

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS –
AGRONOMIA

ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS EM PLANTAS DE SOJA
SUBMETIDAS A NÍVEIS DE DÉFICIT HÍDRICO E
INOCULAÇÃO COM FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES

MESTRANDA: GERMANNIA GOUVEIA TAVARES
ORIENTADOR: PROF. DR. EDSON LUIZ SOUCHIE

RIO VERDE - GO
FEVEREIRO – 2020

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS –
AGRONOMIA

ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS EM PLANTAS DE SOJA
SUBMETIDAS A NÍVEIS DE DÉFICIT HÍDRICO E
INOCULAÇÃO COM FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES

MESTRANDA: GERMANNIA GOUVEIA TAVARES
ORIENTADOR: PROF. DR. EDSON LUIZ SOUCHIE

Dissertação apresentada como parte das exigências para a obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Área de Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado.

RIO VERDE - GO
FEVEREIRO – 2021

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

TT231a Tavares, Germanna Gouveia
ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS EM PLANTAS DE SOJA
SUBMETIDAS A NÍVEIS DE DÉFICIT HÍDRICO E INOCULAÇÃO
COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES. / Germanna
Gouveia Tavares; orientador Edson Luiz Souchie; co-
orientadora Juliana Silva Rodrigues Cabral. -- Rio
Verde, 2021.
64 p.

Dissertação (Mestrado em Mestrado em Ciências
Ágrarias) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio
Verde, 2021.

1. Simbiose. 2. Estresse hídrico. 3. FMA. I.
Souchie, Edson Luiz, orient. II. Rodrigues Cabral,
Juliana Silva, co-orient. III. Título.

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES
TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC – Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Germanna Gouveia Tavares

Matrícula: 2019102310140031

Título do Trabalho: ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS EM PLANTAS DE SOJA SUBMETIDAS A NÍVEIS DE DÉFICIT HÍDRICO E INOCULAÇÃO COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES.

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 01/01/2021

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, 29 de abril de 2021



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 11/2021 - NREPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA Nº/187 BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos vinte e seis dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e um, às 08:30h (oito horas e 30 min), reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: Prof. Dr. Edson Luiz Souchie (Orientador), Prof. Dr. Gustavo Castoldi (Avaliador interno), Prof^ª. Dra. Juliana Silva Rodrigues Cabral (Avaliadora externa) e Prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro (Membro Externo), sob a presidência do primeiro, em sessão pública realizada por vídeo conferência, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de Mestrado, de autoria de **GERMANNA GOUVEIA TAVARES**, discente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia (PPGCA-AGRO) do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora Prof. Dr. Edson Luiz Souchie, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida à autora da Dissertação para, em 40 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Em seguida, cada membro da banca arguiu a candidata, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o PPGCA-AGRO, a Dissertação foi APROVADA, condicionada à absorção das correções indicadas pela Banca Examinadora, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-AGRONOMIA**, na área de concentração Produção Vegetal Sustentável no Cerrado, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGCA-AGRO da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, esta ata perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60** (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação de artigos científicos oriundos dessa Dissertação em periódicos de circulação nacional e, ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado e, para constar, eu, Vanilda Maria Campos, secretária do PPGCA-AGRO, lavrei a presente Ata que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Prof. Dr. Edson Luiz Souchie (Presidente)

Prof^ª. Dra. Juliana Silva Rodrigues Cabral (Avaliadora externa)

Prof. Dr. Gustavo Castoldi (Avaliador interno)

Prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro (Avaliador Externo)

AGRADECIMENTO

Primeiramente a Deus por ter me dado forças para chegar até aqui.

À minha mãe e esposo que sempre apoiaram minha jornada acadêmica.

Aos meus colegas e, especialmente, Letícia e Laís que contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador Dr. Edson Luiz e minha co-orientadora Dra. Juliana Cabral, pelos ensinamentos. Ao IF Goiano – Campus Rio Verde e à CAPES, pela oportunidade de realização do mestrado e concessão de bolsa.

A todos, meu muito obrigado!

BIOGRAFIA DA AUTORA

Germannna Gouveia Tavares, 24 anos, nascida no dia 04 de abril de 1996 em Rio Verde – GO, filha de Zenaide Martins de Gouveia e Germano Pereira Tavares. De 2001 a 2013, estudou do ensino fundamental até o ensino médio em escola pública. Em 2012 e 2013, cursou o Técnico em Administração e, de 2014 a 2018, o Bacharelado em Agronomia no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. Em 2019, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia (Mestrado) na mesma instituição, concluindo-o em março de 2021.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE TABELAS.....	20
ÍNDICE DE FIGURAS	21
ÍNDICE DE MATERIAL SUPLEMENTAR.....	22
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIACÕES	23
RESUMO.....	24
ABSTRACT.....	25
INTRODUÇÃO GERAL.....	26
2.1 Histórico e importância da soja (<i>Glycine max</i> L. Merrill)	27
2.2 Déficit hídrico	28
2.3 Fungos Micorrízicos Arbusculares	29
OBJETIVOS	31
1. Objetivo Geral.....	31
2. Objetivos específicos	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
RESUMO:.....	37
1. INTRODUÇÃO	38
2. MATERIAL E MÉTODOS	39
2.1. Multiplicação e inoculação dos FMA	39
2.2. Obtenção do material vegetal e condições de crescimento das plantas	39
2.3. Indução do déficit hídrico	40
2.4. Medições fisiológicas.....	40
2.5. Medição do potencial hídrico.....	41
2.6. Determinação do conteúdo de clorofila	41
2.7. Taxa de extravasamento de eletrólitos do tecido foliar.....	41
2.8. Densidade de esporos de FMA	41
2.9. Colonização Micorrízica	42
2.10. Características biométricas.....	42
2.11. Análise de fósforo da parte aérea.....	42
2.12. Análise Estatística	42
3. RESULTADOS	43
3.1. Parâmetros fisiológicos	43
3.2. Potencial hídrico.....	45
3.3. Pigmentos fotossintéticos.....	45
3.5. Densidade de esporos de FMA	50

3.6	Colonização micorrízica.....	51
3.7	Características biométricas.....	53
3.8	Análise de fósforo da parte aérea	56
4	DISCUSSÃO.....	56
5	CONCLUSÕES.....	64
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
7	MATERIAL SUPLEMENTAR.....	74

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Potencial hídrico de plantas de soja inoculadas com os FMA <i>Gigaspora margarita</i> e <i>Gigaspora gigantea</i> no período de restrição hídrica, em Rio Verde, GO.....	31
Tabela 2: Potencial hídrico de plantas de soja inoculadas com os FMA <i>Gigaspora margarita</i> e <i>Gigaspora gigantea</i> após reirrigação, em Rio Verde, GO.....	31
Tabela 3: Taxa de extravasamento de eletrólitos do tecido foliar de plantas de soja inoculadas com os FMA <i>Gigaspora margarita</i> e <i>Gigaspora gigantea</i> no período de restrição hídrica, em Rio Verde, GO.....	35
Tabela 4: Taxa de extravasamento de eletrólitos do tecido foliar de plantas de soja inoculadas com os FMA <i>Gigaspora margarita</i> e <i>Gigaspora gigantea</i> após reirrigação, em Rio Verde, GO.....	36
Tabela 5: Concentração de fósforo (P) nas folhas das plantas de soja inoculadas com os FMA <i>Gigaspora margarita</i> e <i>Gigaspora gigantea</i> após reirrigação, em Rio Verde, GO.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1: DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE PLANTAS DE SOJA ASSOCIADAS COM FUNGO MICORRÍZICO ARBUSCULAR SOB NÍVEIS DE DÉFICIT HÍDRICO

- Figura 1** – Taxas de condutância estomática - g_s (A), fotossíntese líquida - A (B), transpiratória - E (C), concentração ambiente de CO_2 (D) e fluorescência máxima (F_m) de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* após reirrigação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).....30
- Figura 2** – Teores de clorofila *a* (A), clorofila *b* (B) e carotenoides (C) de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* durante o período de déficit hídrico. Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas entre os tratamentos de estresse hídrico e minúsculas entre os tratamentos de inoculação, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).....33
- Figura 3** – Teores de clorofila *a* de plantas de soja (A) e após reirrigação (B) de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea*. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).....34
- Figura 4** – Teores de clorofila *b* (A) e $Cl\ a / Cl\ b$ (B) de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* medidos através de discos foliares saturados em DMSO após reirrigação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).....35
- Figura 5** - Densidade de esporos em plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea*. Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas entre os tratamentos de estresse hídrico e minúsculas entre os tratamentos de inoculação, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).....37
- Figura 6**- Porcentagem de colonização micorrízica de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* no período de déficit hídrico (A) e após a reirrigação (B). Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas entre os tratamentos de estresse hídrico e minúsculas entre os tratamentos de inoculação, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).....38

Figura 7 - Imagem do córtex radicular de plantas de soja indicando colonização dos fungos micorrízicos arbusculares nativos do solo (A), *Gigaspora margarita* (B) e *Gigaspora gigantea* (C). Ar = arbúsculos.....38

Figura 8 - Altura de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* no período de déficit hídrico (A) e após a reirrigação (B e C). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).....39

Figura 9 - Massa seca da parte aérea no período de déficit hídrico (A), massa seca de raízes no período de déficit hídrico (B) e massa seca da parte aérea após a reirrigação (C) de plantas de soja inoculadas com *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea*. Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas entre os tratamentos de déficit hídrico e minúsculas entre os tratamentos de inoculação, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).....41

ÍNDICE DE MATERIAL SUPLEMENTAR

Tabela 1S. Análise de solo (0-20 cm) antes da instalação do experimento.....61

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIACÕES

FMA	Fungo micorrízico arbuscular	
<i>A</i>	Fotossíntese	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
<i>G_s</i>	Condutância estomática	$\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
<i>C_a</i>	Concentração ambiente de CO ₂	
<i>E</i>	Taxa transpiratória	$\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
<i>F_m</i>	Fluorescência máxima da clorofila	
%	Porcentagem	
G	Gramas	
ml	Mililitro	
Cm	Centímetro	
mM	milimolar	
Mmol	Milimol	
<i>Cl a</i>	Clorofila <i>a</i>	
<i>Cl b</i>	Clorofila <i>b</i>	
FSII	Fotossistema II	

RESUMO

TAVARES, G. G. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, GO, fevereiro de 2021. **Alterações fisiológicas em plantas de soja submetidas a níveis de déficit hídrico e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares.** Orientador: Edson Luiz Souchie.

A soja é a oleaginosa mais produzida e consumida no mundo, e o Brasil ocupa o primeiro lugar na produção mundial desse grão. A agricultura é altamente dependente de fatores climáticos e os constantes veranicos, comuns no Centro-Oeste, restringem, de forma expressiva, a produtividade potencial máxima das lavouras. A água é um dos principais recursos para o desenvolvimento das lavouras e representa cerca de 90% da biomassa das plantas de soja. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) desempenham papel vital na natureza, atuam como uma extensão das raízes das plantas e maximizam a absorção de nutrientes e água. Tais fungos colonizam as plantas para trazer-lhes diversas vantagens, principalmente em termos de acúmulo de nutrientes, maior desenvolvimento vegetal e favorecimento de sua produtividade. Ademais, as plantas que convivem com estes fungos mantêm maior condutância estomática durante os períodos de escassez de água. Com este trabalho, objetivou-se analisar o desempenho fisiológico das plantas de soja associadas a FMA, sob três níveis de déficit hídrico. As plantas inoculadas receberam, no sulco de semeadura, 31g do inóculo *G. margarita* (3,3 esporos g⁻¹) e 46g de *G. gigantea* (2,2 esporos g⁻¹). As plantas foram cultivadas em casa de vegetação, sob condições naturais de luz, com temperatura média de 28 °C. O controle do conteúdo de água foi realizado através de sensores de irrigação, modelo 10 HS (METER Group, Inc. USA), após a medição da capacidade de campo por método gravimétrico. O déficit hídrico foi imposto quando as plantas chegaram ao estágio V3, sendo dividido em três grupos: 80% da CC, 60% da CC e 40% da CC. Foram avaliados parâmetros biométricos e fisiológicos das plantas. Após as primeiras análises, as plantas foram reirrigadas até 80% da CC por dois dias e as análises realizadas novamente. As plantas de soja inoculadas com os FMA *G. margarita* e *G. gigantea* tiveram taxas de condutância estomática, transpiração e fluorescência máxima maiores que as plantas sem inoculação. Tais resultados demonstram que as plantas inoculadas com FMA têm tolerância ao déficit hídrico devido a contribuição dos fungos. Os resultados obtidos demonstram que, quanto maior o déficit hídrico, maior a resposta à inoculação dos FMA. Portanto, a inoculação com os FMA *G. margarita* e *G. gigantea* maximiza o desenvolvimento da soja sob condições de déficit hídrico.

Palavras-chave: simbiose, estresse hídrico, FMA.

ABSTRACT

TAVARES, G. G. Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde - GO, February, 2021. **Physiological changes in soybean plants under water deficit levels and inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi.** Advisor: Edson Luiz Souchie.

Soybean is the most produced and consumed oilseed in the world, and Brazil occupies the first place in the world production of this grain. Agriculture is highly dependent on climatic factors, the summer constants, common in the mid-west, restrain the maximum potential productivity of crops. Water is one of the main resources for crop growth and represents about 90% of soybean plant biomass. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) play a vital role in nature, which act as an extension of plant roots and maximize nutrient and water absorption effectively. These fungi colonize plants to bring them several advantages, mainly in terms of nutrient accumulation, greater plant growth and productivity enhancement. Moreover, plants that live with these fungi maintain greater stomatic conductance during periods of water scarcity. This study aimed to analyze the physiological performance of soybean plants associated with AMF, under three levels of water deficit. The plants that were inoculated received 31g of the inoculum *G. margarita* (3.3 g^{-1} spores) and 46 g of FMA *G. gigantea* (2.2 g^{-1} spores) in the sowing groove, separately and grew in a greenhouse under natural conditions of light with RH and average temperature of 28 °C. The control of the water content was performed through irrigation sensors, model 10 HS (METER Group, Inc. USA), after measuring the field capacity using gravimetric method. Water deficit was imposed when the plants reached stage V3, being divided into three groups: 80% of WC, 60% of WC and 40% of WC. Biometric and physiological parameters of the plants were evaluated. After the first analyses, the plants were reirrigated up to 80% of WC for two days and the analyses were performed again. Soybean plants inoculated with AMF *G. margarita* and *G. gigantea* showed higher rates of stomatic conductance, transpiration and maximum fluorescence than plants without inoculation. These results demonstrate that plants inoculated with AMF have higher tolerance to water deficit due to the contribution of fungi. The data obtained show that the greater the deficit, the greater the response to AMF inoculation. Therefore, inoculation with AMF *G. margarita* and *G. gigantea* maximizes soybean development under water deficit conditions.

Keywords: symbiosis, water restriction, dry, AMF.

INTRODUÇÃO GERAL

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] pertence à família Fabaceae e devido seu alto teor de óleo (18-22%) e proteína (36-50%), pode ser utilizada na alimentação humana (óleo de soja, tofu, proteína de soja e material base de suplemento proteico) e na preparação de rações para animais, sendo um produto de grande relevância econômica no Brasil (NATARAJAN, 2014).

O Brasil tem expressiva importância na produção mundial da soja, sendo o maior produtor e exportador do grão. Estima-se, na safra de 2020/21, um crescimento da área plantada de soja, podendo chegar a 38,2 milhões de hectares semeados, incremento de 3,3%, e um total de 134,45 milhões de toneladas do grão (CONAB, 2020). A produção total mundial da cultura na safra 2019/20 foi de 337,298 milhões de toneladas, ficando o Brasil em primeiro lugar (maior produtor mundial do grão) com uma produção de 124,845 milhões de toneladas (EMBRAPA, 2020).

Manter a produtividade, bem como a qualidade das sementes e o rendimento de grãos depende das condições climáticas das plantas (ST-MARSEILLE et al., 2019). Dentre os fatores ambientais, o déficit hídrico é considerado um dos principais estresses abióticos que desfavorece o desenvolvimento das culturas agrícolas (KUNERT et al., 2016). Tem sido relatado que, durante o período crítico de desenvolvimento da soja, quando ocorre a redução das chuvas, a temperatura aumenta periodicamente, especialmente na região Centro-Oeste do Brasil, que é uma das maiores produtoras de soja do país (CONAB, 2019).

A limitação de água também pode afetar a germinação, reduzir a taxa de crescimento e, por fim, reduzir o rendimento (ANSARI et al., 2012). O déficit hídrico também pode ocasionar redução da fixação de CO₂ no aparato fotossintético das plantas (ELDAKAK et al., 2013). Além de também limitar a absorção de nutrientes, outro fator causado pela falta de água é a produção excessiva de espécies reativas de oxigênio, causadores do estresse oxidativo. Portanto, as plantas precisam investir na produção de enzimas antioxidantes (catalase, ascorbato peroxidase e superóxido dismutase) para se defenderem dos radicais livres (LISAR et al., 2012).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) tornam-se uma alternativa para maximizar a tolerância das plantas ao déficit hídrico. Estes fungos são componentes da microbiota do solo e conseguem associar simbioticamente com a maioria das plantas e

conferem diversas vantagens para as mesmas, principalmente em relação ao acúmulo de nutrientes (SMITH et al, 2010).

Em simbiose com as raízes, os FMA favorecem o desenvolvimento das plantas. O êxito desta simbiose entre fungos e plantas é reconhecido no âmbito científico, principalmente pela sua elevada eficiência e incremento da captação de água e nutrientes, fator decisivo para superar as adversidades bióticas e abióticas sofridas pelas plantas (PICCOLI et al., 2011).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Histórico e importância da soja (*Glycine max* L. Merrill)

A soja pertence à família *Fabaceae* e tem origem no nordeste da China (GAZZONI, 2018). No Brasil, o primeiro cultivo de soja é relatado a partir de 1882, no estado da Bahia. Porém, o cultivo fracassou, pois o material genético, que foi desenvolvido para climas frios ou temperados não se adaptou às condições mais quentes da Bahia (GAZZONI, 2018). No estado de Goiás, a introdução da soja ocorreu em 1950 e não se expandiu por falta de recursos governamentais, o que dificultou o desenvolvimento agrícola (MACHADO, 2014).

O Cerrado não era considerado apto para fins agrícolas, devido às características do solo (baixos teores de nutrientes e ácidos), além da longa exposição a períodos de seca, limitando o desenvolvimento agrícola (MARIANO, 2010). Os cientistas fizeram grandes esforços para fornecer fórmulas viáveis para corrigir as propriedades químicas e possibilitar condições nutricionais satisfatórias ao cultivo da soja no Cerrado (GAZZONI, 2018).

A soja contribuiu fortemente na economia no ramo das exportações brasileiras, com participação expressiva nos últimos 10 anos para a balança comercial, correspondendo em média com 6% do total de tudo exportado no Brasil (COMTRADE, 2015), o que comprova sua importância na cadeia alimentar e a força econômica do grão. A safra 2018/2019 teve decréscimo na produção, pois o início do ano de 2019 foi marcado por queda no potencial produtivo das lavouras de soja em várias regiões do país e, em Goiás, a redução foi motivada por altas temperaturas, dois veranicos e chuvas irregulares durante o desenvolvimento da safra (APROSOJA, 2019).

Para a safra 2020/21, espera-se um crescimento da área plantada da soja, com incremento de 3,3% comparado à safra anterior, atingindo 38,2 milhões de hectares

semeados. Segundo o IFAG (2019), a região Sudoeste de Goiás foi considerada a área mais avançada para o plantio da soja em 2019/20. Nesta região, o município de Rio Verde ocupou o segundo lugar no percentual de área plantada (60%), ficando atrás do município de Montividiu que alcançou 75% de área semeada.

2.2 Déficit hídrico

Na agricultura pode ocorrer alterações na produção por ser dependente dos fatores climáticos (DETOMINI et al., 2012). Segundo a CONAB (2020), a precipitação na maioria das áreas produtoras, especialmente no Centro-Sul do país, foi muito irregular ao longo do mês de dezembro de 2019, sendo em várias áreas abaixo da média. Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e extremo sul de Goiás foram as áreas mais atingidas pela irregularidade da precipitação (CONAB, 2020).

A imprevisibilidade do clima é um fator de risco que responde por uma parte considerável do insucesso de algumas culturas, pois estresses climáticos (hídrico, térmico, luminoso e salino) reduzem drasticamente o rendimento das colheitas e a qualidade das sementes, restringem locais de produção, datas de semeadura e solos onde espécies comercialmente importantes poderiam ser cultivadas (FRANÇA-NETO et al., 2016).

Entre os fatores inerentes à produção agrícola, o déficit hídrico é um dos fatores que mais limitam a produtividade máxima da cultura. A água é o principal recurso para o desenvolvimento das culturas e, por isso, torna-se o fator mais limitante ao desenvolvimento e produção vegetal. A restrição hídrica afeta a atividade estomática, induzindo seu fechamento devido às mudanças na pressão de turgor das células-guardas e, conseqüentemente, a fotossíntese é afetada pela interferência na absorção de CO₂ (BEHNAM et al., 2013).

A seca afeta uma série de processos importantes para o crescimento e desenvolvimento da planta, pois a redução na fixação de carbono pelo aparato fotossintético das plantas, resulta em perdas de rendimento líquido da fotossíntese e, conseqüentemente, redução no rendimento dos grãos (ELDAKAK et al., 2013). Tais processos vão desde a percepção do estresse pela planta, transdução de sinais, regulação da expressão de genes e possíveis alterações de nível metabólico (DEEBA et al., 2012). Além disso, baixa absorção de CO₂ pode acarretar em produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), levando a danos oxidativos pela peroxidação lipídica e oxidação de proteínas, ocasionando danos nos tecidos celulares (SHARMA et al., 2012).

2.3 Fungos Micorrízicos Arbusculares

Os FMA pertencem ao filo Glomeromycota, são cosmopolitas e biotróficos obrigatórios e atuam em vários processos essenciais na natureza. Esses fungos colonizam as raízes das plantas e suas hifas extrarradiculares, que atuam como uma extensão do sistema radicular das plantas, atuam na absorção efetiva de nutrientes e água pelas plantas, além de exercerem papel na estruturação do solo, tolerância a estresses abióticos e bióticos (SMITH; READ, 2008; CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

Estes fungos conseguem se associar simbioticamente com as raízes de aproximadamente 80% das plantas vasculares, e conferir diversas vantagens para as mesmas, principalmente em relação ao acúmulo de nutrientes (SMITH et al., 2010). Plantas em simbiose com estes organismos mantêm maior condutância estomática durante períodos de déficit hídrico (ZHANG et al., 2010).

Os FMA são classificados no filo Glomeromycota. Os principais gêneros com capacidade de formar micorrizas são *Rhizoglosum*, *Funneliformis*, *Claroideoglosum*, *Glomus*, *Scutellospora*, *Dentiscutata*, *Paraglosum* e *Acaullospora*. Os três primeiros eram classificados como *Glomus* (SOUZA et al., 2017). Novas famílias e gêneros foram descritos e, com isso, atualmente existem formalmente 3 categorias, 5 ordens, 16 famílias, 44 gêneros e 317 espécies (BLASZKOWSKI et al., 2017).

O processo de colonização começa na rizosfera, através da sinalização entre simbioses. As plantas liberam sinais bioativos, induzindo a ramificação das hifas e promovendo o metabolismo dos fungos (ARTHIKALA et al., 2013). Durante o ciclo simbiótico, o FMA pode produzir esporos, apressórios, hifas extrarradiculares, vesículas e arbúsculos. Os esporos micorrízicos são estruturas responsáveis por manter a sobrevivência dos fungos no ambiente e importantes para a sua disseminação (SILVA et al., 2016).

Após a germinação dos esporos, ocorre a produção de hifas e, em seguida, estruturas como os apressórios, que são hifas modificadas com a função de reconhecimento e adesão à célula da planta hospedeira. As hifas extrarradiculares aumentam a área radicular das plantas, favorecem maior absorção de água e nutrientes, principalmente de fósforo (P) e nitrogênio (N), que são elementos essenciais ao desenvolvimento vegetal (RIZVI et al., 2015; RIVERO et al., 2015; HART et al., 2016). Além disso, podem também contribuir para agregação das partículas do solo, devido a liberação de uma glicoproteína denominada glomalina (SILVA et al., 2016).

Após a germinação dos esporos, formação de hifas e penetração nas células corticais das raízes, as hifas formam os arbúsculos, que são estruturas importantes, pois são responsáveis pela simbiose propriamente dita. É através dos arbúsculos que acontecem as transferências de nutrientes do fungo para a planta (JALONEN et al., 2013) e as plantas transferem fotoassimilados ao fungo, com gasto de energia (Van Der HEIJDEN et al., 2015). Portanto, dependendo da interação entre os micro-organismos e planta hospedeira, pode ocorrer a promoção do crescimento vegetativo (GERLACH et al., 2015; HOLSTE et al., 2016). As vesículas são estruturas fúngicas produzidas pela diferenciação das hifas internas e, ou externas ao córtex e sua função é armazenar energia na forma de lipídios (JALONEN et al., 2013).

Quando a interação simbiótica é estabelecida nas raízes, os FMA podem utilizar os carboidratos que são fornecidos pela planta provenientes da fotossíntese e isso colabora no processo de colonização e multiplicação desses organismos, através da formação de novos esporos (MAIA et al., 2020). As micorrizas conferem maior crescimento e resistência à planta sob condições adversas, como aumento de temperatura, acidez do solo, estresse hídrico e maior tolerância a patógenos radiculares e substâncias tóxicas presentes no solo.

Oyewole et al. (2017), mostraram que feijão de corda inoculado com *Gigaspora gigantea* em associação com *Glomus deserticola*, além de ajudar as plantas a tolerar o déficit hídrico também aumentou a resistência a doenças radiculares como podridão do carvão. Maiores taxas de colonização e eficiência dos FMA em condições de altas temperaturas, possivelmente ocorrem devido ao efeito direto sobre o fungo e indireto no aumento do transporte de nutrientes pelas raízes associadas com o fungo (FOLLI-PEREIRA, 2012).

Avaliando o efeito da inoculação do FMA *Rhizophagus clarus* e dois inóculos nativos em mudas de teca (*Tectona grandis*), Rodrigues et al. (2018) observaram que os fungos micorrízicos proporcionaram aumento no conteúdo de nutrientes e maior eficiência em seu uso, principalmente P e maior crescimento da parte aérea e raízes. Saboya et al. (2012), observaram em estudo realizado para avaliar a produção de mudas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) inoculadas com os FMA *Scutellospora calospora*, *Glomus clarum*, *Gigaspora margarita*, *Acaulospora morrowiae* e espécies micorrízicas (Mix), aumento da fitomassa das plantas e incremento dos teores de nutrientes, principalmente de P nos tratamentos de plantas inoculadas, com incremento de 49 a 63,5% em relação às plantas não inoculadas.

Recchia et al. (2018) conseguiram identificar vários genes importantes no feijão comum que são regulados diferencialmente em resposta ao déficit hídrico durante a inoculação com FMA. Dentre esses genes, estavam presentes aqueles envolvidos na atividade de fator de transcrição, biossíntese de carboidratos, regulação osmótica, transporte, reparo de quebra de fita dupla de DNA, processamento de RNA, transdução de sinal, resposta ao estresse oxidativo, deposição calosa e resposta à auxina.

OBJETIVOS

1. Objetivo Geral

Analisar o desempenho fisiológico das plantas de soja, associadas com FMA sob três níveis de déficit hídrico.

2. Objetivos específicos

- Identificar o papel dos fungos *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* associados às plantas de soja sob déficit hídrico e as mudanças fisiológicas ocasionadas nas plantas;
- Observar a capacidade de associação entre os FMA e raízes de soja sob condições de déficit hídrico;
- Verificar o potencial dos FMA em auxiliar as plantas sob condições de déficit hídrico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSARI, O.; CHOGAZARDI, H.R.; SHARIFZADEH, F.; NAZARLI, H. Seed reserve utilization and seedling growth of treated seeds of mountain rye (*Secale montanum*) as affected by drought stress. *Cercetări Agronomice în Moldova*, v.45, p. 43-48, 2012.

APROSOJA/GO - Associação dos Produtores de Soja e Milho, Aprosoja Comunicação, Goiânia, 2019 Disponível em: <https://aprosojabrasil.com.br/comunicacao/blog/2019/02/06/quebra-de-quase-20-da->

safra-de-soja-gera-perdas-de-r-21-bilhoes-em-goias/. Acessado em: 29 de setembro de 2019

ARTHIKALA, M. K.; MONTIEL, J.; NAVA, N.; SANTANA, O.; SÁNCHEZ-LÓPEZ, R.; CÁRDENAS, L.; QUINTO, C. PvRbohB negatively regulates *Rhizophagus irregularis* colonization in *Phaseolus vulgaris*. *Plant and Cell Physiology*, v. 54, n. 8, p. 1391–1402, 2013.

BEHNAM, B.; IUCHI, S.; FUJITA, M.; FUJITA, Y.; TAKASAKI, H.; OSAKABE, Y.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; KOBAYASHI, M.; SHINOZAKI, K. Characterization of the promoter region of an *Arabidopsis* gene for 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase involved in dehydration-inducible transcription. *DNA Research*, v. 20, n. 4, p. 315-24, 2013.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. *Microbiologia do solo*. 2° ed. Piracicaba/SP: Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2016.

COMTRADE - United Nations Commodity Trade Statistics Database. Statistics Division. Disponível em: < <http://comtrade.un.org/db/>>. Acesso em: 10 de julho de 2019

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra brasileira. Grãos - Safra 2018/19, Brasília, v.6, n.6, p.1-69, 2019.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v.8 – Safra 2020, n. 3- Terceiro levantamento, p. 1-86, 2020.

DEEBA, F.; PANDEY, A.; RANJAN, S.; MISHRA, A.; SINGH, R.; SHARMA, Y.; SHIRKE, P.; PANDEY, V. Physiological and proteomic responses of cotton (*Gossypium herbaceum* L.) to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 53, p. 6–18, 2012.

DETOMINI, E. R.; DOURADO NETO, D.; FRIZZONE, J. A.; DOHERTY, A.; MEINKE, H.; REICHARDT, K.; DIAS, C.T.S.; FIGUEIREDO, M.G. Stochastic model for simulating maize yield. *Transactions of the Asabe*, v.55, n.3, p. 1107-1120, 2012.

ELDAKAK M.; MILAD S. I. M.; NAWAR A. I.; ROHILA J. S. Proteomics: a biotechnology tool for crop improvement. *Frontiers in Plant Science*, v. 4, p.1–12, 2013.

EMBRAPA. Embrapa soja – Safra Brasil 2018/2019. 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1>> acesso em: 03/09/2019.

EMBRAPA. Embrapa soja - Safra Brasil 2019/2020. 2020. Disponível em <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. acesso em: 10/01/2021.

FOLLI-PEREIRA, M. S.; MEIRA-HADDAD, L. S.; BAZZOLI, D. M. S.; KASUYA, M. C. M. Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, p. 1083-1091, 2012.

FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A.A.; PÁDUA, G. P.; LORINI, I.; HENNING, F. A. Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade. Londrina: Embrapa Soja, 2016. 82p. (Embrapa Soja, Documentos, 380).

GAZZONI, D. L. A soja no Brasil é movida por inovações tecnológicas. Ciência e Cultura, v. 70, n. 3, 2018.

GERLACH, N.; SCHMITZ, J.; POLATAJKO, A.; SCHLÜTER, U.; FAHNENSTICH, H.; WITT, S.; FERNIE, A. R.; UROIC, K.; SCHOLZ, U.; SONNEWALD, U.; BUCHER M. An integrated functional approach to dissect systemic responses in maize to arbuscular mycorrhizal symbiosis. Plant, Cell and Environment, v. 38, n. 8, p. 1591-1612, 2015.

HART, M.; EHRET, D. L.; KRUMBEIN, A.; LEUNG, C.; MURCH, S.; TURI, C.; HOLSTE EK, HOLL KD, ZAHAWI RA, KOBE R. Reduced above ground tree growth associated with higher arbuscular mycorrhizal fungal diversity in tropical forest restoration. Ecology and Evolution. v. 6, n. 20, p. 7253–7262, 2016.

HOLSTE, E. K.; HOLL, K. D.; ZAHAWI, R. A.; KOBE, R. Reduced above ground tree growth associated with higher arbuscular mycorrhizal fungal diversity in tropical forest restoration. Ecology and Evolution, v. 6, n. 20, p. 7253–7262, 2016.

IFAG - Instituto para o Fortalecimento da Agropecuária de Goiás. 1º Levantamento de Plantio da Safra de Soja 2019/2020.

JALONEN, R.; TIMONEN, S.; SIERRA, J.; NYGREN, P. Arbuscular mycorrhizal symbioses in a cut-and-carry forage production system of legume tree *Gliricidia sepium*

and fodder grass *Dichanthium aristatum*. *Agroforest Systems*, v. 87, n. 2, p. 319-330, 2013.

KUNERT, K. J.; VORSTER, B. J.; FENTA, B. A.; KIBIDO, T.; DIONISIO, G.; FOYER, C. H. Drought stress responses in soybean roots and nodules. *Frontiers in Plant Science*, n. 7, p. 1-7, 2016.

LISAR, S. Y. S.; MOTAFAKKERAZAD, R.; HOSSAIN, M. M.; RAHMAN, I. M. M. Water stress in plants: causes, effects and responses. In: RAHMAN, I. M. M. (Ed.). *Water Stress*. Rijeka: Intech, cap. 1, v. 1, p. 1-14, 2012.

MACHADO, A. T. Construção histórica do melhoramento genético de plantas: do convencional ao participativo. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 9, n. 1, p.35-50, 2014.

MAIA, V. R. O.; OLIVEIRA, J. A. S.; GOLIAS, H. C.; JOÃO ALENCAR PAMPHILE, J. A. Fungos endofíticos como promotores de resistência a estresse hídrico e salino: o caso do *Piriformospora indica*. *Brazilian Applied Science Review*, v. 4, n. 2, p.621-633, 2020.

MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (2008 e 2017).

MARIANO, F. M. Precipitações pluviiais e a cultura da soja em Goiás. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, v. 9, n. 1, p. 121-134, 2010.

OYEWOLEB, O.; OLAWUYI, O. J.; ODEBODE, A. C.; ABIALA, M. A. Influence of Arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) on drought tolerance and charcoal rot disease of cowpea. *Biotechnology Reports*, v. 14, p. 8-15, 2017.

PICCOLI, P.; TRAVAGLIA, C.; COHEN, A.; SOSAL, L.; CORNEJO, P.; MASUELLI, R.; BOTTINI, R. An endophytic bacterium isolated from roots of the halophyte *Prosopis strombulifera* produces ABA, IAA, gibberellins A1 and A3 and jasmonic acid in chemically-defined culture medium. *Plant Growth Regulation*, v. 64, n. 2, p. 207-210. 2011.

RECCHIA, G. H.; KONZEN, E. R.; CASSIERI, F.; CALDAS, D. G. G.; TSAI, S. M. A simbiose micorrízica arbuscular leva à regulação diferencial de genes responsivos à seca

em células radiculares específicas de tecido de feijão comum. *Frontiers in Microbiology*, v. 9, n. 1339, 2018.

RIVERO, J.; GAMIR, R. A.; POZO, M. J.; FLORS, V. Metabolic transition in mycorrhizal tomato roots. *Frontiers in Microbiology*, v.6, n. 598, p.1-13, 2015.

RIZVI, R.; IQBAL, J.; MAHMOOD, I.; ANSARI, R. A. Comparative efficacy of different arbuscular-mycorrhizal fungal spp. (AMF) on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *e-Journal of Science and Technology*, v.1, n.10, p. 13-26, 2015.

RODRIGUES, L. A; BARROSO, D. G; FIQUEIREDO, F. A. M. M. A. Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e na nutrição mineral de mudas de *Tectona grandis* LF. *Revista Ciência Florestal*, v. 28, n. 1, p. 25-34, 2018.

SABOYA, R. C. C; JÚNIOR, A. F. C; MONETIRO, F. P. R; SANTOS, G. R; ERASMO, E. A. L; CHAGAS, L. F. B. Fungos micorrízicos arbusculares afetando a produção de mudas de Pinhão-mansô na região Sul do Estado de Tocantins, Brasil. *Revista Ceres*, v. 59, n. 1, p. 142-146, 2012.

SHARMA, P.; JHA, A. B.; DUBEY, R. S.; PESSARAKLI, M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*, p. 1-26, v. 2012.

SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; SANTOS, V. L.; MIGUEL, D. L.; SILVA, E. M. R. Fungos micorrízicos arbusculares: composição, comprimento de micélio extrarradicular e glomalina em áreas de mata atlântica, Rio de Janeiro. *Ciência Florestal*, v. 26, n. 2, p.419-433, 2016.

SMITH, S. E.; FACELLI, E.; POPE, S.; SMITH, F. A. Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. *Plant and Soil*, v. 326, n. 1-2, p. 3-20, 2010.

SMITH, S. E.; READ, D. J. *Mycorrhizal symbiosis*. 3^oed. California, editor: Academic Press. 2008. 605p.

SOUZA, F. A.; GOMES, E. A.; VASCONCELOS, M. J. V.; SOUSA, S. M. Micorrizas arbusculares: perspectivas para aumento da eficiência de aquisição de fósforo (P) em Poaceae (gramíneas). Embrapa Milho e Sorgo, 2011

ST-MARSEILLE, A.; BOURGEOIS, G.; BRODEUR, J.; MIMÉE, B. Simulating the impacts of climate change on soybean cyst nematode and the distribution of soybean. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.364, p.178-187, 2019.

VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; MARTIN, F. M.; SELOSSE, M. A.; SANDERS, I. R. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New Phytologist*, v.205, n.4, p.1406-1423, 2015

ZHANG, Q.; BLAYLOCK, L. A.; HARRISON, M. J. A partnership of two ABC transporters is essential for arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Plant Cell*, v.22, p.1483-1497, 2010.

CAPÍTULO 1: PLANTAS DE SOJA ASSOCIADAS A FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES SOB NÍVEIS DE DÉFICIT HÍDRICO

RESUMO:

A soja é a cultura brasileira de crescimento mais rápido nos últimos anos, equivalente à metade da área de plantio de grãos do Brasil, e se tornou a leguminosa mais importante e cultivada no mundo, sendo o país o maior produtor mundial do grão. Na produção agrícola, podem ocorrer mudanças ambientais, como falta de água e altas temperaturas, que podem prejudicar a produtividade das lavouras. Nesta perspectiva, uma das alternativas é a utilização de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), pois estes micro-organismos relacionam-se com as raízes das plantas e promovem benefícios às plantas, como absorção de água e nutrientes e competição com patógenos. Com este estudo, objetivou-se analisar o desempenho fisiológico e bioquímico das plantas de soja, através da associação com FMA, sob três níveis de déficit hídrico. Foi realizada a multiplicação dos FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea*, utilizando *Urochloa ruziziensis* como planta hospedeira. Foi realizada coleta de solo, fez-se análise química e, posteriormente, calagem. As plantas receberam 31g do FMA *G. margarita* e 46g do FMA *G. gigantea*, separadamente, sendo cultivadas em casa de vegetação sob condições naturais de luz com UR e temperatura média de 28 °C. O controle do conteúdo de água foi realizado através de sensores de irrigação, modelo 10 HS (METER Group, Inc. USA), após a medição da capacidade de campo (CC) pelo método gravimétrico. O déficit hídrico foi imposto quando as plantas chegaram ao estágio V3, sendo dividido em três grupos: 80% da CC, 60% da CC e 40% da CC, avaliou-se medições biométricas, fisiológicas e de potencial hídrico. Após as primeiras análises, as plantas foram reirrigadas até 80% da CC por dois dias e as análises feitas novamente. Os resultados apontam a eficiência da inoculação dos FMA em plantas sob restrição hídrica, já que se observa melhoria nos parâmetros fisiológicos, além de aumento dos pigmentos fotossintéticos. Tais resultados são justificados pela maior densidade de esporos e uma maior colonização micorrízica. A inoculação, com ambos os FMA, foi eficaz para aumentar a tolerância das plantas ao déficit hídrico, destacando-se *Gigaspora gigantea*.

Palavras-chave: restrição hídrica, *Glycine max*, inoculação, oleaginosa.

1. INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é a cultura brasileira que mais cresceu nos últimos anos e corresponde à metade da área plantada em grãos do Brasil e vem se destacando como a leguminosa mais importante e cultivada do mundo (CLEMENTE; CAHOON, 2009). O Brasil é o maior produtor mundial de soja, um grão calórico-proteico que tem na sua composição proteínas, carboidratos, lipídios e minerais óleo, sendo muito utilizado para consumo humano e animal (EMBRAPA, 2020).

Para a safra 2020/21, tem-se a expectativa de um aumento de 3,5% na área plantada de soja, comparando-se com a safra anterior, atingindo 38,2 milhões de hectares semeados (CONAB, 2020). Há perspectiva de aumento de 9,7 milhões de hectares da área plantada nos próximos 10 anos chegando, em 2030, a 46,6 milhões de hectares. É, portanto, a cultura que mais deve expandir seu plantio, seguida pelo milho de segunda safra e cana-de-açúcar (MAPA, 2020).

As condições climáticas interferem diretamente na produção agrícola, pois o déficit hídrico, um dos principais fatores abióticos, pode limitar o crescimento e o desenvolvimento das plantas e afetar negativamente a produção de grãos (THIRUMALAIKUMAR et al., 2017). Sendo assim, os rendimentos das lavouras podem reduzir diante das mudanças climáticas previstas, causando estresses abióticos nas plantas que impactam em prejuízos na produtividade (EEA, 2011).

A tolerância à seca é um dos mecanismos de resistência à deficiência hídrica e, mesmo que o potencial da água nos tecidos vegetais seja reduzido, pode permitir que as plantas mantenham seu metabolismo. Este mecanismo geralmente leva a alterações nas plantas, como na morfofisiologia e processos metabólicos. Como resultado, pode ocorrer a inibição do crescimento do caule e expansão foliar, redução no acúmulo de massa, reduzindo o crescimento da planta, tamanho e número de folhas (TAIZ et al., 2017). Diante destas perspectivas, o investimento em biotecnologia é essencial, sendo uma das alternativas o estudo com FMA, pois estes fungos se associam com as raízes de das plantas e conferem diversas vantagens às mesmas (SMITH et al., 2010).

O sucesso desta relação de simbiose entre os micro-organismos e plantas é reconhecido pelo fato de que alguns FMA promovem benefícios às plantas, como a captação de água e nutrientes, solubilização de fosfatos e competição com patógenos. Os FMA também podem colaborar para um aumento da eficiência do uso da água

(BÁRZANA et al., 2012). E estão interligados às propriedades do solo, favorecendo a porosidade, que tem importância no fluxo de nutrientes e água (WU et al., 2014).

Estes micro-organismos têm a capacidade de formar micélio, o que permite a exploração de maior volume de solo, no qual o sistema radicular não conseguiria atuar. Isto proporciona maior absorção de nutrientes e colabora para que a planta tenha melhor desenvolvimento (SMITH; READ, 2010). Portanto, a utilização destes micro-organismos torna-se uma estratégia chave para a planta tolerar adversidades bióticas e abióticas (PICCOLI et al., 2011) e minimizar danos causados pelo estresse hídrico, através da associação benéfica com os organismos. Neste sentido, eles se tornam um grupo funcional que pode atribuir grande importância à produtividade da cultura e sustentabilidade do ecossistema na produção agrícola (URCOVICHE et al., 2014).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Multiplicação e inoculação dos FMA

A multiplicação dos FMA foi realizada com a disponibilização de um solo inóculo de *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea*, procedentes da coleção do Laboratório de Microbiologia do Solo da UNESP - Ilha Solteira, doado ao IF Goiano – Campus Rio Verde. O solo foi coletado em uma área do IF Goiano Campus Rio Verde e utilizado para a multiplicação, sendo misturado com areia (2:1), esterilizado em autoclave, processo repetido por 3 dias consecutivos e, posteriormente, secado em estufa a 100 °C.

Plantas de *Urochloa ruziziensis* foram utilizadas como planta hospedeira. Para isso, foram crescidas em casa de vegetação em condições irrigadas com água destilada por 90 dias e, após este período, as plantas foram submetidas a uma condição de estresse hídrico por 7 dias, para indução da proliferação dos esporos de FMA. Na sequência, as plantas foram retiradas, uma amostra do solo coletada e avaliado o número de esporos, de acordo com Gerdemann e Nicolson (1963) e Jenkins (1964). A contagem foi realizada em placa de acrílico canelada com anéis concêntricos, sob microscópio estereoscópio.

2.2. Obtenção do material vegetal e condições de crescimento das plantas

O solo foi coletado em uma área de Cerrado permanente do IF Goiano – Campus Rio Verde e uma amostra de 200g foi retirada para análise química (Tabela 1S), para determinar a necessidade de calagem, de acordo com sua saturação por base. Após misturada a areia (2:1), com auxílio de betoneira, os vasos (3 kg) foram preenchidos e levados a casa de vegetação, sendo aplicado calcário, que reagiu por 20 dias, até chegar

na saturação por base recomendada para a cultura (60%). Posteriormente, sementes de soja (cv. BMX Flecha 6266), foram semeadas e cada vaso recebeu solo inóculo contendo 31g de *G. margarita* (3,3 esporos g⁻¹) e 46 g *G. gigantea* (2,2 esporos g⁻¹) mais raízes colonizadas e hifas que também atuam como propágulos, separadamente, sendo cultivadas em casa de vegetação, sob condições naturais de luz, UR (65-85%) e temperatura de 28 °C. O controle do conteúdo de água foi realizado através de sensores de irrigação, modelo 10 HS (METER Group, Inc. USA), após a medição da capacidade de campo (CC) pelo método gravimétrico.

O estudo foi instalado em delineamento inteiramente ao acaso, arranjo fatorial 3x3 (inoculação com *Gigaspora gigantea*, *G. margarita* e controle sem inoculação x 3 níveis de déficit hídrico considerando 80, 60 e 40% CC), esses níveis de irrigação foram escolhidos de acordo com outros trabalhos da literatura e outros experimentos realizados anteriormente, com 8 repetições. Cada repetição, foi constituída por um vaso contendo 3 plantas cultivadas em casa de vegetação.

2.3. Indução do déficit hídrico

As plantas foram mantidas com 80% de teor de água da CC da germinação até o estágio V3 em torno de 40 dias após a germinação. Em seguida, foram submetidas ao déficit hídrico, sendo este dividido nos três tratamentos: 80, 60 e 40% da CC. Quando as plantas chegaram nas respectivas CC e apresentarem sintomas de déficit hídrico, foi realizada a primeira avaliação. Posteriormente, as mesmas foram irrigadas até atingirem 80% da CC, por 48 h, e realizada a segunda avaliação.

2.4. Medições fisiológicas

A análise dos parâmetros ligados à fotossíntese foi realizada utilizando um sistema de determinações da concentração de gases no infravermelho (IRGA, Li-Cor - Li6800). Parâmetros como taxa fotossintética líquida (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 (C_i , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) e transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), foram determinados em todos os tratamentos. Foram utilizados $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de irradiância durante todo o experimento. Todas as medições foram realizadas no período de 8:00 às 11:00h.

2.5. Medição do potencial hídrico

O potencial hídrico (Ψ_w) foi medido na antemanhã utilizando bomba de Scholander, após a imposição do déficit hídrico e irrigação. A determinação consistiu na coleta de folhas completamente expandidas, colocadas na câmara da bomba de pressão. Em seguida, foi aplicada pressão até ocorrer à exsudação pelo corte feito no pecíolo da folha, para a leitura da pressão aplicada (SCHOLANDER et al., 1965).

2.6. Determinação do conteúdo de clorofila

O conteúdo de carotenoides, clorofila *a* e *b* foi determinado espectrofotometricamente a 480, 649 e 665 nm, respectivamente, após a extração dos pigmentos, a partir de um disco foliar (0,5 cm), com 5 mL de CaCO_3 saturado em DMSO a temperatura ambiente (WELLBURN, 1994). Os discos permaneceram na solução por 24 h. Os valores foram transformados para teores de clorofilas *a*, *b* e totais nas folhas, expressos em unidades de área ($\mu\text{g cm}^{-2}$). Foi avaliado também o conteúdo de clorofila através de um clorofilog Falker (método não destrutivo).

2.7. Taxa de extravasamento de eletrólitos do tecido foliar

Foi realizada adaptação da metodologia de Vasquez-Tello et al. (1990) e Pimentel et al. (2002). Foram coletados 15 discos foliares para cada repetição, colocados em frascos de vidro âmbar com 30 mL de água deionizada, e mantidos imersos por 24 h no escuro, em temperatura ambiente.

Após este período, foi realizada a medida a condutividade livre (CL, $\mu\text{S/cm}$), com um medidor de condutividade digital portátil modelo CD-850. Posteriormente, os frascos foram para estufa por 1h a 100 °C, para posterior medida da condutividade total (CT, $\mu\text{S/cm}$). O sensor foi lavado entre cada leitura com água deionizada. Com os resultados obtidos, calculou-se a taxa de extravasamento de eletrólitos em porcentagem.

2.8 Densidade de esporos de FMA

A densidade de esporos foi avaliada utilizando a técnica de peneiramento úmido (GERDEMANN; NICHOLSON, 1963). Para a extração de esporos, foram coletadas amostras de 100g de solo e, posteriormente, misturadas com água em becker e trituradas. Logo após, a amostra foi colocada em tubo tipo falcon com água na centrífuga a 3000 rpm, durante 3 min. Em seguida, a água foi dispensada e adicionada uma solução de sacarose a 50% e recolocada na centrífuga, por mais 2 min. Na sequência, foi despejado

o líquido que contém os esporos em 4 tipos de peneira com as malhas de 710, 425, 53 e 2 mm/ μ m para a lavagem dessa amostra, seguido de armazenamento em recipiente até a análise, procedimento que utilizou placa canelada para a contagem do número de esporos, através da lupa óptica (4x).

2.9 Colonização micorrízica

Para determinação da colonização radicular, frações de aproximadamente 1g de raízes das plantas de cada tratamento foram separadas e conservadas em solução alcoólica 50%. Para estimativa da colonização radicular por FMA, as raízes foram despigmentadas pelo método de Koskey e Gemma (1989), modificado. Para isso, pesou-se 0,4g das raízes que foram imersas em KOH (2%), e levadas para estufa a 90 °C, por 60 min.

Após retiradas da estufa, as raízes foram lavadas com água destilada e transferidas para uma solução de HCl (1%) por 5 min. Posteriormente, retirou-se o HCl e foi adicionado o corante azul de tripano (0,05%) em lactoglicerol (PHILLIPS; HEYMAN, 1970). Foram confeccionadas lâminas para microscopia com fragmentos das raízes, para visualização das estruturas e percentual de colonização radicular avaliado em microscópio óptico com aumento de 200 vezes, de acordo com McGonigle et al. (1990). A eficiência simbiótica da colonização micorrízica foi realizada de acordo com Angelini (2012), em microscópio Leica DM500, com câmera Leica LCC 50.

2.10 Características biométricas

Antes da separação das plantas em caule folhas e raízes, foi obtido o comprimento do caule com auxílio de régua. Em seguida, os caules, folhas e raízes foram secados em estufa, a 65 °C, com circulação de ar forçada até massa constante, para determinação da massa de cada planta separadamente.

2.11 Análise de fósforo da parte aérea

Foram coletados 100 g de folhas, secadas em estufa de circulação de ar, a 65 °C, moídas e, posteriormente, encaminhadas ao laboratório.

2.12. Análise estatística

Os dados numéricos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey (5%), utilizando o software SISVAR (FERREIRA, 2011).

3. RESULTADOS

3.1. Parâmetros fisiológicos

Para os parâmetros fisiológicos, a diferença ocorreu apenas no fator inoculação. Observou-se que a condutância estomática (g_s) (Figura 1A) das plantas inoculadas foi maior do que a no controle (0,5 para plantas controle, 0,7 para *Gigaspora margarita* e 0,9 para *Gigaspora gigantea*). Os resultados de fotossíntese (Figura 1B) apresentaram diferença entre os tratamentos de inoculação, ou seja, *Gigaspora gigantea* foi o melhor dos tratamentos, *Gigaspora margarita* foi igual estatisticamente a *Gigaspora gigantea*, porém, similar às plantas controle.

Avaliando-se a taxa transpiratória (E) (Figura 1C), foi observada diferença, isto é, as plantas inoculadas tiveram melhor comportamento que plantas não inoculadas, corroborando com os resultados de condutância estomática. A concentração ambiente de CO_2 (Figura 1D) manteve-se constante e sem diferença em todos os tratamentos de inoculação.

Para a fluorescência máxima (F_m) da clorofila (Figura 1E), o mesmo comportamento da g_s e E foi observado, porém estatisticamente o maior teor foi para plantas inoculadas com *Gigaspora gigantea*, enquanto plantas inoculadas com o *Gigaspora margarita* não diferiram das plantas controle.

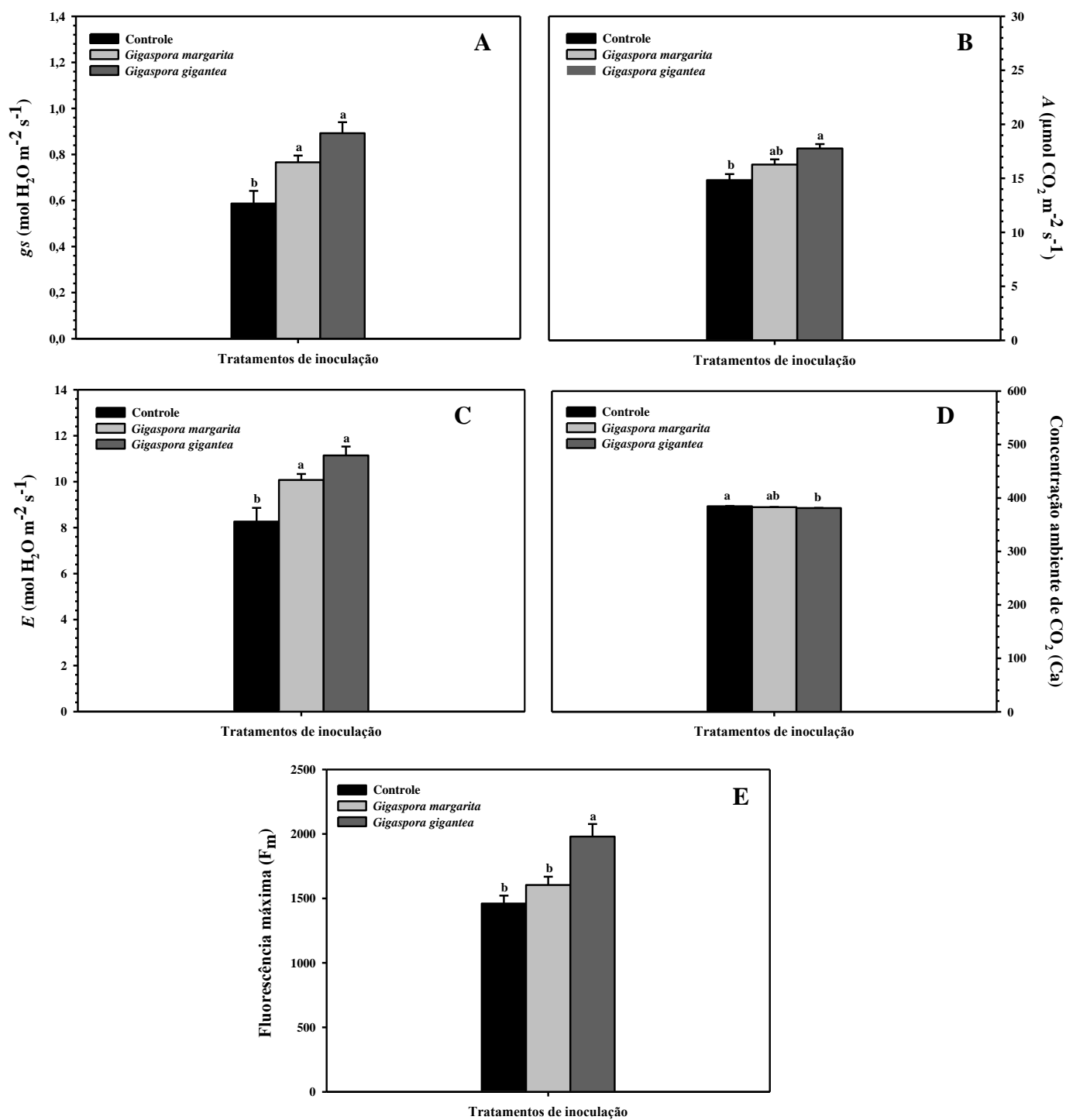


Figura 1 – Taxas de condutância estomática - g_s (A), fotossíntese líquida - A (B), transpiratória - E (C), concentração ambiente de CO_2 (D) e fluorescência máxima (F_m) de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* após reirrigação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

3.2. Potencial hídrico

De acordo com a estatística, o potencial hídrico não apresentou nenhuma diferença entre os fatores avaliados no déficit hídrico (Tabela 1) e após a reirrigação (Tabela 2).

Tabela 1: Potencial hídrico de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* no período de restrição hídrica, em Rio Verde, GO.

Potencial hídrico			
	80% da CC	60% da CC	40% da CC
Controle	-0,32Aa	-0,35Aa	-0,33Aa
<i>Gigaspora margarita</i>	-0,31Aa	-0,31Aa	-0,26Aa
<i>Gigaspora gigantea</i>	-0,35Aa	-0,36Aa	-0,29Aa

Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas entre os tratamentos de estresse hídrico e minúsculas entre os tratamentos de inoculação, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

Tabela 2: Potencial hídrico de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* após reirrigação, em Rio Verde, GO.

Potencial hídrico			
	80% da CC	60% da CC	40% da CC
Controle	-0,21Aa	-0,24Aa	-0,26Aa
<i>Gigaspora margarita</i>	-0,20Aa	-0,24Aa	-0,21Aa
<i>Gigaspora gigantea</i>	-0,12Aa	-0,23Aa	-0,19Aa

Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas entre os tratamentos de estresse hídrico e minúsculas entre os tratamentos de inoculação, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

3.3. Pigmentos fotossintéticos

Em plantas de soja no período de restrição hídrica, os teores de clorofila *a* (Figura 2A) tiveram interação entre os fatores inoculação e tratamento hídrico, em que plantas irrigadas (80% da CC) e inoculadas com *G. margarita* mostraram um melhor comportamento que as demais plantas (24,15 $\mu\text{g cm}^{-2}$).

No déficit moderado (60% da CC), os tratamentos de inoculação não diferiram entre si, em que as plantas controle atingiram 17,54 $\mu\text{g cm}^{-2}$ e plantas inoculadas com *G. margarita* e *G. gigante* médias de 13,29 e 17,45 $\mu\text{g cm}^{-2}$, respectivamente.

O mesmo comportamento do déficit moderado foi observado no severo (40% da CC), em que plantas controle atingiram o valor de 23,39 $\mu\text{g cm}^{-2}$, plantas inoculadas com

o FMA *G. margarita* atingiram $20,76 \mu\text{g cm}^{-2}$ e as inoculadas com *G. gigantea*, $20,43 \mu\text{g cm}^{-2}$.

Quando comparados os teores de clorofila *a* entre os tratamentos hídricos (Figura 2A), observa-se que em plantas controle não houve diferença nos teores do pigmento entre os três níveis de estresse hídrico.

Para o tratamento de plantas inoculadas com *G. margarita*, observou-se teores mais altos de clorofila *a* no tratamento irrigado ($24,15 \mu\text{g cm}^{-2}$) e déficit severo ($20,76 \mu\text{g cm}^{-2}$). Já para plantas inoculadas com *G. gigantea*, não foi observada diferença entre os tratamentos de déficit hídrico, sendo $13,16 \mu\text{g cm}^{-2}$ no tratamento irrigado e $17,45$ e $20,43 \mu\text{g cm}^{-2}$ nos tratamentos de déficit moderado e severo, respectivamente (Figura 2A).

Quanto ao teor de clorofila *b* (Figura 2B), foi observada diferença apenas entre os tratamentos de estresse hídrico, mostrando que na situação de déficit severo (40% da CC), as plantas produziram maior quantidade do pigmento. Comportamento similar também foi observado para os teores de carotenoides (Figura 2C), em que plantas sob déficit severo produziram maior teor de carotenoides.

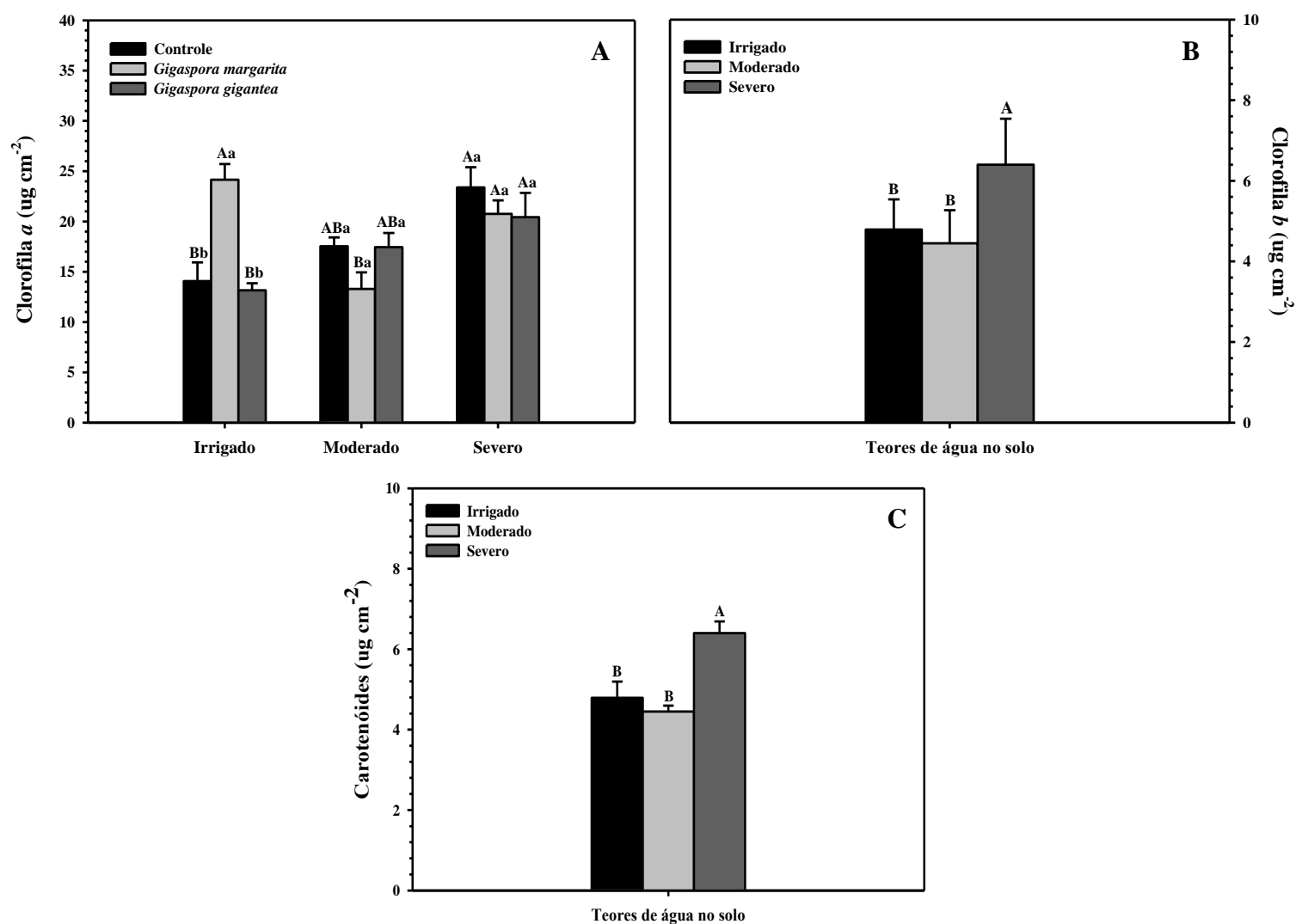


Figura 2 – Teores de clorofila *a* (A), clorofila *b* (B) e carotenoides (C) de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* durante o período de déficit hídrico. Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas entre os tratamentos de estresse hídrico e minúsculas entre os tratamentos de inoculação, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

Os resultados de clorofila diferiram de maneira isolada para os tratamentos de inoculação e hídrico, não tendo interação. De acordo com os resultados dos tratamentos de inoculação (Figura 3A), plantas controle tiveram maior teor de clorofila *a* do que as inoculadas com ambos os FMA, sendo que as plantas inoculadas se mantiveram iguais.

Para os resultados, relacionados aos níveis de déficit hídrico (Figura 3B), apesar de parecer que as plantas do tratamento severo (40% CC) produziram maior teor do

pigmento, de acordo com a estatística, os três tratamentos não tiveram diferença. Este comportamento pode ser observado nos resultados de clorofila *a*, medidos através de DMSO para as plantas do tratamento controle e do tratamento de inoculação com o FMA *G. gigantea* (Figura 2A).

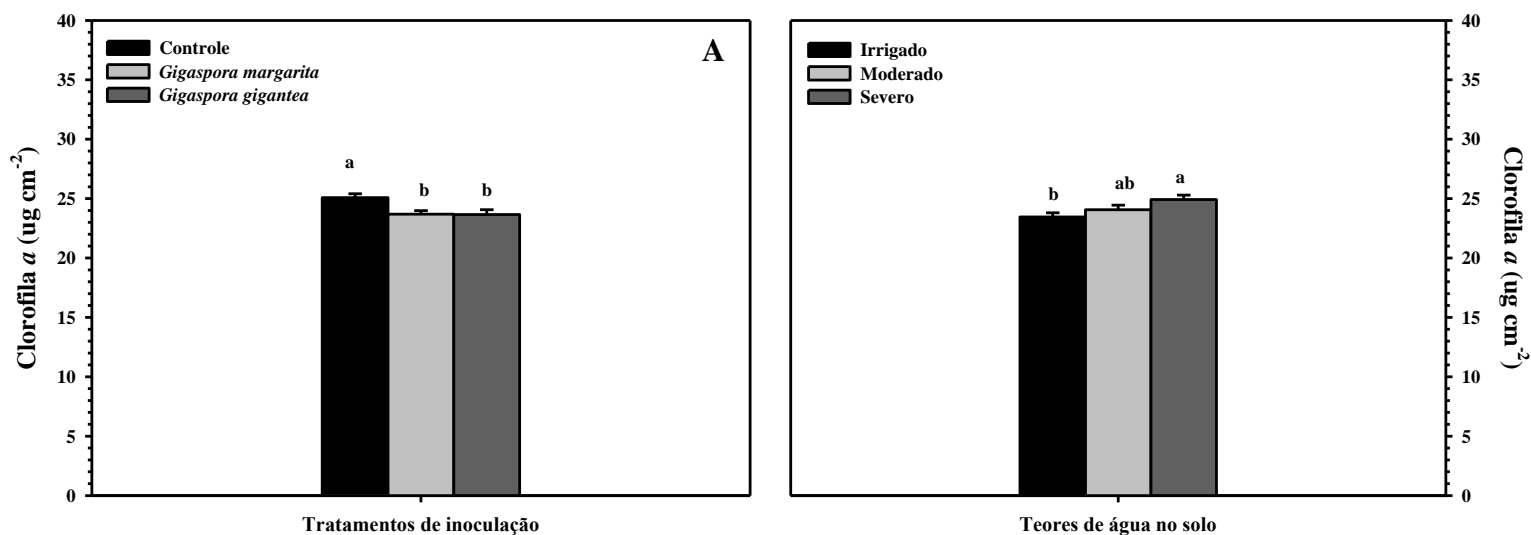


Figura 3 – Teores de clorofila *a* de plantas de soja (A) e após reirrigação (B) de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea*. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

Após a reirrigação, apenas os resultados de clorofila *b* e $Cl\ a / Cl\ b$ tiveram diferença nos tratamentos de estresse hídrico. Para clorofila *b* (Figura 4A), as plantas que estiveram sob déficit severo, foram as que produziram maiores teores do pigmento (6,4 $\mu\text{g cm}^{-2}$), o que indica maior produção do pigmento para evitar a foto-oxidação da clorofila *a* e ter melhor fotossíntese, visto que as plantas haviam passado por estresse hídrico.

Os teores de $Cl\ a / Cl\ b$ (figura 4B), foram maiores em plantas que se mantiveram sob irrigação, porém, de acordo com a estatística, os dados não diferiram entre si. Plantas do tratamento irrigado (80% da CC) produziram média de 2,56 $\mu\text{g cm}^{-2}$, plantas do déficit moderado (60% da CC) valor médio de 2,32 $\mu\text{g cm}^{-2}$ e aquelas sob tratamento de déficit severo (40% da CC) atingiram 2,23 $\mu\text{g cm}^{-2}$.

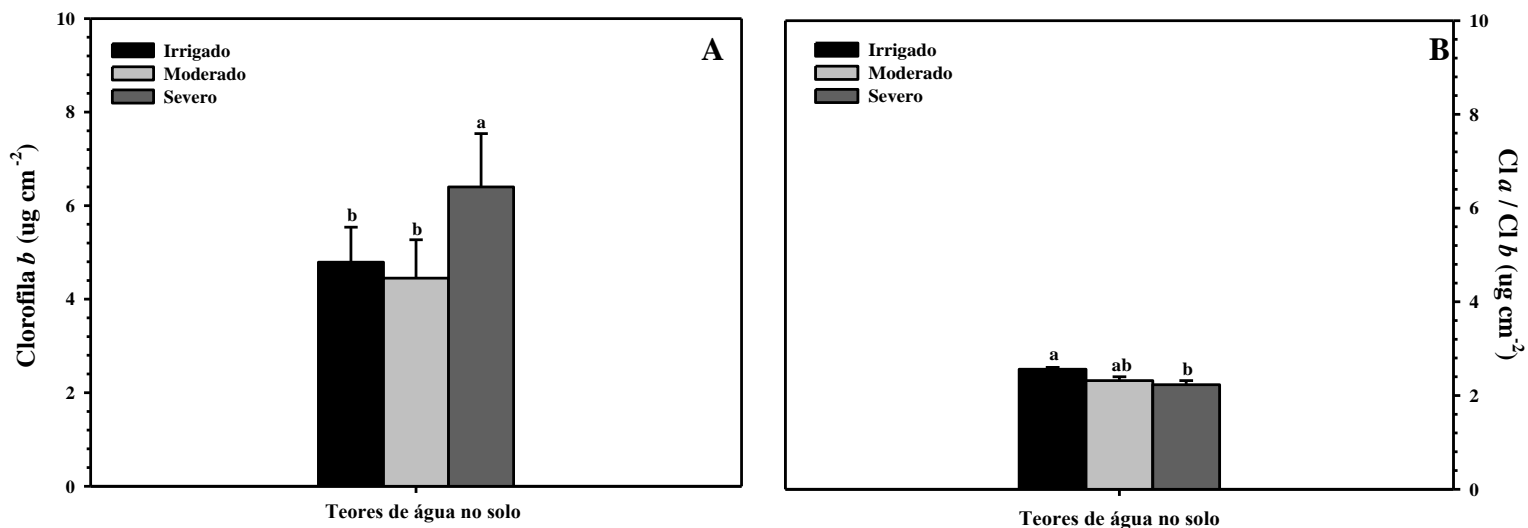


Figura 4 – Teores de clorofila *b* (A) e Cl *a* / Cl *b* (B) de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* medidos através de discos foliares saturados em DMSO após reirrigação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

3.4. Taxa de extravasamento de eletrólitos do tecido foliar

No presente estudo, os resultados do extravasamento de eletrólitos não apresentaram diferença entre os fatores avaliados no período de déficit hídrico (Tabela 3) e após a reirrigação (Tabela 4).

Tabela 3: Taxa de extravasamento de eletrólitos do tecido foliar de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* no período de restrição hídrica, em Rio Verde, GO.

Taxa de extravasamento de eletrólitos do tecido foliar (%)			
	80% da CC	60% da CC	40% da CC
Controle	59,75Aa	69,03Aa	47,52Aa
<i>Gigaspora margarita</i>	56,20Aa	50,89Aa	60,47Aa
<i>Gigaspora gigantea</i>	53,43Aa	47,01Aa	48,63Aa

Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas entre os tratamentos de déficit hídrico e minúsculas entre os tratamentos de inoculação, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

Tabela 4: Taxa de extravasamento de eletrólitos do tecido foliar de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* após reirrigação, em Rio Verde, GO.

Taxa de extravasamento de eletrólitos do tecido foliar (%)			
	80% da CC	60% da CC	40% da CC
Controle	53,97Aa	49,69Aa	51,80Aab
<i>Gigaspora margarita</i>	45,52Aa	56,86Aa	49,90Ab
<i>Gigaspora gigantea</i>	61,80Aba	48,57Ba	69,51Aa

Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas entre os tratamentos de déficit hídrico e minúsculas entre os tratamentos de inoculação, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

3.5 Densidade de esporos de FMA

Para a densidade de esporos de FMA (Figura 5), foi observada interação entre os fatores. No tratamento irrigado (80% da CC), mesmo as plantas inoculadas não apresentaram diferença. Plantas controle atingiram média de 82,33 esporos/100 g de solo e inoculadas com o *G. margarita* e *G. gigantea* tiveram média de 92,66 esporos/100 g de solo e 99,33 esporos/100 g de solo, respectivamente.

Para o tratamento do déficit moderado (60% da CC), plantas inoculadas com ambos os FMA não diferiram entre si, possibilitando média de 103,33 esporos/100 g de solo do *G. margarita* e 104 esporos/100g de solo do *G. gigantea*. Os tratamentos inoculados foram maiores e diferiram das plantas não inoculadas (64,33 esporos/100 g de solo) (Figura 5).

Os resultados obtidos no déficit severo (40% da CC) demonstram o mesmo comportamento observado no déficit moderado, em que plantas inoculadas com os fungos não diferiram entre si, tendo o *G. margarita* alcançado média de 114,33 esporos/100 g de solo e *G. gigantea* 98, 66 esporos/100 g de solo, porém foram maiores do que plantas do tratamento controle (76 esporos/100 g de solo).

Considerando os três tratamentos de inoculação, dentro de cada nível de tratamento de estresse hídrico (80, 60 e 40% da CC), as plantas controle não diferiam entre os três níveis de déficit. Tal comportamento pode ser observado para as plantas inoculadas com os FMA *G. margarita* e *G. gigantea*.

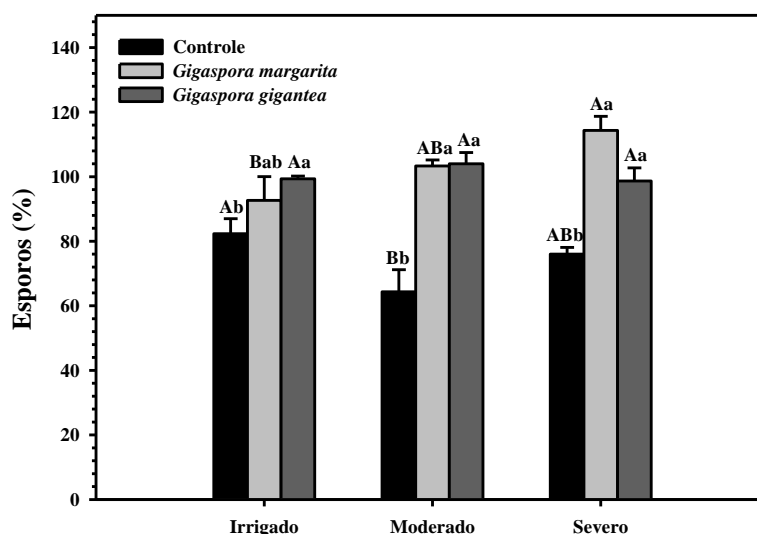


Figura 5 - Densidade de esporos em plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea*. Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas entre os tratamentos de estresse hídrico e minúsculas entre os tratamentos de inoculação, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

3.6 Colonização micorrízica

Quanto à colonização micorrízica, no período de restrição hídrica (Figura 6A), foi observada diferença entre os fatores. Para o tratamento irrigado (80% da CC), apesar das plantas inoculadas com o FMA *G. gigantea*, aparentemente, proporcionarem resultados superiores às demais plantas, não houve diferença entre os tratamentos de inoculação.

Em relação à condição de déficit moderado (60% da CC), a maior colonização ocorreu para ambos os FMA, tendo *G. margarita* valor médio de 16,66% e *G. gigantea* valor médio de 15,33%. Além disso, as plantas inoculadas foram diferentes e apresentaram valores maiores que as não inoculadas (4,33%).

Os resultados do déficit severo (40% da CC) demonstram que, apesar de parecer que os tratamentos inoculados proporcionaram maiores médias, não houve diferença entre os três tratamentos de inoculação para esse nível de déficit hídrico. Os valores alcançados foram 8, 10 e 13,66 % para plantas controle, *G. margarita* e *G. gigantea*, respectivamente.

As imagens das raízes, capturadas em lâminas microscópicas, demonstram a colonização micorrízica pelos FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* FMA

pela presença de arbúsculos (Figura 7). Nas amostras avaliadas, não foi possível localizar as estruturas de vesículas.

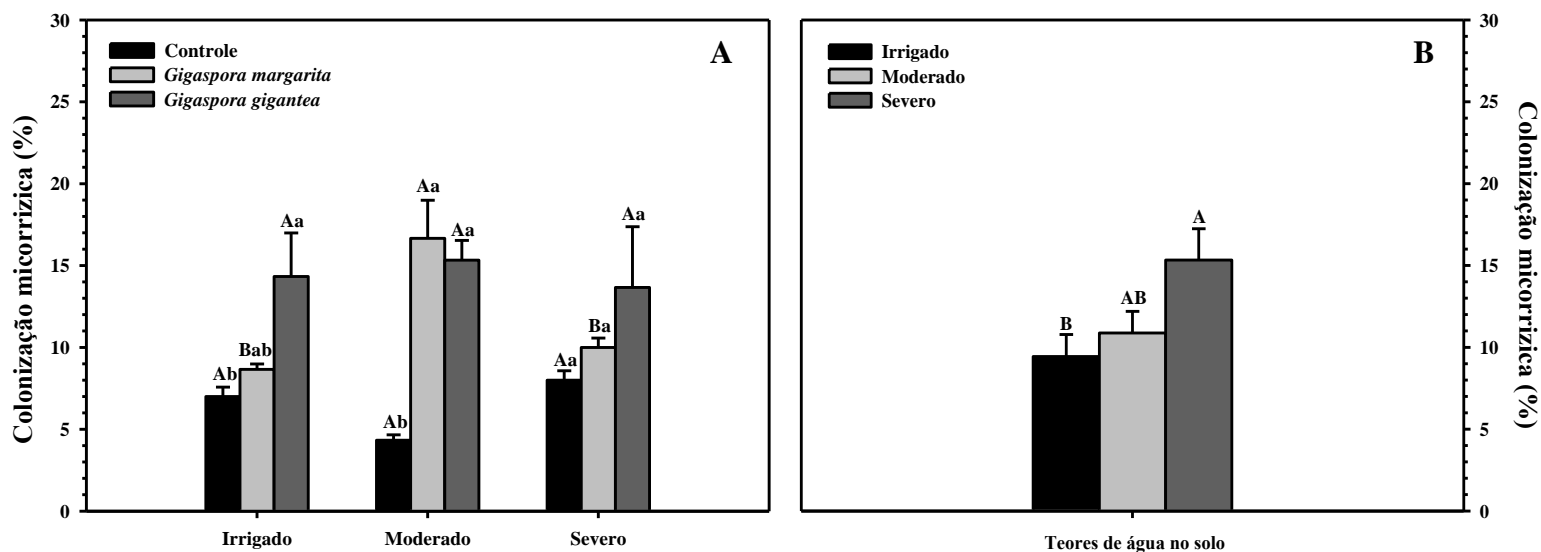


Figura 6 - Porcentagem de colonização micorrízica de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* no período de déficit hídrico (A) e após a reirrigação (B). Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas entre os tratamentos de estresse hídrico e minúsculas entre os tratamentos de inoculação, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

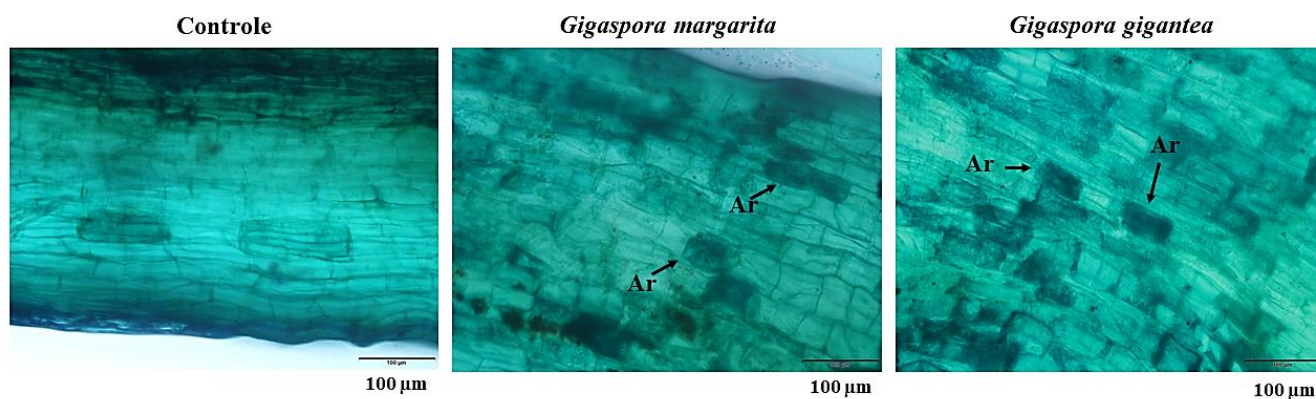


Figura 7 - Imagem do córtex radicular de plantas de soja indicando colonização dos fungos micorrízicos arbusculares nativos do solo (A), *Gigaspora margarita* (B) e *Gigaspora gigantea* (C). Ar = arbúsculos.

3.7 Características biométricas

Quanto à altura das plantas, no período de déficit hídrico (Figura 8A), foi notada diferença apenas entre os tratamentos de inoculação, em que plantas inoculadas com *Gigaspora gigantea* proporcionaram médias similares às plantas controle, enquanto plantas inoculadas com *Gigaspora margarita* tiveram menores médias de altura.

Após a reirrigação, os resultados de altura se diferiram isoladamente para os fatores de inoculação e hídrico. Em relação aos tratamentos hídricos (Figura 8B), as plantas em déficit severo (40% da CC) cresceram menos, porém não diferiram das plantas controle. Já plantas em condições de estresse moderado (60% da CC) tiveram melhor crescimento do que as cultivadas em condições irrigadas.

Para a inoculação (Figura 8C), o comportamento foi similar à altura de plantas no período de déficit hídrico, em que plantas inoculadas com *Gigaspora gigantea* não diferiram das plantas controle e o menor valor foi de plantas inoculadas com *Gigaspora margarita*.

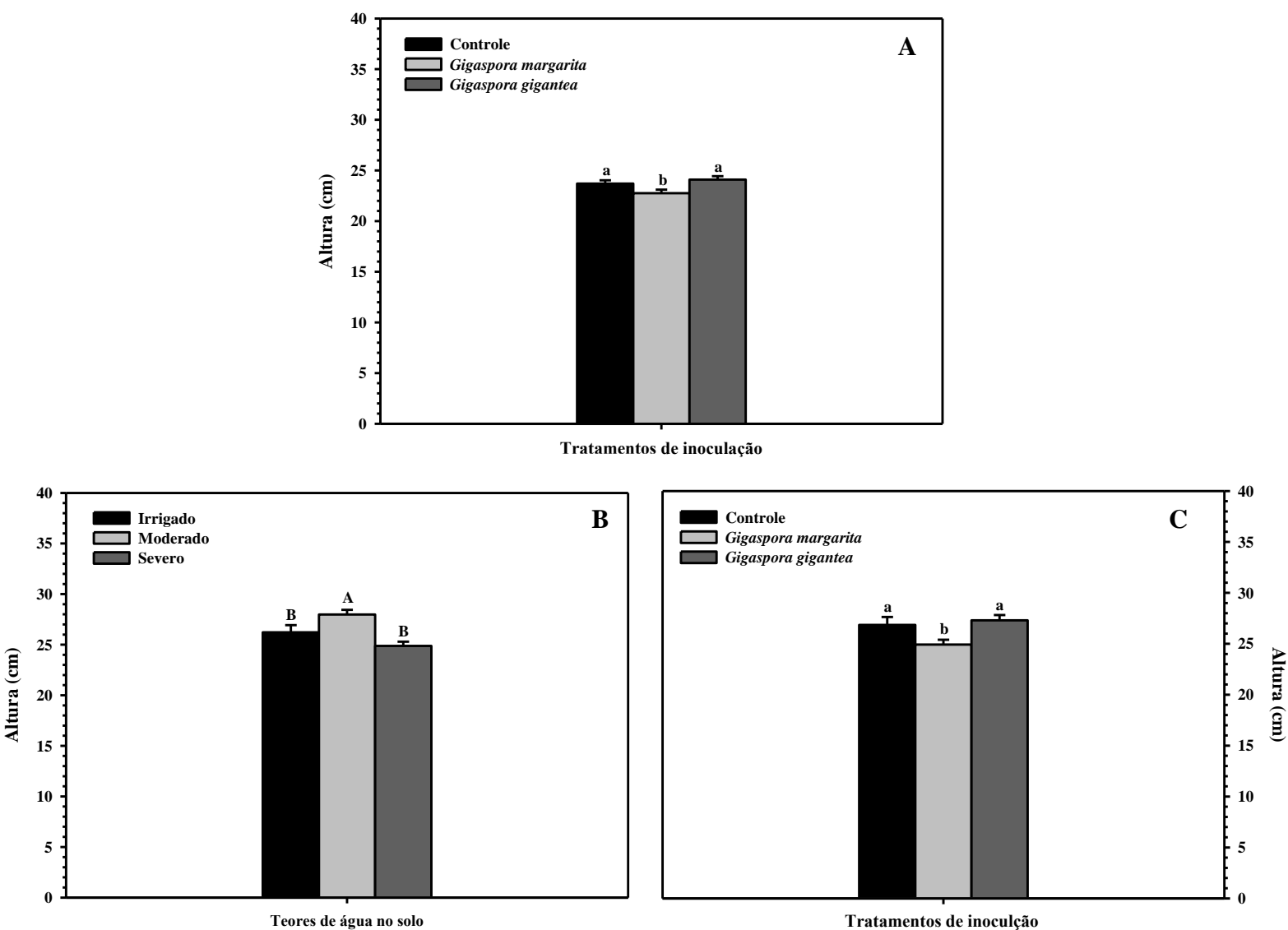


Figura 8 - Altura de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* no período de déficit hídrico (A) e após a reirrigação (B e C). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

Avaliando-se a massa seca de parte aérea, no período de déficit (Figura 9A), foi observada diferença entre os fatores, em que as plantas controle e inoculadas com *Gigaspora gigantea* tiveram maiores médias comparadas às inoculadas com *Gigaspora margarita*. A massa seca de raízes (Figura 9B) apresentou diferença apenas no tratamento com déficit hídrico, mostrando que plantas em condições de estresse severo (40% da CC) tiveram maiores médias que as demais.

Após a reirrigação, foi observada diferença entre os fatores, avaliando-se a massa seca da parte aérea (Figura 9C). No tratamento hídrico irrigado (80% da CC), não houve

diferença entre os tratamentos de inoculação. As plantas controle alcançaram média de 8,79g, sendo que as plantas inoculadas com *G. margarita* e *G. gigantea* atingiram 7,36 g e 8,96 g, respectivamente.

No tratamento hídrico moderado (60% da CC) e severo (40% da CC), foi observado o mesmo comportamento de plantas que estavam sob irrigação de 80% da CC. Não houve diferença entre os tratamentos de inoculação.

Plantas do tratamento controle também não tiveram diferença, comparando-se as médias dos três níveis de irrigação. Essa mesma resposta também é observada para as plantas inoculadas com ambos os FMA (*G. margarita* e *G. gigantea*). Após a reirrigação, não foi detectada diferença para a massa seca das raízes.

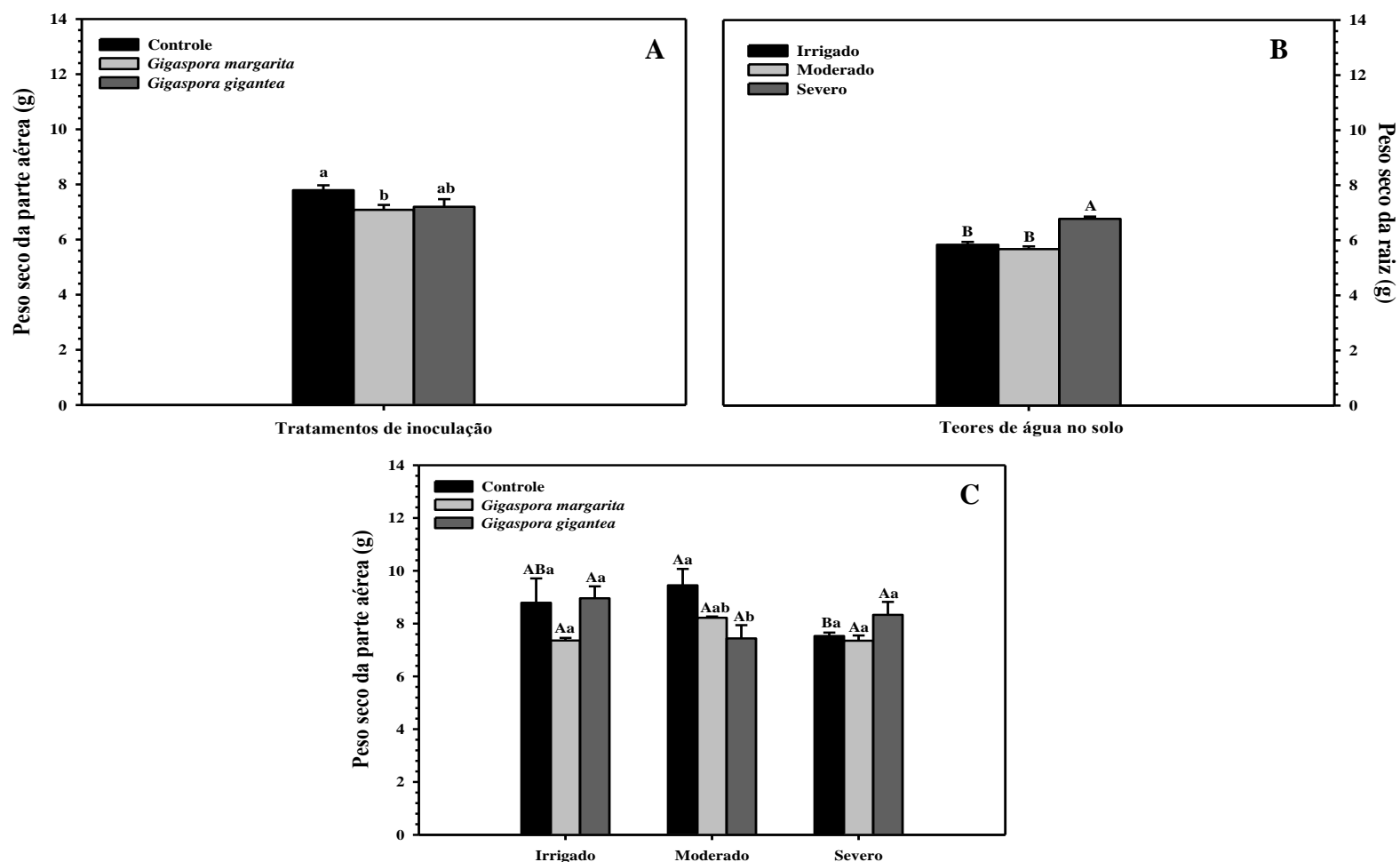


Figura 9 – Massa seca da parte aérea no período de déficit hídrico (A), massa seca de raízes no período de déficit hídrico (B) e massa seca da parte aérea após a reirrigação (C) de plantas de soja inoculadas com *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea*. Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas entre os tratamentos de déficit hídrico e minúsculas entre os tratamentos de inoculação, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

3.8 Análise de fósforo da parte aérea

A concentração de P nas folhas (Tabela 3) teve diferença entre os fatores. Para plantas controle, o maior teor de P foi observado em plantas irrigadas (80% da CC) e, conforme o aumento do déficit hídrico, o teor de P nessas plantas foi reduzindo, alcançando valores de 0,22 mg g⁻¹ em 60% da CC e 0,18 mg g⁻¹ em 40% da CC. Ao contrário, plantas inoculadas com *G. margarita* tiveram aumento no teor de P conforme o nível de água diminuía, com valores de 0,18 mg g⁻¹ em plantas irrigadas, 0,19 mg g⁻¹ em plantas sob 60% da CC e 0,21 mg g⁻¹ nas submetidas a 40% da CC. O teor para o tratamento inoculado com *G. gigantea* foi menor com 60% da CC (0,18 mg g⁻¹).

Verificando os tratamentos inoculados nos níveis de água, em 80% da CC, o maior valor de P foi para o tratamento controle e o menor teor para plantas inoculadas com *G. margarita*. Em 60% da CC, o maior teor continuou para plantas controle, porém as inoculadas com *G. margarita* ultrapassaram as inoculadas com *G. gigantea*. Em 40% da CC, plantas controle tiveram o menor valor de P e o maior valor foi para o tratamento de inoculação com *G. margarita* (0,21 mg g⁻¹).

Tabela 5: Concentração de fósforo (P) nas folhas das plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* após reirrigação, em Rio Verde, GO.

	Fósforo (P)		
	mg g ⁻¹		
	80% da CC	60% da CC	40% da CC
Controle	0,26 Aa	0,22 Ba	0,18 Cc
<i>Gigaspora margarita</i>	0,18 Cc	0,19 Bb	0,21 Aa
<i>Gigaspora gigantea</i>	0,20 Ab	0,18 Bc	0,20 Ab
CV (%)	0,00 %		

Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas entre os tratamentos de déficit hídrico e minúsculas entre os tratamentos de inoculação, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

4. DISCUSSÃO

Os FMA podem promover o crescimento e resistência das plantas durante a seca, melhorando a absorção e transferência de água e nutrientes por meio de hifas, contribuindo para o melhor desenvolvimento das plantas hospedeiras (LEE et al., 2012; SHARMA et al., 2015). Neste estudo, esse tipo de evidência pode ser avaliada em

condições normais e com diferentes níveis de água no solo, através da resposta de plantas de soja inoculadas com duas espécies de FMA, capazes de conferir tolerância à planta, por fatores abióticos.

Chen et al. (2012) realizaram um estudo com plantas de trigo e observaram que a falta de água reduz o potencial hídrico, resulta na diminuição do turgor celular, promove a diminuição da condutância estomática, o que reduz a fotossíntese e, conseqüentemente, desfavorece o crescimento e a produtividade. No presente estudo, os resultados de condutância estomática (g_s) (Figura 1A) das plantas inoculadas foi maior que os das plantas controle, corroborando os resultados de taxa transpiratória (Figura 1C). Isto indica que a inoculação dos FMA favoreceu a atividade estomática, a realização da fotossíntese e trocas gasosas.

De acordo com Zou et al. (2015), os FMA têm rede micelial bem desenvolvida, que pode melhorar a forma e distribuição das raízes no solo, promover a expansão da área de absorção e, assim, auxiliar no desenvolvimento das plantas hospedeiras e torná-las mais metabolicamente ativas ajudando a manter a fotossíntese sob déficit hídrico. A fotossíntese também é sensível à falta de água, pois induz o acúmulo de ácido abscísico (ABA) que promove o fechamento dos estômatos, para evitar maior perda de água, afeta a assimilação de CO_2 e, conseqüentemente a fixação pela enzima Ribose 1,5 bisfosfato carboxilase / oxigenase (Rubisco), o que reduz a atividade fotossintética e a produtividade (GALMÉS et al., 2011; TAIZ et al.; 2017).

Na condição de água limitada, o transporte de elétrons no fotossistema II (FSII) também é afetado, aumentando a possibilidade de inibição não fotoquímica e reduzindo a umidade relativa das folhas (ZIVCAK et al., 2013). Portanto, a fluorescência da clorofila comprova a eficiência de conversão de energia das plantas durante o estresse, indicando se o fotossistema II (FSII) está usando a energia absorvida pelas clorofilas (PORCEL et al., 2015).

No presente estudo foram avaliados os resultados da fluorescência máxima da clorofila (F_m), que representa a energia máxima dissipada pelos elétrons que, projetados para fora dos seus átomos, podem alcançar o extintor Qa (Quinona, receptora primária estável de elétrons do FSII). Porém, com a presença de algum bloqueador do fluxo de elétrons ou falta de demanda na produção de NADPH ou ATP ou Frd, estes átomos retornam às suas moléculas de origem, o que impede a continuidade do fluxo da cadeia transportadora de elétrons (VIEIRA et al., 2010).

Naturalmente, os pigmentos fotossintéticos têm grande importância nas plantas. As clorofilas têm a função de captar a energia luminosa, que será convertida em energia química necessária para a realização do processo fotossintético, por meio de um complexo coletor de luz usado no centro das reações fotoquímicas. O processo de fluorescência da clorofila tem sido usado há décadas para explicar a função, organização e adaptação das ferramentas fotossintéticas no nível foliar e subcelular (PORCAR-CASTELL et al., 2014)

Comparando-se os teores de clorofila *a* entre os tratamentos hídricos (Figura 2A), observa-se que plantas inoculadas com *G. gigantea*, nos níveis de déficit severo, tiveram teores de pigmentos maiores do que no tratamento irrigado. Isto corrobora os resultados da F_m , que demonstram que apesar do estresse imposto, o funcionamento do fotossistema II (FSII) não foi afetado em plantas inoculadas com *G. gigantea*, devido à atividade do FMA.

O maior nível de estresse estimulou ainda mais a atuação do FMA, levando a uma maior produção do pigmento como forma de defesa, para que a absorção de energia luminosa não fosse afetada, evitando uma diminuição na eficiência da fotossíntese. Os teores de clorofila *b*, após a reirrigação, foram maiores no tratamento de déficit severo (Figura 4).

De acordo com Gonçalves et al. (2010), no cultivo do milho, a escassez severa de água reduziu a transpiração, fotossíntese e eficiência do uso da água, independentemente dos híbridos cultivados. De maneira geral, o déficit hídrico afeta o crescimento das plantas e também reduz a taxa de crescimento, a expansão da folha e alongamento do caule. Por conta destes efeitos negativos causados pelo déficit hídrico, justifica-se a importância da inoculação com os FMA.

A correlação positiva entre a simbiose ocorre por meio da transferência entre fungo e planta, em que os fungos fornecem à planta hospedeira água e nutrientes, e a planta fornece o produto da fotossíntese para os FMA. Em função desta simbiose, as plantas têm maior crescimento, principalmente em solos pobres em nutrientes (Van der HEIJDEN et al., 2015). Mo et al. (2016) comprovam em estudo que a inoculação com FMA pode melhorar a fotossíntese e o funcionamento do PSII em condições de seca devido a absorção de água, que estabiliza o cloroplasto e a estrutura da membrana, aumentando a atividade da rubisco e reduzindo o acúmulo de radicais livres.

O favorecimento da simbiose por FMA, como mecanismo de tolerância ao estresse hídrico, está geralmente relacionada à melhoria da atividade antioxidante das

plantas (BASLAM; GOICOECHEA, 2012). Marques (2011) explica que plantas produzem mais carotenoides e clorofila *b* sob condições de estresse, por serem pigmentos fotoprotetores e, com isto, evitam a foto-oxidação da clorofila *a* durante a fotossíntese. Isto foi confirmado no presente estudo, em que os teores de clorofila *b* e carotenoides foi maior em plantas sob estresse severo.

Os efeitos do déficit hídrico sobre os pigmentos vegetais (clorofilas e carotenoides) podem causar distúrbios no equilíbrio osmótico, como perda de água, diminuição da turgescência e redução crescimento, levando à degradação da clorofila *a*, pigmento importante para a realização da fotossíntese (MARQUES, 2011). Além disso, a redução da concentração de pigmentos fotossintéticos, causada pelo déficit hídrico leva a um aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), resultando na peroxidação lipídica.

De modo geral, a degradação da clorofila acarreta numa diminuição expressiva da taxa fotossintética e, conseqüentemente, da produtividade (EGBE et al., 2013). O estresse hídrico pode causar degradação do pigmento, regulando positivamente a atividade da clorofilase e, negativamente, a atividade de enzimas envolvidas na biossíntese da clorofila, afetando diretamente a fluorescência da clorofila e a fotossíntese líquida (DALAL; TRIPATHY, 2012).

Os resultados deste trabalho corroboram os de Baslam e Goicoechea (2012), que observaram que *Glomus endoradi* e *Glomus mosseae*, associados à alface (*Lactuca sativa*) proporcionaram maior teor de clorofila e carotenoides, após a escassez de água, sendo superior ao das plantas não inoculadas. Yooyongwech et al. (2016) observaram que os pigmentos do aparelho fotossintético, em condições de déficit hídrico, em plantas de batata doce (*Ipomoea batatas*), inoculadas com um mix de FMA (*Glomus* sp. e *Acaulospora* sp.), em condições de déficit hídrico, tiveram um incremento de clorofilas e carotenoides em relação às plantas não inoculadas. Em condições de déficit, elas precisam continuar fazendo fotossíntese e evitar um maior acúmulo de espécies reativas de oxigênio.

Em plantas sob estresse hídrico, verifica-se decréscimos nos teores de clorofila, o que pode ser consequência de um estresse oxidativo, sendo, provavelmente, resultado de foto-oxidação dos pigmentos, associados à própria degradação das moléculas de clorofila. Mathur et al. (2018) observaram que plantas de trigo, colonizadas por FMA, tiveram maior conteúdo de clorofila em comparação com plantas não inoculadas. Devido ao estresse da seca, o conteúdo de clorofila diminuiu drasticamente, no entanto, em plantas

inoculadas sob déficit hídrico poderiam obter água e nutrientes através de hifas e ter maior conteúdo de clorofila.

Também foi observado em plantas de catalpa (*Catalpa bungei* C.A.Mey.) inoculadas com *Rhizophagus intraradices* em situação de estresse hídrico, incremento de clorofilas e carotenoides, além da melhoria na utilização da energia luminosa nas folhas (CHEN et al., 2020). Isto também ocorre, porque a planta em situação de estresse perde carboidratos para os FMA, porém não sofre danos com essa perda, pois incrementa sua capacidade de produção de fotossimilados e, conseqüentemente, de seus receptores de luz para assimilação e dissipação de energia luminosa (KASCHUK et al., 2009).

As clorofilas têm grande importância na eficiência fotossintética das plantas, pois é através da captação luminosa, realizada pelos pigmentos, que é formada a energia química necessária para realização da fotossíntese e demais processos. De maneira geral, as clorofilas estão relacionadas com a eficiência fotossintética das plantas, afetando diretamente no crescimento e adaptação delas as diferentes condições ambientais (SILVA et al., 2011; 2014).

Manoharan et al. (2010) observaram que apesar de ter ocorrido uma redução no conteúdo de açúcares, amidos e prolina, plantas de garra de tigre (*Erythrina variegata* L.) sob déficit hídrico, em simbiose com *F. mosseae* tiveram aumento do conteúdo de clorofilas, carotenoides e de proteínas. Alguns estudos relatam o ajuste dos pigmentos cloroplastídicos nas plantas sob déficit hídrico (ANJUM et al., 2011). Isto pode acontecer devido a possíveis danos oxidativos, porém, as plantas produzem antioxidantes para sua defesa, como, por exemplo, os carotenoides. Portanto, para maximizar a tolerância a longos períodos de seca, torna-se importante a utilização dos FMA. A inoculação com estes micro-organismos se dá através dos esporos e hifas presentes no solo, que são as primeiras estruturas dos FMA necessárias para implementar a associação simbiótica.

A restrição hídrica no solo induz a germinação dos esporos que ali se encontram, pois, as raízes, sob déficit hídrico, liberam moléculas que estimulam a expansão das hifas. Em contrapartida, os fungos liberam sinais que induzem a simbiose e, associados à planta, manifestam mecanismos de adaptação como o aumento da esporulação. Após o estabelecimento da simbiose, novos esporos são formados, dando continuidade ao ciclo simbiótico (BARROS, 2018).

Neste estudo pode ser observado que a densidade de esporos (Figura 5) em plantas do tratamento controle (sem inoculação) tiveram menor número de esporos no solo em todas as condições hídricas (irrigado, moderado e déficit), enquanto as inoculadas com

Gigaspora margarita e *Gigaspora gigantea* proporcionaram maior número de esporos em condição de déficit moderado (60% da CC) e severo (40% da CC), mostrando maior formação de esporos.

Uma resposta positiva do FMA, em relação às plantas de amendoim, foi observada por Coscolin et al. (2019), quanto ao número de esporos. Os valores foram maiores nos tratamentos inoculados e, conforme a deficiência hídrica aumentou, houve também um aumento do número de esporos. Para as plantas, a presença dos FMA altera seu metabolismo e síntese proteica, o que promove aumento no crescimento, produção de hormônios vegetais e proteção contra os estresses abióticos, como déficit hídrico e estresse salino (GILL et al., 2016).

A raiz é a primeira parte da planta a ser afetada pela falta de água e é através das células corticais da raiz que o FMA penetra. A partir daí, são formadas estruturas como arbúsculos e vesículas (SMITH; SMITH, 2011). Esta conexão desenvolve-se, inicialmente, por meio do reconhecimento mútuo de sinais químicos entre fungos e plantas (BARROS, 2018). Portanto, pelo aparecimento de hifas, vesículas e arbúsculos, pode-se observar a compatibilidade e simbiose entre as espécies (KIRIACHEK, 2009; PEREIRA et al., 2012; CAVALCANTE et al., 2013).

Em plantas de melancia (*Citrullus lanatus*), inoculadas com *Glomus vesiform*, houve colonização superior à de plantas não inoculadas, tanto em condições irrigadas como em déficit severo (MO et al., 2016), resultado que corrobora os deste trabalho, mostrando que a planta busca auxílio do FMA, para amenizar as situações de estresse.

As hifas dos FMA, que são formadas após a germinação dos esporos, proporcionam um sistema radicular maior para a planta e a taxa de absorção de água aumenta. Portanto, a condutância estomática é mantida, ou seja, os estômatos ficam mais abertos e, com isso, aumenta-se a absorção e a fixação de CO₂, o que representa a produção em massa de fotossimilados (MATHUR et al., 2018).

Observou-se no presente estudo que o maior resultado de colonização ocorreu sob condições severas de déficit (40% da CC), indicando a necessidade da micorrização que a planta tem em situações de estresse. Já os tratamentos sob déficit moderado e sob condições de irrigação tiveram menores níveis de colonização. A melhor colonização está de acordo com a densidade de esporos que, para plantas inoculadas, foi superior no déficit severo. Situação semelhante foi demonstrada por Hu et al. (2017), que constataram que plantas de goji berry (*Lycium barbarum*), inoculadas com *Rhizophagus irregularis*, sob déficit hídrico, tiveram maior colonização que plantas sem inoculação. As imagens das

raízes capturadas em lâminas microscópicas demonstram a colonização micorrízica por *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* pela presença de arbúsculos (Figura 4).

A conexão entre FMA e plantas, em ambientes sob déficit hídrico, pode levar ao aumento do crescimento e da produtividade vegetal, o que também está relacionado à regulação bioquímica e mudança da relação da água nas plantas (MIRANSARI, 2010). Outros fatores relacionados à colonização micorrízica também podem levar à resistência ao déficit de água, como alterações na elasticidade foliar, crescimento do potencial hídrico e regulação da transpiração.

Segundo Bonfim et al. (2010), a colonização radicular pode variar, pois o potencial de resposta pode estar relacionado a uma característica genética ligada aos atributos morfofisiológicos do hospedeiro e o grau de dependência a esse mecanismo simbiótico pela planta. Estudos realizados por Borowicz (2010) com morango (*Fragaria* × *ananassa*) e por Liu et al. (2015), com poplars (*Populus* spp.), relataram que o estresse hídrico tem um impacto negativo sobre a colonização micorrízica.

Na maioria das plantas superiores, há uma associação entre os FMA e as raízes, para formar micorrizas (COLODETE et al., 2014). No entanto, o grau de especificidade das plantas que se associam com fungos pode alterar, bem como a compatibilidade das espécies de FMA no solo e também as características genéticas do hospedeiro, o que determina a dependência micorrízica (CANTON, 2012). Sendo assim, cada espécie de planta hospedeira tem uma dependência diferente da micorriza. Por isso, torna-se importante e recomendável comparar diferentes espécies de FMA em diferentes condições de solo, para conhecer as espécies que efetivamente promovem o desenvolvimento das plantas (BALOTA et al., 2011).

Uma boa colonização micorrízica favorece as plantas em situação de estresse. Boyer et al. (2015) ao inocular *Funneliformis geosporus* e *Funneliformis mosseae*, em plantas de morango (*Fragaria* × *ananassa*), perceberam aumento da altura das plantas em condições de déficit.

O crescimento das plantas depende da fotossíntese, que é a conversão da energia luminosa em energia química e, quanto maior for a interceptação da luz pelas plantas, maior será o acúmulo de biomassa e de fotoassimilados (HEERDEN et al., 2010). Portanto, após a inoculação com FMA, espera-se uma maior absorção de água e nutrientes e, posteriormente, uma promoção no crescimento das plantas, que pode ocorrer devido à intrusão da rede micelial e a produção de glomalina. Tais fatores melhoram a estrutura do solo e, conseqüentemente, a relação hídrica (HASHEM et al., 2018).

Alguns estudos demonstraram que a inoculação com FMA, a longo prazo, promove o crescimento de plantas, como o milho (TOLJANDER et al., 2008; BORRIELLO et al., 2012). Além disso, a inoculação com FMA juntamente com a adubação podem não apenas aumentar a biomassa da planta e seu rendimento, mas também reduzir a necessidade de fertilizantes (HODGE et al., 2010).

Foi observado nesse estudo que, além das plantas controle, as inoculadas com *Gigaspora gigantea* tiveram maior crescimento, que pode ser devido ao aumento da clorofila *a*, indicando maior captação de luz e um possível aumento de fotossimilados. Zhang et al. (2019) demonstraram melhoria significativa nos declínios induzidos pela seca, nos fatores de crescimento, altura e acúmulo de biomassa em *Zenia* (*Zenia insignis*) devido à inoculação com FMA. Resultado similar também foi observado por Schiavo et al. (2018), em que plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), inoculadas com *Gigaspora albida*, tiveram um incremento da massa seca das plantas, comparadas àquelas inoculadas com *Gigaspora margarita* e sem inoculação.

Em condições de déficit hídrico, as plantas respondem fechando seus estômatos na tentativa de evitar maior perda de água pela transpiração, diminuindo o processo fotossintético, pela restrição da entrada de CO₂. Desse modo, pode afetar o crescimento e o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, a produção de biomassa e o rendimento final da cultura.

Neste estudo, maiores médias de massa seca de raízes (Figura 10B) foi observado no déficit severo, o que indica maior volume radicular. Essa resposta demonstra que a planta investiu em maior volume radicular para absorver maior conteúdo de água e nutrientes. Além disso, pode estar relacionado à taxa fotossintética, que apesar de, estatisticamente, não ter havido diferença, nota-se que a taxa foi levemente maior nos tratamentos de inoculação.

Jin et al. (2015) explicam que, como mecanismo de resposta ao déficit hídrico, a planta maximiza seu sistema radicular, para possuir melhores condições de absorção de água, porém limita o crescimento da parte aérea, o que foi observado neste trabalho. Especificamente, a altura das plantas (Figura 9) não sofreu tantas alterações no déficit e na reirrigação, o que indica que a planta estaria investindo no seu sistema radicular.

A massa seca de parte aérea, após a reirrigação (Figura 10C), em plantas controle foi menor no déficit severo, demonstrando que o déficit hídrico afeta a área foliar das plantas. Essa resposta pode ocorrer pela diminuição do turgor e perda das folhas, na tentativa de evitar maior transpiração. A redução da área foliar da planta sob estresse

hídrico visa reduzir a transpiração e proteger as plantas de potenciais danos oxidativos causados por área superficial de luz menor, porém essas mudanças quase sempre significam menor produção de biomassa (CHEN et al., 2010).

Sabe-se que a utilização dos FMA favorece o crescimento e a nutrição das plantas (OLIVEIRA et al., 2011), pois as micorrizas favorecem a absorção de nutrientes como N, P e K (BUCKING et al., 2012). O P é um componente importante de compostos das células vegetais, incluindo açúcar fosfato, intermediários para a respiração e fotossíntese e fosfolipídios que compõem as membranas vegetais. Também, integra o metabolismo energético da planta (como ATP) e nucleotídeos usados em DNA e RNA (TAIZ et al., 2017). Além disso, observa-se maiores médias de massa seca de raízes, no período do déficit hídrico, indicando que a planta investiu em maior volume radicular através do auxílio do FMA e, possivelmente, maximizou a captação de nutrientes como, no caso do presente estudo, o P. Em síntese, o presente trabalho mostra que as plantas inoculadas têm maiores taxas de crescimento que as não inoculadas.

5. CONCLUSÕES

Gigaspora margarita e *Gigaspora gigantea* favoreceram os parâmetros fisiológicos e biométricos de plantas de soja, após os períodos de déficit hídrico e reirrigação.

A inoculação micorrízica maximizou a tolerância das plantas de soja ao déficit hídrico, com destaque para a inoculação de *Gigaspora gigantea*, que promoveu um melhor funcionamento do aparato fotossintético das plantas.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELINI, G. A. R.; JÚNIOR, O. J. S.; SILVA, E. M. R. Seleção de fungos micorrízicos arbusculares e ectomicorrízicos para simbioses eficientes com *Acacia mangium* wild. Semina: Ciências Agrárias, v. 34, n. 6, p. 3529. 2013.

ANJUM, S. A.; XIE, X.; WANG, L.; SALEEM, M. F.; MAN, C.; LEI, W. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. African Journal of Agricultural Research, v. 6, n. 9, p. 2026-2032. 2011.

ASRAR, A. A.; ABDEL-FATTAH, G. M.; ELHINDI, K. M. Improving growth, flower yield, and water relations of snapdragon (*Antirrhinum majus* L.) plants grown under

wellwatered and water-stress conditions using arbuscular mycorrhizal fungi. *Photosynthetica*, v. 50, n. 2, p. 305-316, 2012.

BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; STENZEL, N. M. C. Resposta da acerola à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares em solo com níveis de fósforo. *Bragantia*. Campinas, v. 70, n. 1, p. 166-175, 2011.

BARROS, J. M. T. M. Fungos Micorrízicos em mudas de *Jatropha curcas* L. submetidas a estresse hídrico. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2018.

BÁRZANA, G.; AROCA, R.; PAZ, J. A.; CHAUMONT, F.; MARTINEZ-BALLESTA, M. C.; CARVAJAL, M.; LOZANO, J. M. R. Arbuscular mycorrhizal symbiosis increases relative apoplastic water flow in roots of the host plant under both well-watered and drought stress conditions. *Annals Botany*, v. 109, n. 5, p. 1009–1017, 2012.

BASLAM, M.; GOICOCHEA, N. Drought stress improved the capacity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) for inducing the accumulation of antioxidant compounds in 64 lettuce leaves. *Mycorrhiza*, v. 22, n. 5, p. 347-359, 2012.

BEHNAM, B.; IUCHI, S.; FUJITA, M.; FUJITA, Y.; TAKASAKI, H.; OSAKABE, Y.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; KOBAYASHI, M.; SHINOZAKI, K. Characterization of the promoter region of an Arabidopsis gene for 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase involved in dehydration-inducible transcription. *DNA Research*, v. 20, n. 4, p. 315-24, 2013.

BLASZKOWSKI, J.; KOZŁOWSKA, A.; CROSSAY, T.; SYMANCZIK, S.; AL-YAHYA'EI, M.N. A new family, Pervetustaceae with a new genus, Pervetustus, and *P. simplex* sp. nov. (Paraglomerales), and a new genus, Innospora with *I. majewskii* comb. nov. (Paraglomeraceae) in the Glomeromycotina. *Nova Hedwigia*, v. 105, n. 3, 2017.

BONFIM, J. A. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi and physiological aspects of coffee conducted in agroforestral system and at full sun. *Bragantia*, v. 69, n. 1, p. 201–206, 2010.

BOROWICZ, V. A. The impact of arbuscular mycorrhizal fungi on strawberry tolerance to root damage and drought stress. *Pedobiologia*, v. 53, n. 4, p. 265–270, 2010.

BORRIELLO, R.; LUMINI, E.; GIRLANDA, M.; BONFANTE, P.; BIANCIOTTO, V. Effects of different management practices on arbuscular mycorrhizal fungal diversity in maize fields by a molecular approach. *Biology and Fertility Soil*, v. 48, p. 911-922, 2012.

BOYER, L. R.; BRAIN, P.; XU, X. M.; JEFFRIES, P. Inoculation of drought-stressed strawberry with a mixed inoculum of two arbuscular mycorrhizal fungi: effects on population dynamics of fungal species on roots and consequential plant tolerance to water deficiency. *Mycorrhiza*, v. 25, n. 3, p. 215-227, 2015.

BÜCKING, H.; LIEPOLD, E.; AMBILWADE, P. O papel da simbiose micorrízica na absorção de nutrientes pelas plantas e os mecanismos reguladores subjacentes a esses processos de transporte. *In: Plant Sci. Kumar, DN e Charan, SS (Ed.). InTech*, 2012.

CAKMAK I, HORST W. J. Effect of aluminum on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*). *Physiologia Plantarum*, v. 83, n. 3, p. 463-468, 1991.

CANTON, G. C. Efeito do manganês sobre a ecofisiologia e bioquímica de ectomicorrizas. 2012. 61f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ecossistemas) - Universidade de Vila Velha, Vila Velha, ES, 2012.

CAVALCANTE, U. M. T; GOTO, B. T.; MAIA, L. C. Aspectos da simbiose micorrízica arbuscular. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*, v. 5, p. 180-208, 2013.

CHEN, J. W.; ZHANG, Q.; LI X. S.; CAO, K. F. Gas exchange and hydraulics in seedlings of *Hevea brasiliensis* during water stress and recovery. *Tree Physiology*, v. 30, n. 7, p. 876-85, 2010.

CHEN, W.; MENG, P.; FENG, H.; WANG, C. Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on growth and physiological performance of *Catalpa bungei* C.A.Mey. under drought stress. *Forests*, v. 11, n. 10, p. 1117, 2020.

CHEN, X.; MIN, D.; YASIR, T. A.; HU Y-G. Evaluation of 14 morphological, yield related and physiological traits as indicators of drought tolerance in Chinese winter bread wheat revealed by analysis of the membership function value of drought tolerance (MFVD). *Field Crops Research*, v. 137, p. 195–201, 2012.

CLEMENTE, T. E.; CAHOON, E. B. Soybean oil: genetic approaches for modification of functionality and total content. *Plant Physiology*, v.151, n.3, p.1030-1040, 2009.

COLODETE, C. M.; DOBBSS, L. B.; RAMOS, A. C. Aplicação das Micorrizas arbusculares na recuperação de áreas impactadas. *Natureza on line*, v. 12, n. 1, p. 31-37, 2014.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v.8 – Safra 2020, n. 3- Terceiro levantamento, p. 1-86, 2020.

COSCOLIN, R. B. S Associação de fungos micorrízicos no cultivo do amendoim sob deficiência hídrica. *ADROFIB – Bauru – SP* v. 1 ano 1, p. 85, abril 2019. <Disponível em: <https://revistas.fibbauru.br/agrofib/article/view/385/346>> Acesso em: 16 julho 2020.

DALAL, V. K.; TRIPATHY, B. C. Modulation of chlorophyll biosynthesis by water stress in rice seedlings during chloroplast biogenesis. *Plant, Cell and Environment*, v. 35, n. 9, 2012.

EGBE, E. A.; FORKWA, E. Y.; ENOW, E. A. Evaluation of seedlings of three woody species under four soil moisture capacities. *British Journal of Applied Science and Technology*, v. 4, n. 24, p. 3455–3472, 2013.

EMBRAPA. Embrapa soja – Safra Brasil 2018/2019. - Embrapa Soja, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1> acesso em: 03/09/2019

EMBRAPA. Embrapa soja – Safra Brasil 2019/2020. - Embrapa Soja, 2020. Disponível em <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. acesso em 10/01/2021.

EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (EEA). Global and European temperature (CSI 012/CLIM 001), Assessment May 2011.

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

GALMÉS, J.; RIBAS-CARBO, M.; MEDRANO, H.L.; FLEXAS, J. Rubisco activity in Mediterranean species is regulated by the chloroplastic CO₂ concentration under water stress. *Journal of Experimental Botany*, v.62, n.2, p. 653-665, 2011.

GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Transactions of the British Mycological Society, n.46, p.235- 244, 1963.

GILL, S. S.; GILL, R.; TRIVEDI, D. K.; ANJUM, N. A.; SHARMA, K. K.; ANSARI, M. W.; ANSARI, A. A.; JOHRI, A. K.; PRASAD, R.; PEREIRA, E.; VARMA, A.; TUTEJA, N. *Piriformospora indica*: potential and significance in plant stress tolerance. Frontiers in Microbiology, v. 22, n. 7, p. 332, 2016.

GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T. P.; DUARTE, W. DE G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, n. 4, p. 378-386, 2010.

HASHEM, A.; ALQARAWI, A. A.; RADHAKRISHNAN, R.; AL-ARJANI, A. F.; ALDEHAISH, H. A.; EGAMBERDIEVA, D.; ABD ALLAH, E. F. Arbuscular mycorrhizal fungi regulate the oxidative system, hormones and ionic equilibrium to trigger salt stress tolerance in *Cucumis sativus* L. Saudi Journal of Biological Sciences, v. 25, n. 6, p. 1102-1114, 2018.

HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives in Biochemistry and Biophysics, v. 125, n. 1, p. 189–198, 1968.

HEERDEN, P. D. R. Van; DONALDSON, R. A.; WATT, D. A.; SINGELS, A. Biomass accumulation in sugarcane: unravelling the factors underpinning reduced growth phenomena. Journal of Experimental Botany, v. 61, n. 11, p. 2877-2887, 2010.

HODGE, A.; HELGASON, T.; FITTER, A. H. Nutritional ecology of arbuscular mycorrhizal fungi. Fungal Ecology, v. 3, p. 267-273, 2010.

HU, W.; ZHANG, H.; CHEN, H.; TANG, M. Arbuscular mycorrhizas influence *Lycium barbarum* tolerance of water stress in a hot environment. Mycorrhiza, v. 27, n. 5, p. 451-463, 2017.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal – flotation technique for separating nematodes from soil. Plant Disease Report, v. 48, p. 692, 1964.

JIN, K.; SHEN, J.; ASHTON, R. W.; WHITE, R. P.; DODD, I. C.; PARRY, M. A. J.; WHALLEY, W. R. Wheat root growth responses to horizontal stratification of fertilizer in a water-limited environment. *Plant and Soil*, v. 386, n. 1-2, p. 77–88, 2015.

KASCHUK, G.; KUYPER, T. W.; LEFFELAAR, P. A.; HUNGRIA, M.; GILLER, K. E. Are the rates of photosynthesis stimulated by the carbon sink strength of rhizobial and arbuscular mycorrhizal symbioses? *Soil Biology and Biochemistry*, v. 41, n. 6, p. 1233-1244, 2009.

KIRIACHEK, S. G.; AZEVEDO, L. C. B. de; PERES, L. E. P.; LAMBAIS, M. R. Regulação do desenvolvimento de micorrizas arbusculares. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 1, p. 1-16, 2009.

KOSKEY, R. E.; GEMMA, J. N. A modified procedure for staining roots to detect micorrizas. *Mycological Research*. v.92, n. 4, p. 486-505, 1989.

LEE, B. R.; MUNEER, S.; AVICE, J. C.; JUNG, W. J.; KIM, T. H. Mycorrhizal colonization and P-supplement effects on N uptake and N assimilation in perennial ryegrass under well-watered and drought-stressed conditions. *Mycorrhiza*, v. 22, n. 7, p. 525-534, 2012.

LIU, T. et al. Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth, water status, and photosynthesis of hybrid poplar under drought stress and recovery. *Photosynthetica*, v. 53, n. 2, p. 250–258, 2015.

MACHADO, A. T. Construção histórica do melhoramento genético de plantas: do convencional ao participativo. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 9, n. 1, p.35-50, 2014.

MANOHARAN, P.T.; SHANMUGAIAH, V.; BALASUBRAMANIAN, N.; GOMATHINAYAGAM, S.; SHARMA, M. P; MUTHUCHELIAN, K. Influence of AM fungi on the growth and physiological status of *Erythrina variegata* Linn. grown under different water stress conditions. *European Journal of Soil Biology*, v. 46, p. 151-156, 2010.

MAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2020.

MARQUES, R. P.; FREIRE, C. S.; NASCIMENTO, H. H. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Relações hídricas e produção de pigmentos fotossintéticos em mudas de *Eugenia uniflora* L. sob condições de salinidade. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 4, n. 3, p. 497-509, 2011.

MATHUR, S.; SHARMA, M. P.; JAJOO, A. Improved photosynthetic efficacy of maize (*Zea mays*) plants with Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) under high temperature stress. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, v. 180, p. 149–154, 2018.

McGONIGLE, T. P.; MILLER, M. H.; EVANS, D. G.; FARCHILD, G. L.; SWAN, J. A. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, v. 115, n. 3, p. 495.1990.

MIRANDA, J. C. C. Cerrado, micorriza arbuscular, ocorrência e manejo. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008.

MIRANSARI, M. Contribution of arbuscular mycorrhizal symbiosis to plant growth under different types of soil stress. *Plant Biology*, v. 12, n. 4, p. 563–569, 2010.

MO, Y.; WANG, Y.; YANG, R.; ZHENG, J.; LIU, C.; LI, H.; MA, J.; ZHANG, Y.; WEI, C.; ZHANG, X. Regulation of plant growth, photosynthesis, antioxidation and osmosis by an arbuscular mycorrhizal fungus in watermelon seedlings under well-watered and drought conditions. *Frontiers in Plant Science*, v. 7, n. 644, p.1-10, 2016.

OLIVEIRA, J. R. G. D.; MORAIS, T. A. D. L.; MELO, N. F. D.; YANO-MELO, A. M. Aclimação de mudas de *Tapeinochilos ananassae* em associação com fungos micorrízicos arbusculares. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 9, p. 1099-1104, 2011.

PEREIRA, M. S. F. Fungo micorrízico arbuscular e glicina betaína aumentam a tolerância de pinhão-mansão em condições de estresse abiótico. 152f. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, MG, 2012.

PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, v. 55, n. 1, p. 158-161, 1970.

PICCOLI, P.; TRAVAGLIA, C.; COHEN, A.; SOSAL, L.; CORNEJO, P.; MASUELLI, R.; BOTTINI, R. An endophytic bacterium isolated from roots of the halophyte *Prosopis strobilifera* produces ABA, IAA, gibberellins A1 and A3 and jasmonic acid in chemically-defined culture medium. *Plant Growth Regulation*, v.64, n.2, p.207-210, 2011.

PORCAR-CASTELL, A.; TYYSTJÄRVI, E.; ATHERTON, J.; VAN DER TOL, C.; FLEXAS, J.; PFÜNDEL, E. E.; MORENO, J.; FRANKENBERG, C.; BERRY, J. A. Linking chlorophyll a fluorescence to photosynthesis for remote sensing applications: mechanisms and challenges. *Journal of Experimental Botany*, v. 65, n. 15, p. 4065–4095, 2014.

PORCEL, R.; REDONDO-GÓMEZ, S.; MATEOS-NARANJO, E.; AROCA, R.; GARCIA, R.; RUIZ-LOZANO, J. M. Arbuscular mycorrhizal symbiosis ameliorates the optimum quantum yield of photosystem II and reduces non-photochemical quenching in rice plants subjected to salt stress. *Journal of Plant Physiology*, v. 185, p. 75–83, 2015.

SCHIAVO, J. A.; AZEVEDO, L. S.; LIMA, M. F.; OLIVEIRA, N. S.; LOPES, V. R. Crescimento inicial de cana-de-açúcar inoculada com fungos micorrízicos arbusculares e fósforo. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 41, n. 2, p. 121-130, 2018.

SCHOLANDER, P. E.; HAMMEL, H. T.; BRADSTREET, E. D.; HEMMINGSEN, E. A. Sap pressure in vascular plants. *Science*, v. 148, n. 3668, p. 339-46, 1965.

SHARMA, N.; YADAV, K.; CHEEMA, J.; BADDA, N.; AGGARWAL, A. Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis and Water Stress: A Critical Review. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, v. 38, n. 4, p. 427-453, 2015.

SHARMA, P.; JHA, A. B.; DUBEY, R. S.; PESSARAKLI, M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*, v. 2012, p 1-26, 2012.

SILVA, F. G.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L. M.; MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 10, p. 946-952, 2015.

SILVA, M. A.; JIFON, J. L.; SHARMA, V.; SILVA, J. A. G.; CAPUTO, M. M.; DAMAJ, M. B.; GUIMARÃES, E. R.; FERRO, M. I. T. Use of physiological parameters in screening drought tolerance in sugarcane genotypes. *Sugar Tech*, v. 13, p. 191-197, 2011.

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

SMITH, S. E.; FACELLI, E.; POPE, S.; SMITH, F. A. Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. *Plant and Soil*, v. 326, n. 1-2, p. 3-20, 2010.

SMITH, S. E.; READ, D. J. *Mycorrhizal symbiosis*. 3. ed., Repr ed. Amsterdam: Elsevier/Acad. Press, 2010.

SMITH, S. E.; SMITH, F. A. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales. *Annual Review of Plant Biology*, v. 62, p. 227–250, 2011.

SOUZA, F. A.; SCHLEMPER, T. R.; STÜRMER, S. L. A importância da tecnologia de inoculação de fungos micorrízicos para a sustentabilidade na olericultura. *Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro científico (ALICE)*, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TOLJANDER, J. F.; SANTOS-GONZÁLEZ, J. C.; TEHLER, A.; FINLAY, R. D. Community analysis of arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria in the maize mycorrhizosphere in a long-term fertilization trial. *FEMS Microbiology Ecology*, v. 65, p. 323-338, 2008.

URCOVICHE, R. C.; CASTELLI, M.; TOESCA GIMENES, R. M.; ALBERTON, O. Spore density and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in medicinal and seasoning plants. *African Journal Agricultural Research*, v. 9, n. 16, p. 1244-1251, 2014.

VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; MARTIN, F. M.; SELOSSE, M. A.; SANDERS, I. R. Mycorrhizal ecology and evolution: The past, the present, and the future. *New Phytologist*, v. 205, n. 4, p. 1406-1423, 2015.

VIEIRA, D. A. de P.; PORTES, T. de A.; STACCIARINI-SERAPHIN, E.; TEIXEIRA, J. B. Fluorescência e teores de clorofilas em abacaxizeiro cv. Pérola submetido a diferentes concentrações de sulfato de amônio. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 32, n. 2, p. 360-368, 2010.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophyll-A and chlorophyll-B, as well as total carotenoids using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal Plant Physiology*, v. 144, n. 3, p. 301–313, 1994.

WU, Q. S.; CAO, M. Q.; ZOU, Y. N.; HE, X. H. Direct and indirect effects of glomalin, mycorrhizal hyphae, and roots on aggregate stability in rhizosphere of trifoliolate orange. *Scientific Reports*, v. 4, n. 5823, p 1-8, 2014.

YOOYONGWECH, S.; SAMPHUMPHUANG, T.; TISARUM, R.; THEERAWITAYA, C.; CHA-UM, S. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) improved drought stress tolerance in two different sweet potato genotypes involves osmotic adjustments via soluble sugar and free proline. *Scientia Horticulturae*, v. 198, p. 107–117, 2016.

ZHANG, Z.; ZHANG, J.; XU, G.; ZHOU, L.; LI, Y. Arbuscular mycorrhizal fungi improve the growth and drought tolerance of *Zenia insignis* seedlings under drought stress. *New Forest*. v. 50, p. 593–604, 2019.

ZIVCAK, M.; BRESTIC, M.; BALATOVA, Z.; DREVENAKOVA, P.; OLISOVSKA, K.; KALAJI, H. M.; YANG, X.; ALLAKHVERDIEV, S. I. Photosynthetic electron transport and specific photoprotective responses in wheat leaves under drought stress. *Photosynthesis Research*, v. 117, n. 1-3, p. 529–546, 2013.

ZOU, Y. N., SRIVASTAVA, A. K., NI, Q. D., WU, Q. S. Disruption of mycorrhizal extraradical mycelium and changes in leaf water status and soil aggregate stability in rootboxgrown trifoliolate orange. *Frontiers in Microbiology*, v. 6, p 203, 2015.

5 MATERIAL SUPLEMENTAR

Tabela 1S. Análise de solo (0-20 cm) antes da instalação do experimento, em Rio Verde, GO.

Ca	Mg	Ca+Mg	Al	H+Al	K	K	S	P (mel)	pH	M.O.
-----cmol _c dm ⁻³ -----					-----mg dm ⁻³ -----			CaCl₂	g dm⁻³	
1,39	0,13	1,52	0,10	3,63	0,19	76,01	10,78	3,66	4,85	24,80
Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B	CTC	SB	V%	m%	Argila
-----mg dm ⁻³ -----					cmol _c dm ⁻³		Sat. base	Sat. Al	%	
1,00	92,06	37,05	2,43	0,26	0,06	5,34	1,71	32,08	2,83	15