>	<i>Ci</i>	<i>E</i>	<i>EiC</i>	<i>EiUA</i>	<i>EUA</i>
Milho	9,85 a	0,067 a	159,92 a	1,75 a	0,49 a	147,01 a	5,62 b
Milho + 2P,D,	10,21 a	0,074 a	146,61 a	1,87 a	0,55 a	137,97 a	5,45 ab
Milho + 4P,D,	10,14 a	0,075 a	162,94 a	1,88 a	0,52 a	135,20 a	5,39 ab
Milho + 6P,D,	10,14 a	0,073 a	137,49 a	1,82 a	0,54 a	138,90 a	5,57 a
Manejo hídrico (M)	*	*	*	*	ns	*	*
Densidade (D)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
(M) x (D)	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
CV%	12,51	13,27	16,88	10,74	13,65	11,10	11,40

*=Significativo e ^{ns}=Não significativo, a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Fonte: elaborado pela autora (2020).

Não foram observadas diferenças significativas nos parâmetros avaliados quanto à densidade da planta daninha, exceto na eficiência do uso da água (EUA), onde o milho cultivado sozinho ($5,62[(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}]$) diferiu significativamente em comparação ao milho convivendo com 6 plantas de *Senna obtusifolia* ($5,57[(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}]$). Esses resultados indicam que a presença da planta daninha não afetou de forma significativa as trocas gasosas do milho.

A transpiração foi a única variável que a interação entre manejo hídrico e densidade de *Senna obtusifolia* foi significativa. Na Tabela 2, está representado o desdobramento dessa interação. Observa-se que diferenças significativas entre os manejos hídricos foram constatadas apenas nas densidades de 4 e 6 plantas daninhas, com decréscimo na transpiração sob restrição hídrica. Comparando o tratamento de 80% C.C. com o de 40% C.C., nas densidades de 4 e 6 plantas de *Senna obtusifolia*, a transpiração do milho reduziu em 43,44% e 22,97%, respectivamente.

Esses resultados sugerem que a densidade da planta daninha tem um impacto limitador nas trocas gasosas do milho, exceto em condições de restrição hídrica, onde a densidade mais alta de *Senna obtusifolia* intensifica a redução da transpiração.

Tabela 2- Valores médios para transpiração de plantas de milho, convivendo com quatro densidades de plantas de *Senna obtusifolia* (0, 2, 4 e 6), em três manejos hídricos (80, 60 e 40 % da capacidade de campo), obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interação entre manejo hídrico e densidade de plantas daninhas. Aos 45 dias após germinação. Gurupi/TO, 2020

Interação	Número de plantas de <i>Senna obtusifolia</i>			
	0	2	4	6
Manejo hídrico (%)	Transpiração (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)			
80	1,91 aB	2,13 aAB	2,44 aA	2,22 aAB
60	1,72 aA	1,73 aA	1,82 bA	1,53 bA
40	1,60 aA	1,75 aA	1,38 cA	1,71 bA

*Significativo e ns não significativo a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (P<0,05). Fonte: elaborado pela autora (2020).

Discussão

Os dados climatológicos durante o período experimental fornecem um contexto crítico para entender o comportamento fisiológico do milho. No dia 21 de dezembro de 2020, a temperatura máxima registrada foi de 30°C, e a mínima foi de 25°C, com a umidade relativa do ar variando entre 60% e 70%. Essas condições são particularmente relevantes na interpretar as trocas gasosas, uma vez que temperatura e umidade são fatores-chave que

influenciam a fotossíntese e a transpiração das plantas (Taiz & Zeiger, 2013). A temperatura afeta diretamente a atividade enzimática envolvida na fotossíntese. Temperaturas ideais no milho variam entre 25 e 28°C, valores acima pode inibir a atividade da enzima Rubisco, resultando em menor taxa fotossintética.

Os resultados evidenciam que a assimilação líquida (A) da planta de milho foi significativamente maior no manejo de 80% da capacidade de campo (C.C.), atingindo 11,49 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, em comparação aos manejos de 60% e 40% C.C., que apresentaram valores de 9,04 e 9,72 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente. Essa diferença pode ser atribuída à maior disponibilidade de água, que favorece a abertura estomática e, conseqüentemente, a absorção de CO_2 (Jones, 2013). Resultados semelhantes foram observados por Lavinsky *et al.* (2016) e Freitas *et al.* (2018), que relataram reduções na taxa de assimilação (A) sob estresse hídrico.

A condutância estomática (gs) seguiu padrão similar, sendo significativamente maior no manejo de 80% C.C. (0,081 $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em comparação aos manejos de 60% e 40% C.C. (0,068 e 0,067 $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente). Este aumento na gs sugere maior eficiência na troca gasosa, que é crucial na fotossíntese e no crescimento das plantas (Flexas *et al.*, 2004). Em condições ótimas os valores de gs são maiores, porém em déficit hídricos valores são menores, o que denota adaptação da planta em tolerar condições desfavorável, impedindo a perda de água para o ambiente.

A concentração interna de carbono (C_i) apresentou redução significativa apenas no manejo com 40% C.C., refletindo limitação na disponibilidade de CO_2 a fotossíntese sob condições de estresse hídrico. Estudos de Bernacchi *et al.* (2002) indicam que a menor C_i está frequentemente associada a maior restrição estomática, o que reduz a capacidade fotossintética. O fechamento de estômatos estará sempre relacionado ao paradoxo de fome e sede. Levando em consideração que o limitador desse fator fisiológico é o déficit hídrico, onde a planta realizará suas adaptações a essas condições, em detrimento ao seu desenvolvimento e crescimento com o aumento concentração interna de carbono (C_i).

A taxa transpiratória (E) foi maior no manejo de 80% C.C., evidenciando resposta positiva à disponibilidade hídrica. A redução na E nos manejos de 60% e 40% C.C. é consistente com estudos de Bunce (2006), que demonstram que a restrição hídrica leva a a diminuição na transpiração como mecanismo de conservação de água interna da planta.

Surpreendentemente, a eficiência intrínseca da carboxilação (E_iC) não mostrou diferenças significativas entre os tratamentos. Isso sugere possível adaptação fisiológica dessa variedade de milho UFT Robusto à variação hídrica, sendo uma característica importante

de plantas cultivadas em ambientes com disponibilidade de água variável (Flexas *et al.*, 2004).

Por outro lado, a eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) foi significativamente maior no manejo com 40% C.C. Este resultado indica otimização da relação entre assimilação de CO₂ e transpiração, alinhando-se com os achados de Farquhar *et al.* (2002), que destacam a importância de estratégias eficientes de uso da água sob condições de estresse hídrico. O que corrobora com a caracterização dessa variedade de milho como tolerante ao déficit hídrico. Apresentando aparatos fisiológicos de adaptação nessas condições desfavoráveis de ambientes de altas temperaturas e de déficit hídrico.

A densidade da planta daninha *Senna obtusifolia* não apresentou diferenças significativas nos parâmetros avaliados, exceto na eficiência do uso da água (EUA). Isso ocorreu em condições específicas, onde a planta de milho cultivado sozinho apresentou maiores valores de EUA (5,62[($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (mmol H₂O m⁻² s⁻¹)⁻¹]) em comparação com as plantas de milho convivendo com seis plantas de *Senna obtusifolia* (5,57[($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (mmol H₂O m⁻² s⁻¹)⁻¹]). Mesmo apresentando uma diferença significativa, esses resultados não proporcionaram diferenças indiretas nas demais características. Este resultado sugere que a presença de plantas daninhas não afetou significativamente as trocas gasosas das plantas de milho, a menos que em condições de alta densidade de plantas daninhas sob estresse hídrico, conforme documentado por Flexas *et al.* (2019) e Tardieu *et al.* (2020).

Quando o milho compete com alta densidade de *Senna obtusifolia*, ocorre a necessidade de redistribuição de energia para sustentar e manter os processos vitais, resultando em maiores valores das características adaptativas às condições de déficit (A, gs, EiC e EUA). Isso porque em condições de déficit hídrico, a demanda por ATP pode aumentar, visando manter as funções fisiológicas da planta. Este aumento de gasto de ATP, nos processos metabólicos só acontece em condições de estresse extremo, visto que, em condições intermediárias a planta intensifica seu gasto de ATP no crescimento e desenvolvimento. O que se pode observar nas densidades de 2 e 4 de *Senna obtusifolia*, onde não se constatou diferença significativa com o milho sozinho. Os gastos de ATP nos processos metabólicos só foram necessários com a densidade de 6 plantas, onde o valor chegou a 5,57[($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (mmol H₂O m⁻² s⁻¹)⁻¹]. A EUA tem efeito direto nas demais características apresentadas na tabela 1. Visto que, a EUA permite uma estratégia de manter a absorção e utilização do CO₂. A competição pode levar a um desvio do fluxo de energia para os processos de manutenção e defesa, resultando em maior gasto de ATP e menor eficiência da fotossíntese e transpiração. Nas características de gs e EiC confirma essa teoria, onde os maiores valores foram em

função da competição com 6 plantas de *Senna obtusifolia* com as plantas de milho. Tendo um maior gasto de energia para aumentar os valores dessas características.

A transpiração foi a única variável onde a interação entre manejo hídrico e densidade de *Senna obtusifolia* foi significativa. Na densidade de quatro e seis plantas daninhas, houve redução significativa na transpiração sob restrição hídrica. Comparando o tratamento de 80% C.C. com o de 40% C.C., a transpiração do milho reduziu em 43,44% e 22,97%, respectivamente, o que destaca a intensificação do déficit hídrico pela presença de alta densidade de plantas daninhas. Nessas condições os valores absolutos de transpiração e C_i diminuem, por outro lado, aumenta os valores das demais características de adaptação da planta de milho, como a A , g_s , E_iC e EUA . Mesmo nessas condições de déficit hídrico essa variedade de milho direciona seus gastos metabólicos a regulação da planta, visando adaptação ao meio. Essas adaptações gradativas proporcionaram a planta de milho aumentar o valor de transpiração para continuar seu crescimento e desenvolvimento quando comparado com o déficit hídrico de 40% ($1,71 \text{ (mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})$) com o de 60% da C.C. ($1,53 \text{ (mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})$) na maior competição com a *Senna obtusifolia*. Essa diferença pode ser devido o gasto de ATP nos processos fisiológicos de adaptação ao meio terem sido ativados, fazendo com que nessa condição extrema de competição às características de A , g_s , E_iC e EUA apresentem maior eficiência.

Conclusões

A 80% da capacidade de campo (C.C.), observa-se desempenho superior na taxa de assimilação líquida, condutância estomática e transpiração.

Variações na concentração interna de carbono (C_i), especialmente no manejo com 40% C.C., influenciam diretamente a taxa fotossintética, revelando a importância da regulação estomática e do transporte eficiente de CO_2 .

A não variação significativa da eficiência intrínseca da carboxilação (E_iC), entre os tratamentos, sugere possível adaptação fisiológica da variedade de milho UFT Robusto ao déficit hídrico.

O manejo com 40% (C.C.) otimiza a eficiência intrínseca do uso da água (E_iUA) e a eficiência do uso da água (EUA), o que indica uma relação otimizada entre assimilação de CO_2 e transpiração.

A variedade de milho UFT Robusto é tolerante ao déficit hídrico e a competição com a *Senna obtusifolia* baseado nas características fisiológicas avaliadas.

Referências

CAMPOS, L. F.; SILVA, A. P.; CARVALHO, F. A.; MELO, L. F. Efeitos do déficit hídrico na fisiologia e produtividade de cultivares de milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 4, p. 289-295, 2021.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2021/2022: 10º levantamento. Brasília: **CONAB**, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 9 ago. 2024.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. Versão 5.3. Lavras: DEX/UFLA, 2011.

FLEXAS, J.; BARBOUR, M. M.; BRANCO, C. K.; CALVETE, H.; PIQUERAS, C.; GALMÉS, J. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. **Plant Biology**, v. 16, n. 1, p. 97-107, 2014.

FREITAS, L. C.; MARTINS, D.; COSTA, N. V.; SOUZA, G. S. Photosynthetic performance of maize plants subjected to water deficit and competition with weeds. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 204, n. 3, p. 265-274, 2018.

LAVINSKY, A. O.; SOUZA, R. T.; SILVA, R. V. Water deficit in maize: Physiological responses and yield. **Agricultural Water Management**, v. 176, p. 47-56, 2016.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas**. 4. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2000.

MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, R. S.; MONTEIRO, L. P. Effects of water deficit on gas exchange and chlorophyll fluorescence of tropical forage species. **Photosynthetica**, v. 43, n. 1, p. 75-80, 2005.

MELO, L. A. de; MELO, S. B. de; FREITAS, R. S.; ALMEIDA, L. P. Respostas fisiológicas de genótipos de milho ao estresse hídrico no cerrado tocantinense. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 6, n. 2, p. 1-8, 2019.

OLIVEIRA, A. C.; SOUZA, F. R.; VASCONCELOS, M. A. Produção e estabilidade de híbridos de milho sob diferentes regimes hídricos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 2, p. 248-258, 2014.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007.

PITELLI, R. A.; COSTA, N. V.; VOLL, E. N. Adubação verde e controle de plantas daninhas em milho. **Planta Daninha**, v. 23, n. 3, p. 497-506, 2005.

SILVA, F. M. da; COSTA, N. V.; MARTINS, D.; TIMOSSI, P. C.; MARCHI, S. R. A resistência de *Senna obtusifolia* a herbicidas: mecanismos fisiológicos e bioquímicos. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, n. 2, p. 77-89, 2018.

TARDIEU, F.; SIMONNEAU, T.; MULLER, B. The physiological basis of drought tolerance in crop plants: a scenario-dependent probabilistic approach. **Annual Review of Plant Biology**, v. 71, p. 933-955, 2020.

TUBEROSA, R.; SALVI, S.; GULLESSA, G.; SPEROTTO, R. A.; ISMAIL, A. M.; HEUER, S. Genetics and molecular mechanisms for drought tolerance in crops. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 131, n. 9, p. 1-25, 2018.

YU, H.; LUO, Y.; LIU, W.; PENG, J. Effects of drought stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in maize. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 19, n. 3, p. 703-712, 2020.

3 COMPETIÇÃO ENTRE *SENNA OBTUSIFOLIA* E A CULTIVAR DE MILHO ROBUSTO -UFT (TOLERANTE A SECA) SOB DEFICIT HÍDRICO

Resumo

Objetivou-se avaliar o milho UFT Robusto, uma variedade tolerante à seca, sob condições de déficit hídrico e competição com a planta daninha *Senna obtusifolia*. O experimento foi realizado em esquema fatorial 3x4, com quatro repetições, onde os fatores consistiram em três níveis de manejo hídrico (80%, 60%, e 40% da capacidade de campo) e quatro densidades de competição (milho sem competição, milho com 2, 4 e 6 plantas de *Senna obtusifolia*). O déficit hídrico foi induzido no estágio V3 do milho, e as análises subsequentes revelaram que o milho UFT Robusto possui capacidade de adaptação às condições adversas. Observe-se que o manejo hídrico mais restritivo, associado a maiores densidades de plantas daninhas, aumentaram a concentração de prolina nas folhas, o que reflete uma estratégia de ajuste osmótico para a manutenção do potencial hídrico foliar. Embora o aumento da densidade de *Senna obtusifolia* tenha reduzido a biomassa e o volume radicular do milho, não houve impacto significativo na altura e na massa seca da parte aérea das plantas que cresceram sem a competição de *Senna obtusifolia*. Este resultado destaca a capacidade do milho UFT Robusto de manter o crescimento da parte aérea mesmo sob e déficit hídrico e competição.

Palavras-chaves: Milho, Interferência, Potencial hídrico, Prolina.

Abstract

The objective was to evaluate UFT Robusto corn, a drought-tolerant variety, under conditions of water deficit and competition with the weed *Senna obtusifolia*. The experiment was carried out in a 3x4 factorial scheme, with four replications, where the factors consisted of three levels of water management (80%, 60%, and 40% of field capacity) and four competition densities (corn without competition, corn with 2, 4, and 6 *Senna obtusifolia* plants). Water deficit was induced at the V3 stage of corn, and subsequent analyses revealed that UFT Robusto corn has the ability to adapt to adverse conditions. It was observed that more restrictive water management, associated with higher weed densities, increased the proline concentration in the leaves, which reflects an osmotic adjustment strategy to maintain leaf water potential. Although the increase in *Senna obtusifolia* density reduced the biomass and

root volume of corn, there was no significant impact on the height and dry mass of the shoots of plants that grew without competition from *Senna obtusifolia*. This result highlights the ability of corn UFT Robust to maintain shoot growth even under water deficit and competition.

Keywords: Corn, Interference, Water potential, Proline.

Introdução

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais de maior importância econômica. Visto que, é utilizado no consumo humano, animal e na produção de biocombustíveis. A projeção da safra de grãos no período 2022/23 é de 320,1 milhões de toneladas, evidenciando aumento significativo de 17,4% em comparação com a safra anterior. A área plantada obteve incremento de 5% em relação à safra anterior, abrangendo 78,3 milhões de hectares. Ao mesmo tempo, a produtividade média registrou incremento de 11,8%, subindo de 3.656 para 4.086 kg.ha⁻¹ (CONAB, 2023)

No Brasil, o milho é considerado uma das principais culturas anuais cultivadas, no entanto, nos sistemas de cultivo, fatores bióticos e abióticos devem ser cuidadosamente controlados visando reduzir possíveis estresses que possam reduzir produtividades (PEDROTTI *et al.*, 2017).

As competições entre as culturas de interesse agrônomico e plantas daninhas ocorrem quando existem limitações de recursos, como água, luz e nutrientes. Nessas condições, as perdas causadas variam de acordo com a capacidade competitiva das espécies envolvidas (SILVA *et al.*, 2014).

As plantas daninhas proporcionam competição, principalmente, com capacidade em reduzir consideravelmente a disponibilidade de água nas culturas. Além de proporcionar decréscimo de até 85% no desenvolvimento e conseqüentemente na produção do milho (GANTOLI; AYALA; GERHARDS, 2013). Santos *et al.* (2014) afirmaram que o aumento da densidade de plantas daninhas em determinada área, intensifica a competição inter e intraespecífica. De modo que, as plantas daninhas com maior altura e mais desenvolvidas se tornam mais dominantes, enquanto as menores são suprimidas ou morrem.

A falta de água no milho pode encurtar o período de formação de grãos e interferir no desenvolvimento. O que aumenta o número de grãos abortados e pode alterar a proporção raiz

/biomassa, o que reduz a massa seca total da produção (GHEYSARI *et al.*, 2017; MARWEIN *et al.*, 2017).

Plantas daninhas, como fedegoso (*Senna Obtusifolia*) têm características de alta eficiência no uso de água. Visto que, possui diferentes tipos de resistências e mecanismos de defesa ao déficit hídrico. Como alterar a proporção de biomassa entre raízes e partes aérea, tendo a capacidade de crescer e desenvolver em condições diversas (FOTELLI *et al.*, 2001; OLIVEIRA *et al.*, 2018; FLORINDO *et al.*, 2014; ASPIAZÚ *et al.*, 2010).

A variedade de milho UFT Robusto utilizada neste experimento foi desenvolvida em parceria com a Empresa Pioneira e é classificada como tolerante à seca. Essa aptidão é devida, principalmente aos métodos e características utilizadas no desenvolvimento dessa variedade. Nestas características destaca-se o diâmetro de colmo nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura. Isso devido ao colmo atuar como órgão equilibrador, promovendo a remobilização dos fotoassimilados armazenados, em períodos de estresse, principalmente hídrico. Outro fato é que essa característica tem correlação acima de 90% com produtividade de grãos (MELO *et al.*, 2018).

Freitas *et al.* (2019), trabalhando com o híbrido de milho DKB 390 tolerante a seca, explicam que este tipo de milho possui a capacidade de manter as suas atividades fisiológicas normais mesmo em condições de déficit hídrico. O que diminui a dependência de investimento radicular para aumentar a captura de água.

Esta tolerância a seca proporciona capacidade adequada nas condições de convivência entre as populações de plantas daninhas e espécie cultivada, principalmente em condições de déficit hídrico. Assim, questiona-se como ocorre o processo competitivo entre estas espécies tolerantes a déficit hídrico e as plantas daninhas em situações diversas de fornecimento de água. O conhecimento sobre como se processam essas relações são essenciais, principalmente nas estratégias de manejo correto visando minimizar a competição por água em agroecossistemas. Portanto, objetivou-se com o presente estudo avaliar os efeitos fisiológicos, morfológicos e bioquímicos causados pela competição da variedade de milho UFT Robusto, tolerante a seca e a *Senna obtusifolia*, em condições de déficit hídrico.

Material e métodos

Instalação do Experimento

O experimento foi conduzido no viveiro, na Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus Universitário de Gurupi, localizado na região sul do estado do Tocantins a 11° 43' S e 49° 04' W, a 280 metros de altitude. O Clima local, segundo a classificação de Köppen, é Tropical de savana (Aw) e úmido com pequena deficiência de água no inverno, megatérmico com concentração da evapotranspiração no verão inferior a 48% do total anual (B1wA'a'), segundo a classificação de Thornthwaite (PEEL, 2007).

As unidades experimentais constaram de sacos plásticos com volume de 10 kg de solo seco ao ar, coletados na fazenda experimental da Universidade Federal do Tocantins *Campus Gurupi-TO*. Uma amostra composta do solo foi caracterizada química e fisicamente, apresentando os seguintes resultados: pH = 5,7; Matéria Orgânica = 1,0 dag kg⁻¹; P = 0,9 mg dm⁻³ e K = 21 mg dm⁻³; Ca = 0,7, Mg = 0,3 cmolc dm⁻³; Al = 0,00 cmolc dm⁻³; H+Al = 1,80 cmolc dm⁻³ e CTC total = 2,85 cmolc dm⁻³; areia = 550 g kg⁻¹; silte = 75 g kg⁻¹ e argila = 375 g kg⁻¹; classificação argilosa (EMBRAPA, 2013). A correção foi realizada com calcário dolomítico obtido através do método de neutralização do alumínio e elevação do Ca e Mg. Posteriormente, o solo foi umedecido e revolvido todos os dias, durante três semanas, objetivando a reação com o calcário e neutralização do Al⁺³ e elevação do pH. A adubação constou da aplicação de 667 kg. ha⁻¹ de superfosfato simples, 226 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio, no qual foi aplicado 1/3 na semeadura e o restante 24 dias após emergência (DAE), correspondendo aos estádios fenológicos V3-V4 do milho.

O delineamento experimental foi blocos casualizados, com 4 repetições. Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial 3x4. O primeiro fator foi o manejo hídrico: 80% (controle), 60% e 40% da capacidade de campo (C.C) (SOUZA *et al.*, 2000) com uma modificação (água adicionada pela superfície do substrato).

O método gravimétrico direto na determinação de C.C foi desenvolvido a partir de quatro vasos contendo o equivalente a seis quilos de solo seco em estufa. Nos vasos, o solo de estrutura deformada foi umedecido até a saturação por água via superfície. Após, foram submetidos à drenagem por um período não inferior a 28 horas e posteriormente foram cobertos com sacos plásticos para evitar a evaporação e posteriormente determinado o teor de água. O substrato reteve 1,6 litros de água, o que correspondeu a 100 % da capacidade de campo. Este valor mais o peso do substrato seco ao ar (6 kg) foi considerado o tratamento controle (7,6 kg). Os demais tratamentos foram calculados de acordo com as porcentagens estabelecidas. O segundo fator foram as densidades de plantas daninhas convivendo com o milho (0, 2, 4 e 6 plantas de *Senna obtusifolia*).

Nos vasos, o solo de estrutura deformada foi umedecido até a saturação por água via superfície. Após, foram submetidos à drenagem por um período não inferior a 28 horas e posteriormente foram cobertos com sacos plásticos para evitar a evaporação e posteriormente determinado o teor de água. O substrato reteve 1,6 litros de água, o que correspondeu a 100 % da capacidade de campo. Este valor mais o peso do substrato seco ao ar (6 kg) foi considerado o tratamento controle (7,6 kg). Os demais tratamentos foram calculados de acordo com as porcentagens estabelecidas. O segundo fator foram as densidades de plantas daninhas convivendo com o milho (0, 2, 4 e 6 plantas de *Senna obtusifolia*).

A variedade de milho utilizada no estudo foi a “UFT Robusto”, desenvolvida em parceria com a empresa Pioneira. As sementes de milho e *Senna obtusifolia* foram semeadas no centro e na borda de cada unidade experimental, respectivamente. As plantas, de ambas as espécies, foram desbastadas cinco dias após a sua emergência, perfazendo a densidade de 2, 4 e 6 plantas daninhas e 2 plantas de milho por vaso. No suprimento hídrico das culturas, o volume de água aplicado em cada vaso foi obtido pela diferença entre o peso do vaso na sua capacidade de campo e o peso ao final de cada dia, de acordo com a metodologia proposta por Sousa *et al.* (2015). O manejo hídrico foi iniciado quando as plantas de milho estavam com duas folhas completamente desenvolvidas. Até esse estágio da planta, todos os vasos foram irrigados com 80 % da C.C. Após essa fase foi iniciada o manejo hídrico de 80% (controle), 60% e 40% da capacidade de campo (C.C) em função dos tratamentos.

Análise fisiológica

O potencial hídrico foliar (Ψ_f) foi obtido por meio de uma câmara de pressão do tipo Scholander. Nas medições foram escolhidas folhas totalmente desenvolvidas de uma das plantas de cada tratamento. Logo em seguida foram realizadas avaliações às 4:30 (antemanhã) e às 12:00 (tarde), no estágio fenológico V3.

Análise bioquímica

Determinação do Aminoácido Prolina

O material coletado foram as folhas mais jovens ou as folhas que estavam diretamente expostas ao estresse, evitando aquelas que pareçam estar danificadas ou doentes. Cerca de 300

mg dessas amostras coletadas, aos 30 dias após a semeadura, no estágio V3, foram armazenadas em nitrogênio líquido até a realização das análises.

A quantificação de prolina foi realizada conforme o método descrito por Bates *et al.* (1973). Cerca de 250 mg de tecido do limbo foliar da planta de milho, sem a nervura principal, foram macerados em nitrogênio líquido, juntamente com 5 ml de ácido sulfosalicílico 3% e centrifugados a 3000 rpm durante 5 min a temperatura ambiente. Em seguida, foi coletado 1 ml do extrato e transferido para um tubo Falcon de 15 ml. No qual, foram adicionados 1 ml de niidrina ácida e 1 ml de ácido acético glacial. Posteriormente, as amostras foram colocadas em banho-maria por uma hora a 100 °C. A mistura de reação foi rapidamente arrefecida em gelo, posteriormente, adicionou-se 2 ml de tolueno e misturou-se no equipamento vórtex até homogeneizar a solução. Em seguida, a absorbância da fase de tolueno foi medida a 520 nm. A concentração de prolina foi determinada em seguida, a partir de uma curva de calibração padrão (0 a 0,150 $\mu\text{mol.ml}^{-1}$) com L-prolina.

Análise da biomassa

As avaliações das plantas de milho foram: altura de parte aérea (ALT), diâmetro do colmo (DM), massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR), e volume de sistema radicular (VSR). As folhas e raízes foram acondicionados em sacos de papel, colocadas em uma estufa a $65 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 72 horas até atingir peso constante. As partes das plantas foram pesadas em balança analítica. As coletas foram realizadas aos 45 dias após a emergência.

Análise dos dados

Os dados foram submetidos a verificação do cumprimento das premissas de normalidade e homogeneidade de variâncias. Quando satisfeitas foram submetidos à análise de variância e quando não satisfeitas realizou-se primeiramente a transformação (raiz quadrada) para atender a ANAVA. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa software SISVAR (Ferreira, 2011).

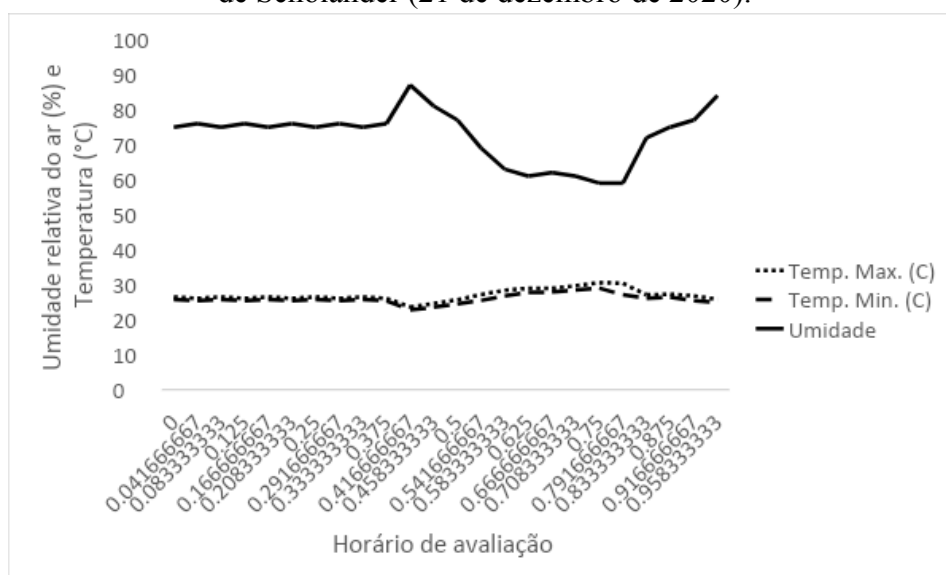
Resultados e discussão

Dados Climáticos

As condições climáticas registradas no dia 21 de dezembro de 2020, com temperaturas entre 25°C e 30°C e umidade relativa do ar entre 60% e 70%, foram fundamentais para o desenvolvimento morfométrico do milho híbrido. A altura das plantas foi diretamente beneficiada por temperaturas moderadas, que favorecem o alongamento celular e a fotossíntese eficiente (Taiz & Zeiger, 2017). A umidade relativa adequada foi crucial para manter a turgidez celular, essencial para o crescimento vegetativo (Farias *et al.*, 2016), e contribuiu para a integridade estrutural do colmo, evitando danos e promovendo um diâmetro mais robusto, especialmente em condições de temperatura elevada sem déficit hídrico severo (Sousa *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2020).

Além disso, o desenvolvimento do sistema radicular foi potencializado pela combinação de temperatura e umidade, que juntos influenciam a atividade metabólica e a disponibilidade hídrica no solo, resultando em raízes bem desenvolvidas e capazes de absorver eficientemente água e nutrientes (Silva *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2017). A massa seca foliar, um indicativo do acúmulo de biomassa, foi também favorecida por essas condições climáticas, que controlaram a transpiração e otimizaram a produção de biomassa (Taiz & Zeiger, 2017; Santos *et al.*, 2017). Dessa forma, a interação entre temperatura e umidade desempenha um papel determinante na morfometria do milho, impactando diretamente a estrutura e a produtividade da planta.

Figura 1- Dados meteorológicos de umidade relativa do ar e temperaturas máximas, relativas ao período em que foram realizadas as análises de potencial hídrico foliar através da bomba de Scholander (21 de dezembro de 2020).



Fonte: elaborado pela autora (2020).

Avaliações do potencial hídrico

As avaliações do potencial hídrico foram realizadas no período antemanhã (4:30) e no período da tarde (12:00). O potencial hídrico medido antes do nascer do sol, em condições normais, apresenta os estômatos fechados devido à ausência de luz e verifica-se um equilíbrio entre o potencial hídrico do solo e da planta, sendo considerado o melhor parâmetro de avaliação para definir a condição hídrica da planta. Ou seja, os melhores valores usados na quantificação do nível de déficit hídrico que uma planta está sujeita. Após o nascer do sol, a planta começa a diminuir seu potencial hídrico foliar, atingindo seu mínimo até o meio dia. Neste momento os valores negativos costumam ser mais severos, ou seja, mais negativos.

A análise de variância do potencial hídrico foliar (Ψ_f -MPa) nas plantas de milho, crescidas isolada ou em convivência com diferentes densidades de *Senna obtusifolia* e porcentagens de manejo hídrico, estão apresentadas na Tabela 1.

Foram identificadas significâncias estatísticas no potencial hídrico foliar (Ψ_f -MPa) das plantas de milho sozinha ou em competição com *Senna obtusifolia* apenas nas leituras de antemanhã.

Tabela 1 - Potencial hídrico foliar (Ψ_f -MPa) (ante manhã e tarde) de plantas de milho tolerante a seca, crescidas isoladas (0 plantas) ou em convivência com diferentes densidades de *Senna obtusifolia* (2, 4 e 6 plantas), e porcentagens de manejo hídrico (80, 60 e 40% da capacidade de campo), aos 45 dias após a emergência.

Avaliações		
Manejo hídrico (M)	Ψ_f (MPa) ante manhã	Ψ_f(MPa) tarde
80 %	-0,65 a	-0,78 a
60 %	-0,80 a	-0,77 a
40 %	-0,79 a	-0,81 a
Densidade (D)	Ψ_f (MPa) ante manhã	Ψ_f (MPa) tarde
Milho	-0,71 b	-0,78 a
Milho + 2P,D,	-0,82 ab	-0,82 a
Milho + 4P,D,	-0,86 a	-0,76 a
Milho + 6P,D,	-0,84 ab	-0,76 a
Manejo hídrico (M)	ns	ns
Densidade (D)	*	ns
(M) x (D)	ns	ns
CV%	13,81	6,76

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (P<0,05). Fonte: elaborado pela autora (2020).

Todas as médias do potencial hídrico foliar ficaram abaixo de -1 Mpa. Quando se avalia o efeito do manejo hídrico dentro de cada densidade, no período da antemanhã (4:30 hs), verifica-se que houve diferenças significativas apenas nas densidades de 0 e 4 plantas de *S. obtusifolia* convivendo com o milho. Quando se compara o milho sozinho e convivendo com 4 plantas de *S. obtusifolia*, constata-se redução de 21% do potencial hídrico foliar. Ou seja, quanto menos água livre a planta possuir, menor disponibilidade hídrica devido a competição com a *S. obtusifolia* será observada. Contudo, quanto maior o déficit hídrico das plantas de milho menor será o valor do Ψ_f . Com isso, podemos afirmar que o aumento da competição com plantas daninhas equivale o mesmo que aumentar o déficit hídrico no solo. Confirmando a competição da planta daninha com a de milho.

Segundo Silva *et al.* (2003), as variáveis quando medidas antes do nascer do sol, é visto como parâmetro indicativo de conservação de água no solo, ocorrendo uma predisposição de balanço entre o equilíbrio das condições hídricas da planta e do solo quando a deficiência hídrica não é severa. Isso vai de encontro com os resultados observados, visto que, os valores de Ψ_f na planta de milho foram sempre maiores na antemanhã e também nas condições de menores déficit hídrico, seja ele por competição ou por déficit hídrico no solo.

Bono *et al.* (2001) classificaram três intervalos representativos das condições hídricas no milho: $\Psi < -1,5$ MPa como alto déficit, Ψ entre -1,5 e -0,8 MPa como médio déficit e $\Psi > -0,8$ MPa como sem condição de déficit hídrico. Bergonci *et al.* (2000) citam como indicador de déficit hídrico ao entardecer na cultura do milho, um valor mínimo de -1,5 MPa. Nesse contexto, a presença de plantas daninhas, independentemente da densidade, proporcionou condições de déficit hídrico as plantas de milho, elevando os estresses de baixo para médio, de acordo com Bono *et al.* (2001).

Considerando os dados dos trabalhos citados no parágrafo anterior, deduz-se que as plantas de milho avaliadas no período da antemanhã e tarde apresentaram de forma geral um déficit hídrico foliar médio a baixo. Assim, pode se afirmar que a variedade de milho UFT Robusto, utilizada no experimento além de se mostrar tolerante nas condições de restrição hídrica imposta, também se demonstrou competitiva quanto ao elemento água. Apresentando um Ψ_f alto, mesmo em condições de menor manejo hídrico.

De acordo com Galon *et al.* (2021), ao estudarem a competição de milhos híbridos com plantas daninhas, verificaram que cultivares que apresentam crescimento inicial mais rápido demonstraram maior capacidade competitiva em relação aos que se apresentam crescimento mais lento, como é o caso da *S. obtusifolia*.

O presente estudo pode ser comparado com o trabalho de Lavisnsky *et al.* (2015), que analisou genótipos de milho e observou valores de -1,6 Mpa (com estresse hídrico) e -0,6 Mpa (sem estresse hídrico) nos genótipos tolerantes à seca.

Por outro lado, Medici *et al.* (2003) avaliaram milhos híbridos submetidos a seca, obtendo valores de -0,78 Mpa para tratamento controle (sem estresse hídrico) e redução para -0,96 Mpa sob condições de estresse de seca. Comparando estes valores, aos obtidos pela variedade de milho UFT Robusto, utilizado no presente trabalho, constata-se que os valores de potencial hídrico foliar, mesmo em condições de competição com *Senna obtusifolia*, são superiores, demonstrando maior tolerância a seca.

De acordo com Taiz e Zeiger (2013), a diminuição do potencial hídrico foliar nas plantas modifica diretamente as propriedades bioquímicas e fisiológicas das plantas, ocasionando alterações da atividade metabólica e a produção de espécies reativas de oxigênio. O que pode ser observado nos resultados apresentados nas tabelas a seguir.

Na tabela 2 estão apresentados os valores de prolina foliar no milho crescido sob densidades de *Senna obtusifolia* e manejo hídrico, aos 45 dias após a emergência.

Foram observadas diferenças significativas no fator manejo hídrico. O tratamento de 80 % da C.C diferiu estatisticamente dos 60 e 40 % da C.C.. No entanto, estes não diferenciaram entre si. Quando se compara o teor de prolina no manejo hídrico de 80 % com a de 60 e 40 % da C.C, observa-se um incremento de 57,57 e 55,88 % respectivamente (Tabela 2).

Este expressivo incremento do valor da prolina nas folhas de milho quando submetidas a manejos mais restritivos de água, expressa alta resposta bioquímica dessa variedade de milho tolerante ao déficit hídrico. Portanto, maior capacidade de resistência em situações de estresse hídrico.

O aminoácido prolina possui sensibilidade de resposta quando a planta é submetida a condições de estresse. Visto que, seu conteúdo é capaz de aumentar em até 100 vezes, comparado com a plantas que se encontram sob condições normais, auxiliando na resistência, através da regulação do potencial osmótico, estabilização da estrutura proteica, redução do estresse oxidativo, ativação de enzimas defensivas e reduzindo os efeitos nocivos do estresse hídrico (MONTEIRO *et al.*, 2014).

Hendges *et al.* (2015) observaram que plantas de milho sob estresse hídrico apresentaram redução de 22,72% nos níveis de prolina em comparação às amostras controle. O valor médio de prolina nas amostras controle foi de 1,10 $\mu\text{moles}/\mu\text{g}$ de peso fresco.

Vantini *et al.* (2016) constataram que a maior concentração de prolina ($0,027(\mu\text{mol g}^{-1})$) ocorreu no 5 dia após o estresse hídrico em cana de açúcar, resultado este, que tem sido relacionado ao critério de tolerância a seca. Sugere-se que estes aumentos na concentração de prolina são ocasionados por distúrbios no metabolismo das proteinases para manutenção do potencial hídrico da folha, ajuste osmótico e defesa da planta à desidratação. Em todos os casos, tanto em condições de déficit hídrico no solo quanto em competição com a planta daninha por água, a variedade de milho UFT Robusto apresentou aumento dos valores de prolina em função das limitações de água no sistema (Tabela 2). Contudo, não foram altos como os apresentados por Hendges *et al.* (2015), possivelmente em função da maior tolerância da variedade UFT Robusto ao déficit hídrico. O custo no aumento da prolina pela planta é alto, com gastos de ATP que poderiam ser direcionados a produção de massa seca e ou produtividade de grãos. O que leva a afirmar que plantas que apresentam menores valores de prolina em condições de déficit hídrico é desejável, visto que, a diferença dos gastos energéticos na produção de prolina pode ser direcionado para produção de massa seca da parte aérea ou do sistema radicular que levaria consequentemente a maior produtividade da cultura.

Tabela 2 -Valores médios da prolina em plantas de milho tolerante a seca, crescendo sob densidades de *Senna obtusifolia* e manejo hídrico, 45 dias após a emergência.

Manejo hídrico (%)	Prolina ($\mu\text{mol.Prol.g}^{-1}$ MF)
80 %	0,19 b
60 %	0,33 a
40 %	0,34 a
Densidade (D)	
Milho	0,21 a
Milho + 2P.D.	0,29 a
Milho + 4P.D.	0,25 a
Milho + 6P.D.	0,30 a
Manejo hídrico (M)	*
Densidade (D)	ns
(M) x (D)	ns
CV%	6,74

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns não significativo. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Fonte: elaborado pela autora (2020).

Na tabela 3 estão apresentadas as médias da altura, diâmetro de colmo, biomassa seca da parte aérea, biomassa seca da raiz e volume de raiz, de plantas de milho aos 50 dias após a emergência, crescidas sob diferentes manejos hídricos em convivência com densidades de *Senna obtusifolia*.

Observa-se que a interação manejo hídrico e densidade da planta daninha não foi significativa ($P < 0,05$). Foi observada interação significativa apenas nas variáveis altura e massa seca de plantas no tratamento manejo hídrico, e massa seca e volume de raiz no tratamento densidade da planta daninha. A restrição hídrica reduziu a altura das plantas de milho. No entanto, esta redução de 11,35% foi significativa no manejo de 40 % da C.C., quando comparada ao manejo de 80 % da C.C.

Resposta semelhante foi identificada na variável biomassa seca da parte aérea, comparando o manejo de 80 % com manejo de 40 %, obtendo-se uma redução de 24,32 %.

Freitas *et al.* (2019) ao analisarem o efeito da competição na interação entre milho e plantas daninhas expostas à deficiência hídrica, observaram uma redução na altura e área foliar tanto no milho isolado quanto em competição com plantas daninhas.

Segundo Melo *et al.* (2018), ao estudarem desempenho agrônomico de genótipos de milho submetidos ao estresse hídrico observaram redução de altura de plantas nos híbridos experimentais UFT0024 e UFT0063 (27,97 e 26,96 %, respectivamente), em comparação ao ambiente sem estresse hídrico, resultados semelhantes encontrados neste estudo, quando comparado ao milho sozinho.

Segundo Duarte (2012), o déficit hídrico pode retardar ou interromper a expansão celular, o crescimento das folhas e caules.

Tabela 3 - Valores médios para altura de planta (ALT), diâmetro médio do colmo (DMC), biomassa seca da parte aérea (BMSPA), biomassa seca da raiz (BMSR), volume de raiz (VR) em plantas de milho, desenvolvidas com diferentes manejos hídricos e densidades de *Senna obtusifolia*, 50 dias após a emergência.

Manejo hídrico (%)	ALT (cm)	DMC (cm)	BMSPA (g/planta)	BMSR (g/planta)	VR (cm ³)
80 %	24,05 a	3,90 a	11,1 a	0,82 a	5,69 a
60 %	23,12 a	3,79 a	11,7 a	0,95 a	5,71 a
40 %	21,32 b	3,87 a	8,40 b	0,89 a	5,41 a
Densidade (D)	ALT	DMC	BMSPA	BMSR	VR
Milho	23,37 a	3,91 a	10,8 a	1,33 a	6,62 a
Milho + 2P.D.	22,63 a	3,72 a	10,2 a	1,20 a	5,20 b
Milho + 4P.D.	22,89 a	3,92 a	10,0 a	0,64 b	3,20 c
Milho + 6P.D.	22,43 a	3,86 a	10,6 a	0,42 c	2,42 c
Manejo hídrico (M)	*	ns	*	ns	ns
Densidade (D)	ns	ns	ns	*	*
(M) x (D)	ns	ns	ns	ns	ns
CV%	13,15	10,21	29,46	25,93	27,31

Médias seguidas de mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste de Tuckey a 5% de probabilidade. * Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns não significativo. Fonte: elaborado pela autora (2020).

O aumento do número de plantas de *Senna obtusifolia* convivendo com o milho causou redução na biomassa seca e volume de raízes. Ao comparar o milho crescido sozinho (0 plantas de *S. obtusifolia*) e em convivência com 6 plantas de *S. obtusifolia*, constatam-se reduções de 68,42 e 63,44 %, na biomassa seca do sistema radicular (BMSR) e volume de raízes (VR), respectivamente (Tabela 3). Percebe-se, que apesar da expressiva redução na massa e volume radicular das plantas de milho sob competição com *S. obtusifolia* (6 plantas) está não se manifestou no crescimento aéreo das plantas de milho (altura, diâmetro do colmo e massa seca).

Contudo, observa-se que não houve diferença significativa na biomassa seca da parte aérea (BMSPA), onde a planta de milho continuou seu desenvolvimento mesmo em condições de déficit hídrico. O que pode ter ocorrido é que o volume observado no BMSR e VR apresentado pode ter sido referente as raízes com maiores diâmetros. As raízes finas que são mais eficientes na absorção de água pela planta possuem menores valores de BMSR e VR não avaliadas em separado na amostragem realizada no presente experimento. De acordo com a Liu *et al.* (2010) a maior quantidade de água absorvidas pelo sistema radicular provem de raízes finas e ou muito finas e apenas plantas com características conservadoras apresentam melhoria na eficiência de absorção de água para produção de raízes muito finas. Além dos mecanismos fisiológicos apresentados nas tabelas 1 e 2 que proporcionaram a planta de milho tolerância a essas condições de déficit hídrico.

Segundo Barbosa (2021), híbridos que estavam sob condição de mato competição com *Digitaria insulares* L 30 dias após a semeadura apresentaram menores valores de altura de plantas e diâmetro de colmo nas densidades 2 e 4 (com redução de 56% e 60% na altura; e 34,45% e 50,2% no diâmetro de colmo, respectivamente) em relação aos híbridos de milho na ausência de mato competição. O que não foi evidente no presente trabalho, visto que em competição com as plantas daninhas, independentemente da densidade, não se observou diferença significativa. Essa variedade de milho UFT Robusto, provavelmente é mais tolerante do que o híbrido avaliado por Barbosa (2021).

De acordo com Guenni *et al.* (2004), plantas de milho por apresentarem metabolismo C4 de fixação de carbono, em condições de déficit hídrico, consegue manter o seu desenvolvimento e acúmulo de matéria seca, utilizando menor quantidade de água, aumentando sua capacidade de competição entre espécies de mecanismo C3, como o caso da *S. obtusifolia*.

Kasperbayer e Karlen (1994), relataram que plantas de milho durante o crescimento vegetativo em competição com plantas daninhas apresentaram sistema radicular menos desenvolvido em comparação com o milho cultivado sozinho.

Discussão

No decorrer da presente análise, evidenciou-se uma variação nas temperaturas máximas entre 25 e 31°C, enquanto as temperaturas mínimas oscilaram entre 22 e 29°C. A umidade relativa, por sua vez, apresentou uma amplitude entre 59 e 87%. Esses padrões térmicos e de umidade são característicos da estação do ano no estado do Tocantins que foram realizados as avaliações. Notavelmente, as temperaturas mínimas noturnas mantiveram-se constantemente acima de 20°C.

É relevante salientar que o milho demanda noites frias, idealmente situadas entre 16°C e 20°C. Nesse contexto, o desenvolvimento das plantas de milho foi comprometido ao longo do período de avaliação devido à elevação das temperaturas noturnas, levando à utilização considerável dos fotoassimilados acumulados durante o dia pelas plantas. Esse fato é muito importante na escolha de cultivares de milho adaptados as condições de baixa altitude em locais onde as temperaturas noturnas são acima de 20°C. O que não ocorre nessas regiões, onde os cultivares de milho são oriundos de outras regiões onde a altitude é acima de 800 metros e com temperaturas noturnas abaixo de 20°C. Nessas condições o manejo adequado da cultura é fundamental, visto que, cultivares de milho não tolerantes ao déficit hídrico podem obter baixas produtividades. O manejo de plantas daninhas nessas condições é fundamental, visto que, as condições de estresse abiótico não têm muito o que fazer.

Outro ponto digno de destaque é a soma dos graus-dias relacionados à cultura do milho, onde noites mais quentes aceleram o ciclo da cultura, e altas temperaturas diminuem a acumulação de massa seca, impactando, por conseguinte, a produtividade final do milho. Isso fica evidenciado quando observamos a produtividade média do estado que é de 3500 kg ha⁻¹, já em regiões com condições adequadas de temperatura é umidade essas produtividades são acima de 6000 kg ha⁻¹ Conab (2023).

No que concerne aos cultivares de milho, ressalta-se que a faixa ótima para germinação e desenvolvimento situa-se entre 24°C e 30°C durante o período diurno. Temperaturas acima de 30°C prejudicam a relação positiva em termos de fotossíntese líquida nas plantas de milho, devido aos elevados índices respiratórios e ao aumento do metabolismo. Dessa forma, uma avaliação rigorosa das condições térmicas para escolha de manejo e

cultivares se mostra necessária para otimizar tanto o rendimento quanto a qualidade da produção de milho.

Contudo, nos trabalhos de Barbosa *et al.*, (2019) ao investigar a germinação de sementes de milho em condições de altas temperaturas, com foco na variedade UFT Robusto, revelaram que, em temperaturas superiores a 35°C, a mesma apresentou desempenho superior as demais variedades avaliadas, com maior percentual de sementes germinadas na primeira contagem. Essa variedade também mostrou adaptabilidade a condições climáticas quentes, destacando-se como uma opção promissora para regiões como Tocantins. A análise ressaltou a importância da tolerância ao estresse térmico na escolha de genótipos para o cultivo em ambientes com altas temperaturas.

O milho e as plantas daninhas precisam dos mesmos fatores para se desenvolver, como água, luz, nutrientes e espaço físico. Estabelecendo um processo competitivo entre as plantas daninhas e a cultura quando se desenvolve juntas. Em altas densidades, o potencial de crescimento da comunidade é controlado pelo recurso que apresentar-se em menor quantidade no ambiente (HOVARTH *et al.*, 2023). Ou devido a eficiência competitiva entre a variedade utilizada em competição com espécies de plantas daninhas.

O potencial hídrico é uma medida influenciada por diversos fatores, como a pressão hidrostática, a pressão osmótica e a gravidade. Esses elementos determinam a disponibilidade de água no solo e a capacidade das plantas de absorverem essa água. Conforme relatado por Santos *et al.* (2021), o déficit hídrico pode reduzir significativamente o potencial hídrico das plantas, afetando negativamente o crescimento e a produtividade das culturas. No caso específico do milho, os dados apresentados na Tabela 1 mostram que os maiores valores de potencial hídrico ocorreram durante o período da antemanhã.

De acordo com os resultados obtidos, todas as médias do potencial hídrico foliar ficaram abaixo de -1 MPa. Sabe-se que o Ψ_f de um tecido vegetal completamente túrgido é próximo de zero, mas, em condições de transpiração excessiva, esses valores podem cair para -1,0 MPa ou menos, mesmo quando o solo está na capacidade de campo (Pimentel, 1999). No experimento em questão, as altas temperaturas e a baixa umidade relativa do ar foram fatores que contribuíram para que os valores observados de Ψ_f estivessem abaixo de -1,00 MPa, evidenciando a capacidade de adaptação do genótipo de milho UFT-Robusto, mesmo sob condições de déficit hídrico. É importante destacar que, mesmo em condições sem competição e com 80% da capacidade de campo (Tabela 1), os valores de Ψ_f não se aproximaram de zero, refletindo as condições de estresse, principalmente causadas pela temperatura e pela umidade relativa da região.

As plantas de milho utilizadas neste estudo não foram expostas a um déficit hídrico letal, nem chegaram à terceira fase do estresse hídrico, conforme descrito por Sinclair e Ludlow (1986). No entanto, para outras variedades, esse nível de déficit pode ser fatal. Na terceira fase do estresse hídrico, os valores de Ψ_f se aproximam de -1,5 MPa, o que seria letal para a maioria das variedades de milho. Os ambientes que levam a esses valores não são fixos e dependem do grau de tolerância ao déficit hídrico das diferentes variedades. Por exemplo, um manejo com 40% da capacidade de campo pode resultar em valores de Ψ_f acima de -1,5 MPa para a maioria das variedades. No presente estudo, os valores de Ψ_f observados permaneceram dentro do esperado, situando-se entre as duas primeiras fases do déficit hídrico. Os maiores valores foram registrados nas condições de 40% da capacidade de campo, mas não ultrapassaram -0,9 MPa. Provavelmente, nesta fase, a variedade de milho estudada ativou seus processos fisiológicos de adaptação ao estresse hídrico, resultando em valores de Ψ_f abaixo de -0,90 MPa, tanto em competição quanto isoladamente (Tabela 1).

Em competições com plantas daninhas, independentemente do manejo hídrico, as plantas de milho apresentaram valores relativamente baixos de Ψ_f ($<-0,86$ MPa). Esses resultados eram esperados, uma vez que, mesmo sob manejos hídricos mais severos, a variedade de milho UFT Robusto manteve seu Ψ_f adequado (abaixo de -1,00 MPa), mesmo nas condições de altas temperaturas e baixa umidade durante o experimento. Em contrapartida, a *S. obtusifolia*, uma planta C3, provavelmente apresentava estômatos fechados nos momentos mais quentes do dia e durante a noite, resultando em baixa evapotranspiração e, conseqüentemente, em menor competição por água com o milho, que já estava em déficit na maior parte do dia.

Os resultados obtidos no período da tarde reforçam essa observação, uma vez que a competição por água é mais intensa nesse período, devido à menor disponibilidade de água. No entanto, como os estômatos das plantas daninhas estavam fechados, a competição intraespecífica com as plantas de milho foi menor, mesmo com temperaturas mais altas, o que favoreceu as plantas de milho (C4). Essas plantas, através de processos fisiológicos de adaptação ao estresse hídrico, provavelmente obtiveram vantagens nas condições do experimento.

Apesar disso, densidades maiores de plantas daninhas aumentam a competição por água, resultando em um menor Ψ_f nas plantas de milho. As avaliações realizadas no período da tarde não mostraram diferenças significativas, mas, ao analisar os valores absolutos, observa-se que, em uma densidade de 2 plantas, o Ψ_f nas plantas de milho foi menor do que nas competições com densidades maiores (4 e 6). Isso pode estar relacionado ao início dos

processos fisiológicos de adaptação ao déficit hídrico devido à competição com plantas daninhas.

Esses resultados estão de acordo com as observações feitas, onde os valores de Ψ_f nas plantas de milho foram sempre maiores na antemanhã e nas condições de menor déficit hídrico, seja por competição ou por déficit no solo. No entanto, mesmo em condições de competição com plantas daninhas e déficit hídrico no solo, os valores de Ψ_f nas plantas de milho não foram considerados altos, situando-se próximos à classificação de ausência de déficit hídrico. Isso ressalta a capacidade da variedade de milho UFT Robusto de se adaptar às condições de déficit hídrico, uma característica crucial para o cultivo de milho na segunda safra, quando a cultura é frequentemente exposta a condições de déficit hídrico na segunda metade do ciclo. Cultivares que não são tolerantes ao déficit hídrico provavelmente apresentariam valores de Ψ_f inferiores aos observados no presente estudo.

A concentração de prolina em plantas submetidas ao déficit hídrico pode variar significativamente de acordo com a espécie, variedade e as condições do estresse. Em um estudo realizado por Queiroz *et al.* (2010), com o híbrido de milho DKB 390, foi constatado um aumento nas concentrações de prolina em resposta ao déficit hídrico. No presente experimento, observou-se um comportamento semelhante: à medida que o estresse hídrico se intensificou, houve um incremento nos níveis de prolina. Esses resultados corroboram as observações anteriores, demonstrando que a variedade UFT-Robusto ativou mecanismos fisiológicos adaptativos ao estresse hídrico, como a manutenção do potencial hídrico (Ψ_f) abaixo de -1,00 MPa, mesmo durante os períodos mais quentes do dia. Esse fenômeno provavelmente está associado ao aumento da prolina, que desempenha um papel crucial no ajuste osmótico da planta, contribuindo para a redução dos valores de Ψ_f .

Entretanto, o aumento na produção de prolina acarreta um custo fisiológico significativo, direcionando o metabolismo da planta para a síntese desse aminoácido em detrimento do seu desenvolvimento e produtividade. No presente estudo, a variedade UFT Robusto demonstrou um aumento na produção de prolina sob condições de déficit hídrico em relação ao manejo com 80% da capacidade de campo. Contudo, mesmo em condições de estresse, essa variedade não apresentou concentrações de prolina superiores a 0,34 $\mu\text{mol.Prol.g}^{-1}$ MF, enquanto o cultivar DKB 390 registrou valores acima de 2,00 $\mu\text{mol.Prol.g}^{-1}$.

Segundo Kavi Kishor *et al.* (2005), para cada μmol de prolina produzido, há um consumo de 30 μmol de ATP. Assim, mesmo cultivares tolerantes ao déficit hídrico, como o DKB 390, podem ter um alto custo energético na produção de prolina em comparação com a

variedade UFT Robusto. Esta última, ao apresentar menores custos energéticos, conseguiu redirecionar o ATP economizado para a produção de biomassa, conforme observado nas Tabelas 2 e 3. Esses resultados apresentam correlações positivas com parâmetros de eficiência fisiológica, que só serão benéficas se forem direcionadas para características de interesse comercial, como o crescimento da parte aérea. Segundo Melo (2019), um bom desenvolvimento da planta nos estádios de 4 a 5 folhas completamente desenvolvidas está positivamente correlacionado com a produtividade de grãos.

Chagas *et al.*, (2018) observaram que o aminoácido prolina contribui para o aumento do potencial hídrico, ajudando a planta a reter mais água. Esse comportamento também foi observado quando a densidade de plantas daninhas aumentou na competição com o milho no presente experimento, sugerindo que o acúmulo de prolina está correlacionado com a tolerância ao déficit hídrico e à competição por água.

Na maior densidade de plantas daninhas, foram observados os maiores níveis de prolina, o que indica que os estresses hídricos e a competição intraespecífica foram atenuados pela capacidade da variedade UFT-Robusto de realizar o ajuste osmótico necessário nessas condições. Esse comportamento possivelmente não foi replicado nas plantas daninhas, o que conferiu uma vantagem fisiológica ao milho (C4) em relação às condições impostas neste experimento. Esses achados estão alinhados com Pedreira *et al.* (2007), que afirmam que o aumento das concentrações de prolina proporciona adaptações fisiológicas às plantas em condições de déficit hídrico. Observou-se, também, uma correlação inversa entre os valores de Ψ_f e a concentração de prolina.

Hendges *et al.* (2015), ao trabalhar com cultivares de milho, observaram que o cultivar BR2121, tolerante ao déficit hídrico, apresentou maiores concentrações de prolina em condições de estresse, enquanto o cultivar BR205, não tolerante, não mostrou aumento significativo na concentração de prolina. Além disso, Serraj e Sinclair (2002) ressaltam que plantas submetidas a condições de estresse tendem a produzir diferentes tipos de solutos, como a prolina, para proteger os componentes celulares contra lesões causadas pela desidratação.

Por fim, Fumis e Pedras (2002) demonstraram que o acúmulo de prolina durante o estresse hídrico pode ser um indicador de tolerância ao déficit hídrico em cultivares de trigo. Embora este estudo tenha envolvido outra espécie, os resultados obtidos corroboram os achados do presente experimento, reforçando a importância da prolina como um mecanismo de adaptação ao estresse hídrico em diferentes cultivares.

A variedade de milho UFT Robusto demonstrou uma estratégia adaptativa clara ao direcionar seu crescimento para a parte aérea em detrimento ao sistema radicular, especialmente em condições de competição por água e nutrientes. Essa abordagem indica uma eficiência superior na absorção de recursos, permitindo à planta manter sua demanda hídrica mesmo com uma menor biomassa seca radicular (BMSR) e volume radicular (VR), em comparação ao milho cultivado isoladamente. Esse comportamento evidencia que os mecanismos fisiológicos de tolerância ao déficit hídrico dessa variedade são notavelmente eficazes e mensuráveis, como foi observado no presente estudo.

A competitividade da planta daninha *Senna obtusifolia* com o milho foi particularmente notável, sendo capaz de induzir déficit hídrico na cultura do milho por meio de competição direta por água no solo. Essa planta daninha, conhecida popularmente como mata-pasto, possui um sistema radicular pivotante agressivo e forma simbioses com microrganismos fixadores de nitrogênio, o que reforça seu potencial competitivo. Em situações de competição, especialmente na segunda safra ou em condições de déficit hídrico, o manejo adequado das plantas daninhas torna-se fundamental para o sucesso da cultura. Nesse contexto, o uso de variedades de milho tolerantes ao estresse hídrico e à competição, aliado a práticas de manejo eficientes, pode maximizar a disponibilidade hídrica para a cultura e assegurar sua produtividade.

O desempenho competitivo das culturas individuais está fortemente relacionado ao tamanho e eficiência dos sistemas radiculares, à proximidade das plantas e à fertilidade do solo ao redor das raízes (Hutchings *et al.*, 2003). No caso do milho, seu rápido crescimento inicial permite que as raízes ocupem rapidamente grande parte do volume de solo, limitando o crescimento das raízes das plantas daninhas. Resultados semelhantes foram observados por Matos *et al.*, (2019).

O aumento do número de plantas de *S. obtusifolia* resultou em uma redução da biomassa seca radicular e do volume radicular do milho. No entanto, essa redução não se refletiu na biomassa seca da parte aérea, sugerindo que o milho foi capaz de ativar mecanismos fisiológicos de adaptação tanto ao estresse hídrico quanto à competição com *S. obtusifolia*. Essas adaptações foram particularmente evidentes sob condições de 40% da capacidade de campo (CC) e na presença de alta densidade de plantas daninhas, onde os valores de biomassa seca da parte aérea (BMSPA) e altura das plantas de milho não diferiram significativamente das condições sem estresse. Esses resultados indicam que os processos fisiológicos das plantas de milho foram eficazes em proporcionar adaptação às condições de

déficit, caracterizando a variedade UFT Robusto como tolerante tanto ao déficit hídrico quanto à competição com *S. obtusifolia*.

Além disso, a superioridade competitiva do milho em relação a *S. obtusifolia* pode ser atribuída ao seu metabolismo C4, que permite uma maior eficiência no uso da água e no transporte de fotoassimilados, em comparação com as plantas C3, como *S. obtusifolia* (Carvalho *et al.*, 2018). Considerando que o estresse hídrico e a competição com plantas daninhas ocorreram nos estádios V3 e V4 do milho, fases críticas em que a competição pode reduzir a produtividade em 10 a 15% (Gantoli *et al.*, 2013; Tursun *et al.*, 2016), os resultados obtidos neste estudo caracterizam a variedade UFT Robusto como altamente competitiva e responsiva a limitações hídricas

Conclusão

O aumento da densidade de *Senna obtusifolia* faz com que a planta de milho expresse seus processos fisiológicos de adaptação a essa competição intraespecífica.

Os maiores níveis de estresse hídrico e densidades de plantas daninhas proporciona aumento na concentração de prolina.

O aumento da concentração de prolina proporciona adequação do potencial hídrico da folha às condições de estresse impostas pelo manejo hídrico e competição intraespecífica com a *Senna obtusifolia*.

O estresse hídrico de 40% C.C não reduz a altura e a massa seca da parte aérea da variedade de milho UFT Robusto crescendo sem convivência de *Senna obtusifolia*.

A convivência de *Senna obtusifolia* reduz a massa seca de raiz e o volume de raiz, contudo não influencia no desenvolvimento da parte aérea da variedade de milho.

A variedade de milho UFT - Robusto é tolerante ao déficit hídrico e a competição com a *Senna obtusifolia*.

Referências

ASPIAZÚ, I. *et al.* Characteristics associated to photosynthesis and water use of weed species. **Planta Daninha**, v. 28, p. 87-92, 2010.

BARBOS JÚNIOR, L.B. **Matocompetição de híbridos de milho em função de densidades populacionais de *Digitaria insularis* L.** Dissertação (mestrado em Proteção de Plantas) – Instituto Federal Goiano. Urutaí, p.37.2021.

BARBOSA, JA *et al.* Desempenho de híbridos de milho sob competição com *Digitaria insularis*. **Revista Brasileira de Agricultura**, v. 2, pág. 95-105, 2021.

BATES, L.S., WALDREN, R.P., TEARE, I. Rapid determination of free proline for water stress studies. **Plant and soil**, v.39, n.2, p. 205-207, 1973.

BERGAMASCHI, Homero. MATZENAUER, Ronaldo. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2014. 84 p.

BERGONCI, Joao Ito et al. Potencial da água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 1531-1540, 2000.

BONO, Leticia et al. Alterações no padrão de resposta à luz da condutância estomática do milho causadas pelo déficit hídrico. **Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria**, v. 9, n. 1, p. 27-34, 2001.

BRITO, M. E. B. *et al.* Crescimento, fisiologia e produção do milho doce sob estresse hídrico. **Bioscience. Journal**. Uberlândia, v 29, n. 5, p1244-1254, set./oct. 2013.

CARVALHO, I. R.; SZARESKI, V. J.; NARDINO, M.; VILLELA, F. A.; SOUZA, V. Q. **Melhoramento e produção de sementes de culturas anuais - Soja, Milho, Trigo e Feijão**. 1. ed. Saarbrücken, Germany: Ommi Scriptum Publishing Group, 2018. v. 50.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 11º Levantamento da Safra de Grãos - Safra 2022/23. Brasília, DF: CONAB, 2023.

COSTA, Gracilene Fernandes da e Marengo, Ricardo A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica** [online]. v. 37, n. 2, pp. 229-234, 2007.

DUARTE, Daiane M. et al. Simulação de déficit hídrico em diferentes genótipos de feijão pela diminuição do potencial osmótico. **Revista Processos Químicos**, v. 7, n. 13, p. 43-49, 2013.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS (BRAZIL). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Serviço de Produção de Informação, 1999.

CHAGAS, JAÍZA FRANCISCA RIBEIRO *et al.* Adubação nitrogenada na severidade de doenças foliares, produtividade e respostas bioquímicas em híbridos de milho. 2018.

FARIA, Vinícius Rodrigues de. **Eficácia do tratamento de sementes e tecnologia Bt contra *Spodoptera frugiperda* em estádios iniciais do milho**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; LEE, D. J.; ITO, O.; SIDDIQUE, K. H. M. Advances in Drought Resistance of Rice. **Critical Reviews in Plant Sciences**. v. 28, n. 4. p.199-217. 2009.

FERREIRA, LUCAS; RODRIGUES, MARIA GABRIELA FONTANETTI; LISBOA, LUCAS APARECIDO MANZANI; MELERO, MARIANA MOREIRA; FIGUEIREDO, PAULO ALEXANDRE MONTEIRO DE. Fotossíntese, condutância estomática e eficiência do uso da água em seis cultivares de figos. **Anais do II Encontro Paulista de Ciência do Solo**, 2018.

FIGUEIRÔA, J. M.; BARBOSA, D. C. A.; SIMABUKURO, E. A. Crescimento de plantas jovens de *Miracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) sob diferentes regimes hídricos. **Acta Botânica Brasílica**, Porto Alegre, v. 18, p. 573-580, 2004.

FLORINDO, J. B. et al. Brachiaria species identification using imaging techniques based on fractal descriptors. **Comput electron Agr**. v.103, p.48-54, 2014.

FOTELLI, M.N., RADOGLU, K.M., CONSTANTINIDOU, H.I.A. Water stress responses of seedlings of four mediterranean oak species. **Tree Physiology**, 20: 1065-1075. 2001.

FREITAS, B. S. M. et al. Densidade estomática e trocas gasosas foliares de dois genótipos de milho sob déficit hídrico. 2019.

GALON, Leandro et al. Competição entre híbridos de milho com plantas daninhas. **South American Sciences**, v. 2, n. 1, p. e21101-e21101, 2021.

GANTOLI, G., AYALA, V. R., GERHARDS, R. Determination of the critical period for weed control in corn. **Weed Technol**. v.27, p.63-71, 2013.

GHEYSARI, M. et al. Comparison of deficit irrigation management strategies on root, plant growth and biomass productivity of silage maize. **Agr Water Manage**. v.182, p.126-138,2017.

HENDGES, Flávia Bordignon et al. Avaliação enzimática e fisiológica de plântulas de milho submetidas à seca. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, n. 2, p. 52-63, 2015.

Holm, G. L., Plucknett, L. D., Pancho, V. J. Herburger, P. J. (1991) **The world's worst weeds**. Malabar: Krieger Publishing Company, 609 p.

HORVATH, David P. et al. Weed-induced crop yield loss: a new paradigm and new challenges. **Trends in Plant Science**, 2023.

Hsiao, T.C. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, 24: 519-570. 1973.

HUTCHINGS, M. J. et al. Toward understanding the consequences of soil heterogeneity for plant populations and communities. **Ecology**, v. 84, n. 9, p. 2322-2334, 2003.

KASPERBAUER, M.J.; KARLEN, D.L. Plant spacing and reflected far-red light effects on phytochrome regulated photosynthate allocation in corn seedlings. **Crop Science**, v.34, p.1564-1569, 1994.

KUNZ, Jefferson Horn et al. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 42, n. 11, p. 1511-1520, 2007.

KUSAKA, M.; LALUSIN, A.G.; FUJIMURA, T. The maintenance of growth and turgor in pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) Leeke) cultivars with different root structures and osmo-regulation under drought stress. **Plant Science**, v.168, p.1-14, 2005.

LAVINSKY, A. O.; MAGALHÃES, P. C.; DINIZ, M. M.; GOMES JR., C. C.; CASTRO, E. M.; ÁVILA, R. G. Root system traits and its relationship with photosynthesis and productivity in four maize genotypes under drought. **Cereal Research Communications**, Szeged, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2016. DOI: 10.1556/0806.43.2015.029.

LISAR, S. Y. S. et al. Water stress in plants: causes, effects and responses. Water Stress, prof. Ismail Md. Mofizur Rahman (Ed.), ISBN: 978-953-307-963-9, 2012. In Tech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/water-stress/water-stress-in-plants-causes-effects-and-responses>.

LIU, F.; STÜTZEL, H. Leaf water relations of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to soil drying. **European Journal of Agronomy**, v.16, p.137-150, 2002.

LOPES, S. J.; STORCK, L.; PERIN DAMO, H.; BRUM, B.; DOS SANTOS, V. J. Relações de causa e efeito em espigas de milho relacionadas aos tipos de híbridos. **Ciência Rural**, v. 37, n. 6, 2007.

MANSOURI-FAR, Cyrus; SANAVY, Seyed Ali Mohammad Modarres; SABERALI, Seyed Farhad. Resposta da produtividade do milho ao déficit de irrigação em estádios de crescimento de baixa sensibilidade e dose de nitrogênio em condições climáticas semiáridas. **Gestão Agrícola da Água**, v. 97, n. 1, pág. 12-22, 2010.

MARWEIN, M. A. *et al.* Response of water deficit regime and soil amelioration on evapotranspiration loss and water use efficiency of maize (*Zea mays* L.) in subtropical northeastern Himalayas. **Int J Biometeorol.**; v.61, p.845-855, 2017.

MATOS, C. C. *et al.* Interspecific competition changes nutrient: nutrient ratios of weeds and maize. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 182, n. 2, p. 286-295, 2019.

MELO, AURÉLIO VAZ et al. Desempenho agrônômico de genótipos de milho submetidos ao estresse hídrico no sul do estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 2, p. 177-189, 2018.

MELO, L. A. de; MELO, S. B. de; FREITAS, R. S.; ALMEIDA, L. P. Respostas fisiológicas de genótipos de milho ao estresse hídrico no cerrado tocantinense. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 6, n. 2, p. 1-8, 2019.

MONQUERO, P. A. **Aspecto da biologia e manejo das plantas daninhas**. – São Carlos: Rima Editora, 2014, p.430.

MONTEIRO, Juliana Geseira et al. Crescimento e conteúdo de prolina em plântulas de guandu submetidas a estresse osmótico e à putrescina exógena. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** [online]. v. 49, n. 01, 2014, pp. 18-25.

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; ALVES, R. C.; LIMA, L. A.; SANTOS, S. T.; RÉGIS, L. R. L. Produção de feijão caupi em salinidade e regulador de crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.11, p.1049-1056, 2015.

OLIVEIRA, W. J.; SOUZA, E. R.; SANTOS, H. R. B.; SILVA, E. F. F.; DUARTE, H. H. F.; MELO, D. V. M. Fluorescência da clorofila como indicador de estresse salino em feijão caupi. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.12, n.3, p.2592-2603, 2018.

OREN, R.; SPERRY, J.S.; KATUL, G.G.; PATAKI, D.E.; EWERS, B.E.; PHILLIPS, N.; SCHAFER, K.V.R. Survey and synthesis of intra- and interspecific variation in stomatal sensitivity to vapour pressure deficit. **Plant, Cell and Environment**, 22(12): 1515-1526. 1999.

PEDREIRA, Alessandra Cavalcante *et al.* Conteúdo relativo de água, teor de prolina e carboidratos solúveis totais em folhas de duas cultivares de milho submetidas ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. S2, p. 918-920, 2007.

PEDROTTI, A. *et al.* Atributos químicos do solo modificados por diferentes sistemas de cultivo associados a culturas ancestrais ao cultivo do milho, nos Tabuleiros Costeiros. **MAGISTRA**, v. 27, p. 292-305, 2017.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. **Update world map of the Köppen-Geiger climate classification**. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, European Geosciences Union, v. 11, p. 1633-1644. 2007.

PEREZ, S. C. J. G. A. Crescimento e resistência à seca da algarobeira (*Prosopis juliflora* D.C.) cultivada em solo de cerrado, com ou sem adubo orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, p.287-294, 1998.

PIMENTEL, Carlos. Relações hídricas em dois híbridos de milho sob dois ciclos de deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 2021-2027, 1999.

QUEIROZ, Rafaela Josemara Barbosa. Resposta fisiológica e molecular de dois genótipos de milho à limitação hídrica. 2010.

RAJCAN I., SWANTON, C.J. Understanding maize–weed competition: resource competition, light quality and the whole plant. **Field Crops Res** 71:139–150. 2001.

Ranjan, R., Sahoo, R. N., Chopra, U. K., Pramanik, M., Singh, A. K., & Pradhan, S. Assessment of water status in wheat (*Triticum aestivum* L.) using ground based hyperspectral reflectance. **Biological Sciences**, 5(20), 1-12. 2015.

SANTOS, Elenilton Lessa Silva dos *et al.* Potencial hídrico e capacidade fotossintética em genótipos de cana-de-açúcar e cana-energia sob deficiência hídrica. 2021.

SANTOS, O. O. *et al.* Desempenho ecofisiológico de milho, sorgo e braquiária sob déficit hídrico e reidratação. **Bragantia**, v. 73, p. 203-212, 2014.

SERRAJ, RACHID; SINCLAIR, T. R. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions?. **Plant, cell & environment**, v. 25, n. 2, p. 333-341, 2002.

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

SILVA, M. de A.; SANTOS, C. M. dos; VITORINO, H. dos S.; RHEIN, A. F. de L. Pigmentos fotossintéticos e índice spad como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, v.30, n.1, p. 173-181, 2014.

SOUSA, Monique Feitosa da Costa et al. Interferência de plantas daninhas associadas a restrição hídrica no crescimento inicial do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 4. ed. Porto Alegre: **Artmed**, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 5. ed. Porto Alegre: **Artmed**, 918 p. 2013.

TARDY, Florence et al. Trait-based characterisation of soil exploitation strategies of banana, weeds and cover plant species. **PLoS One**, v. 12, p. e0173066, 2017.

THURLOW, D.L. and Buchanan, G.A. Competition of Sicklepod with Soybeans. **Weed Science**, 20, 379-384. 1972.

TOBIN, M. F., Lopez, O. R., Kursar, T. A. Responses of Tropical Understory Plants to a Severe Drought: Tolerance and Avoidance of Water Stress1. **Biotropica**, 31(4), 570-578. 1999.

TOLLENAAR, Matthijs; AGUILERA, Alberto; NISSANKA, Sarath P. Grain yield is reduced more by weed interference in an old than in a new maize hybrid. **Agronomy Journal**, v. 89, n. 2, p. 239-246, 1997.

TOPANOTTI, Larissa Regina; PEREIRA, Paula Helena; BECHARA, Fernando Campanhã. Germinação de sementes de *Senna obtusifolia* (L.) Hs irwin & barneby (Fabaceae) visando a restauração de áreas degradadas. **Publicatio UEPG: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 20, n. 2, p. 125-129, 2014.

VANTINI, A. A. et al. Concentração de prolina em cana-de-açúcar sob estresse hídrico. *Sugarcane Research Journal*, v. 25, n. 1, p. 77-85, 2016

REFERÊNCIAS

- AFIFI, M.; RAFII, M. Y.; SALEH, G.; LATIF, M. A. Effect of drought on growth and physiological characteristics of Malaysian rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, v. 6, n. 10, p. 1441-1446, 2012.
- ARAÚJO, S. S.; BECKER, J. D.; OLIVEIRA, M. M. Insights into plant responses to drought stress: Using Arabidopsis to explore conserved and novel mechanisms of drought tolerance. *Plant Physiology*, v. 173, n. 4, p. 2117-2137, 2017.
- JABRAN, K.; MAQBOOL, R.; ZAHID, U.; ZAHOOR, A. Weeds and their management in maize. In: ZIA, Z.; JABRAN, K. (Eds.). *Weed Management in Maize*. 1. ed. Cham: Springer, 2015. p. 123-135.
- KOPP, B.; GAO, L.; NAGANUMA, K. I.; DEHMER, M.; SCHMITZ, J.; KROH, G. E.; ZHANG, J. Crop production in the context of global warming: Role of CO₂ enrichment, water availability and land management. *Environmental Reviews*, v. 24, n. 2, p. 171-189, 2016.
- LARCHER, W. *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*. 4. ed. Berlin: Springer, 2006. 513 p.
- MELO, J. A. T.; SANTOS, R. F.; PEREIRA, W.; ALVES, J. D. *Desenvolvimento de Cultivares de Milho Adaptadas às Condições de Seca do Brasil*. Viçosa: Editora UFV, 2018. 212 p.
- MUTLU, N.; BOZKURT, M. A.; KARA, R.; CEYLAN, Y.; OZ, E.; ER, M. Genetic diversity in Turkish maize (*Zea mays* L.) landraces based on SSR markers. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, v. 42, n. 4, p. 258-267, 2018.
- PEDROTTI, A.; FARIA, R. T.; LOPES, A. S.; OLIVEIRA, C. A. S.; QUEIROZ, S. R. Development of no-tillage farming system and quality of seeds of soybean, maize and beans in Brazil. *Agricultural Systems*, v. 7, n. 1, p. 20-28, 2017.
- PONTE, L. C.; SILVA, J. S.; MARTINS, E. S.; SANTOS, J. C. A. Dynamics and management of invasive weed species in the Brazilian agroecosystem. *Weed Biology and Management*, v. 23, n. 3, p. 187-198, 2023.
- RAMESH, K.; MATLOOB, A.; ASLAM, F.; FLORES, R. A.; JABRAN, K. Herbicide resistance in weeds and crops: A review. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 122, p. 144-156, 2017.
- RANUM, P.; PEÑA-ROSAS, J. P.; GARCIA-CASAL, M. N. Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1312, n. 1, p. 105-112, 2014.
- SANTOS, F. R.; SILVA, J. T.; OLIVEIRA, M. G. Valor nutricional e usos do milho (*Zea mays* L.). *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 12, n. 1, p. 23-35, 2017.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.