

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA: PRODUÇÃO VEGETAL

JULIANY MAYRA TEIXEIRA DE MOURA BARROS

**FUNGOS MICORRÍZICOS EM MUDAS DE *Jatropha curcas* L. SUBMETIDAS A
ESTRESSE HÍDRICO**

Rio Largo - Alagoas

2018

JULIANY MAYRA TEIXEIRA DE MOURA BARROS

**FUNGOS MICORRÍZICOS EM MUDAS DE *Jatropha curcas* L. SUBMETIDAS A
ESTRESSE HÍDRICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Lauricio Endres

Rio Largo

2018

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

B777f Barros, Juliany Mayra Teixeira de Moura
Fungos micorrízicos em mudas de *Jatropha curcas* L.
submetidas a estresse hídrico / Juliany Mayra Teixeira de Moura
Barros – 2018.
30 f.; il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) -
Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias. Rio
Largo, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Laurício Endres

Inclui bibliografia

1. Pinhão manso 2. Micorrização 3. Déficit hídrico I. Título

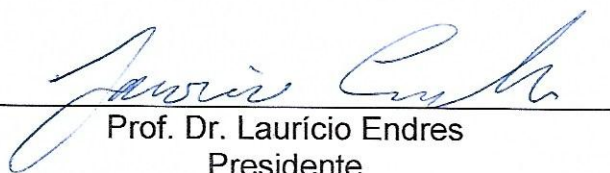
CDU: 633.9

TERMO DE APROVAÇÃO

JULIANY MAYRA TEIXEIRA DE MOURA BARROS
(Matrícula 16130084)

“Fungos micorrízicos em mudas de *Jatropha curcas* L. submetidas a estresse hídrico”

Dissertação apresentada e avaliada pela banca examinadora em vinte e oito de fevereiro de 2018, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração em Produção vegetal do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Unidade Acadêmica Centro de Ciências Agrárias da UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS.


Prof. Dr. Laurício Endres
Presidente


Dr. Sebastião de Oliveira Maia Júnior
Membro


Dr.ª Cibele Merched Gallo
Membro

Rio Largo - AL
Fevereiro/2018

*Mas aqueles que esperam no Senhor
renovam as suas forças.
Voam alto como águias;
correm e não ficam exaustos,
andam e não se cansam.
Isaías 40:31*

AGRADECIMENTOS

*Em primeiro lugar agradeço a **Deus** pela minha vida, por nunca me deixar desistir, estando sempre ao meu lado e me fortalecendo para alcançar os meus sonhos. Obrigada por todas as vitórias que o Senhor tem me concedido.*

*Ao meu esposo **Heidson** por ser meu alicerce nessa caminhada, apoiando-me sempre nas tomadas de decisões. Pela confiança e todo incentivo para a concretização do meu mestrado, bem como sua assistência, compreensão e todo amor para comigo. Agradeço a Deus por você ser sempre o meu refúgio. Te amo.*

*Ao meu filho **Vinícius**, por você estou finalizando e iniciando mais uma jornada em minha vida. Amo você.*

*À minha avó **Divanilde Teixeira** e ao meu avô **Pedro Moura (meus pais)** por todos os seus esforços feitos para que eu pudesse estar aqui hoje, sem os quais isso não seria possível. Agradeço a Deus por lhes terem comigo. Amo vocês.*

*Ao meu orientador **Prof. Dr. Laurício Endres** pela oportunidade de ser sua orientanda, por sua paciência, compreensão e todo conhecimento compartilhado comigo.*

*À minha amiga **Gleica**, por sempre estar ao meu lado nos momentos de desesperos das disciplinas, com sua paciência, carinho, resenhas e seu infinito conhecimento compartilhado comigo. Agradeço a Deus por ter te colocado na minha vida.*

*Aos meus amigos **Dailson** e **Renato**, sempre dispostos a me ensinar, ajudar em tudo que estivesse aos seus alcances, e que estiveram comigo nos piores e melhores momentos dessa jornada. Agradeço a Deus por vocês.*

*À minha amiga **Jailma**, por estar ao meu lado em todos os momentos, principalmente em meu experimento, compartilhando seus conhecimentos, me guiando e sempre me ajudando em tudo. Sem você não teria conseguido. Obrigada por todo carinho, preocupação, amizade e por me guiarem sempre. Agradeço a Deus por ter colocado você em minha vida. Por todas as risadas que demos juntas.*

*À minha amiga **Andréa** por estar ao meu lado desde o início dessa jornada, sempre me ajudando e me acalmando em tudo. Obrigada por tudo que você fez e faz por mim, por estar ao meu lado em todos os momentos, em meu experimento, Sem você não teria conseguido. Obrigada pelo carinho e amizade para todas as horas. Agradeço a Deus por ter colocado você em minha vida.*

*Ao meu amigo **Sebastião** por todo conhecimento compartilhado comigo, toda ajuda em meu experimento, sempre me guiando e me ajudando em tudo. Não teria chegado até sem você. Obrigada por todo tudo. Agradeço a Deus por ter colocado vocês todos em minha vida. Por todas as risadas que demos juntos.*

*Aos meus Professores **Dra. Vilma Marques, Dr. José Vieira, Dr. Mauro Wagner** que contribuíram grandemente com seus conhecimentos compartilhados, além de toda paciência e incentivo para que eu pudesse prosseguir e chegar até aqui. Agradeço por todo carinho para comigo.*

*À **Dr^a Claudiana Moura** que sempre me ajudou desde o início do meu*

experimento até finalização da dissertação, obrigada por tudo que você fez por mim, toda preocupação e incentivo, sem você não teria conseguido. Obrigada por me guiar. Agradeço por todo carinho para comigo.

*Aos membros da banca examinadora, **Dr. Sebastião Maia e Dr^a. Cibele Merched Gallo** pela disposição e dedicação em contribuir para com a melhoria do meu trabalho.*

*A todos os colegas e companheiros do Laboratório de Fisiologia Vegetal, em especial **Polyana, Paulo, Julhyanne.***

*À técnica do laboratório de Fisiologia Vegetal, **Isabela Cardoso**, por toda sua contribuição nas análises, bem com no experimento, obrigada por tudo.*

*Aos ICs **Adenilton, André, Alex, Elenilton, Joyce, Lucas, Raphael, Rui**, por toda colaboração e dedicação em me ajudar, muito obrigada por tudo.*

*Às estagiárias do IFAL, **Débora e Doroty** pela grande contribuição na realização das análises do meu experimento. Muito obrigada meninas.*

Ao Laboratório de Fisiologia Vegetal por todo suprimento disponibilizado para realização do meu experimento.

À Universidade Federal de Alagoas, por possibilitar a realização de tornar-me Mestre em Produção Vegetal.

RESUMO

O déficit hídrico é um fator limitante ao crescimento das plantas, sendo uma das principais causas da baixa produtividade em culturas. O pinhão manso, *Jatropha curcas* L. é uma espécie que possui uma vasta adaptação às condições edafoclimáticas, em especial à seca. A técnica de micorrização é uma alternativa para contribuir e aumentar a sua produção sob estas condições. Em razão disso, este trabalho tem como objetivo avaliar o desenvolvimento morfofisiológico de mudas de *J. curcas* em associação a diferentes fungos micorrízicos arbusculares submetidas a estresse por déficit hídrico. Para tanto foram utilizadas três espécies isoladas de fungos micorrízicos arbusculares: (M1) *Gigaspora albida*, (M2) *Claroideoglossum etunicatum*, (M3) *Rhizophagus intraradices* e um tratamento controle (M0) não micorrizada, e presença (C) e (E) ausência de irrigação. As sementes de pinhão manso foram plantadas e previamente inoculadas com fungos micorrízicos na ausência de estresse hídrico. Foram mensurados dados morfológicas (altura, diâmetro do coleto, número de folhas e área foliar). Foram realizadas as avaliações fisiológicas, bem como de biomassa de raiz, parte aérea e total. As plantas inoculadas com as espécies *C. etunicatum* obtiveram maiores altura, número de folhas, diâmetro do caule e área foliar, além disso, mudas inoculadas com *C. etunicatum* e *R. intraradices* apresentaram maior incremento na produção de massa seca. As mudas de *J. curcas* inoculadas com as espécies *C. etunicatum* e *R. intraradices* mantiveram taxas de condutância estomática, transpiração, taxa fotossintética e índice SPAD maiores sob déficit hídrico em relação às não inoculadas. Tanto a eficiência fotoquímica máxima do PSII (Fv/Fm) como à eficiência quântica efetiva do PSII (Φ PSII) não foram afetadas pela supressão hídrica na presença ou ausência dos fungos micorrízicos arbusculares. Ademais, ambas as espécies *C. etunicatum* e *R. intraradices* apresentaram dependência micorrízica média. Portanto, a inoculação de micorrizas *C. etunicatum* e *R. intraradices* permitem um maior desenvolvimento do pinhão manso sob condições de déficit hídrico.

Palavras-chave: Pinhão manso. Micorrização. Déficit hídrico.

ABSTRACT

The water deficit is a limiting factor to the growth of the plants, being one of the main causes of the low productivity in crops. Physic nut, *Jatropha curcas* L. is a species that has a wide adaptation to edaphoclimatic conditions, especially to drought. The mycorrhization technique is an alternative to contribute and increase its production under these conditions. Therefore, this work aims to evaluate the morphophysiological development of seedlings of *J. curcas* in association with different arbuscular mycorrhizal fungi submitted to stress due to water deficit. Three species were isolated from arbuscular mycorrhizal fungi: (M1) *Gigaspora albida* (M2) *Claroideoglosum etunicatum*, (M3) *Rhizophagus intraradices* and a non-mycorrhized control treatment (M0), and presence (C) and (E) absence of irrigation. The *Jatropha* seeds were planted and previously inoculated with mycorrhizal fungi in the absence of water stress. Morphological data (height, collection diameter, number of leaves and leaf area) were measured. Physiological evaluations, as well as root, shoot and total biomass. The plants inoculated with *C. etunicatum* species showed higher height, number of leaves, stem diameter and leaf area, in addition, seedlings inoculated with *C. etunicatum* and *R. intraradices* showed a larger increase in dry mass production. Seedlings of *J. curcas* inoculated with the species *C. etunicatum* and *R. intraradices* maintained rates of stomatal conductance, transpiration, photosynthetic rate and SPAD index, higher under water deficit than those not inoculated. Both the maximum photochemical efficiency of PSII (Fv / Fm) and the effective quantum efficiency of PSII (Φ PSII) were not affected by water suppression in the presence or absence of arbuscular mycorrhizal fungi. In addition, both species *C. etunicatum* and *R. intraradices* presented medium mycorrhizal dependence. Therefore, the inoculation of mycorrhizae *C. etunicatum* and *R. intraradices* allows a greater development of the meager *Jatropha* under conditions of water deficit.

Key words: Physic nut. Mycorrhization. Water deficit.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Temperatura e umidade relativa do ar (A), radiação solar e déficit de pressão de vapor (DPV) (B), registrados dentro da casa de vegetação durante o período de supressão hídrica. | 11 |
| Figura 2 - Umidade no solo durante o período de estresse máximo e reidratação. | 12 |
| Figura 3 - Número de folhas (A), diâmetro do coleto (B) altura (C) e área foliar (D) de plantas de <i>Jatropha curcas</i> L. inoculadas com FMAs onde (M0) não inoculado, (M1) <i>Gigáspora albida</i> , (M2) <i>Claroideoglo mus etunicatum</i> e (M3) <i>Rhizophagus intraradices</i> | 15 |
| Figura 4 - Massa seca de raiz (A), de caule (B), de folhas (C) e massa seca total de plantas de <i>Jatropha curcas</i> L. inoculadas com FMAs onde (M0) não inoculado, (M1) <i>Gigáspora albida</i> , (M2) <i>Claroideoglo mus etunicatum</i> e (M3) <i>Rhizophagus intraradices</i> | 16 |
| Figura 5 - Condutância estomática -gs (A, B); transpiração -E (C, D) e fotossíntese - A (E, F) em plantas de <i>J. curcas</i> inoculadas com FMAs onde (M0) não inoculado, (M1) <i>G. albida</i> , (M2) <i>C. etunicatum</i> , (M3) <i>R. intraradices</i> e tratamentos hídricos (C) Controle e (E) estresse. | 18 |
| Figura 6 - Teor estimado de clorofila – SPAD em plantas de <i>Jatropha curcas</i> L. inoculadas com FMAs onde (A, B) estresse máximo e (C, D) reidratação. (M0) não inoculado, (M1) <i>G. albida</i> , (M2) <i>C. etunicatum</i> , (M3) <i>R. intraradices</i> e tratamentos hídricos (C) Controle e (E) estresse. | 19 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabela 1- | Propriedades físico-químicas do solo utilizado no experimento..... | 11 |
| Tabela 2- | Análise de variância dos parâmetros morfológicos de plantas de <i>Jatropha curcas</i> L. inoculadas e não inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares. | 14 |
| Tabela 3- | Análise de variância dos parâmetros fisiológicos de plantas de <i>Jatropha curcas</i> L. inoculadas e não inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares..... | 17 |
| Tabela 4- | Análise de variância dos parâmetros fisiológicos de plantas de <i>Jatropha curcas</i> L. inoculadas e não inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares..... | 20 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----------------------|--|
| <i>A</i> | Taxa fotossintética |
| CICG | Coleção Internacional de Cultura de Glomeromycota |
| CTC | Capacidade de troca de cátions |
| DAP | Dias após plantio |
| DM | Dependência micorrízica |
| DPV | Déficit de pressão de vapor |
| <i>E</i> | Taxa de transpiração |
| Fm | Fluorescência máxima |
| FMA _s | Fungos micorrízicos arbusculares |
| Fv | Fluorescência variável |
| <i>g_s</i> | Condutância estomática |
| INVAM | International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi |
| IRGA | Infrared gas analyzer (Analisador de gases a infravermelho) |
| PSII | Fotossistema II |

SUMÁRIO

| | |
|--|------------|
| RESUMO..... | vi |
| ABSTRACT..... | vii |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA..... | 2 |
| 2.1 A Cultura do Pinhão Manso | 2 |
| 2.2 Plantas Oleaginosas e Biocombustível..... | 4 |
| 2.3 Caracterização Fisiológica de Plantas sob Estresse Hídrico..... | 4 |
| 2.4 Micorrizas e Fungos Micorrízicos Arbusculares..... | 6 |
| 2.4.1 Associação e Dependência Micorrízica..... | 7 |
| 2.4.2 Associação dos FMAS com Pinhão Manso e Estresse Hídrico..... | 8 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 9 |
| 3.1 Caracterização do Ambiente Experimental..... | 9 |
| 3.2 Delineamento Experimental..... | 9 |
| 3.3 Preparo do Solo..... | 9 |
| 3.4 Inoculação de FMAS em Mudanças de <i>Jatropha curcas</i> L..... | 11 |
| 3.5 Análises Biométricas..... | 12 |
| 3.6 Análises Fisiológicas..... | 12 |
| 3.7 Dependência Micorrízica em Mudanças de Pinhão Manso..... | 12 |
| 3.8 Análises Estatísticas..... | 13 |
| 4 RESULTADOS..... | 13 |
| 4.1 Avaliações Morfológicas..... | 13 |
| 4.2 Avaliações Fisiológicas..... | 15 |
| 4.3 Dependência Micorrízica em Mudanças de <i>J. curcas</i>..... | 19 |
| 5 DISCUSSÃO..... | 19 |
| 6 CONCLUSÃO..... | 22 |
| REFERÊNCIAS..... | 23 |
| ANEXO 1 - REGISTROS FOTOGRÁFICOS DO EXPERIMENTO..... | 29 |
| ANEXO 2 - COMPARAÇÃO DE RAÍZES..... | 30 |

1. INTRODUÇÃO

A seca constitui um grande problema ambiental a qual acomete as áreas de cultivo, limitando o crescimento das culturas e, conseqüentemente, redução de sua produtividade. A utilização de culturas tolerantes a escassez hídrica vem sendo uma das alternativas para produção em regiões de baixa precipitação, em especial o semiárido nordestino (BEHERA et al., 2010; ABDALLAH et al., 2014; HSIE et al., 2015).

O pinhão manso, *Jatropha curcas* L. vem apresentando grande destaque no cenário mundial, visto que, possui características como vasta adaptação edafoclimática, especialmente resistência à seca, além de ser fonte energética alternativa para incentivar e fortalecer a agricultura familiar. Em virtude do alto teor de óleo em suas sementes, a espécie vem sendo considerada uma cultura promissora para a produção de biocombustíveis em especial o biodiesel, combustível biodegradável, obtido através de óleos vegetais como os da mamona, dendê, girassol, amendoim, pinhão manso, bem como de gorduras de origem animal, com características semelhantes ao óleo diesel (NASS; PEREIRA; ELLIS, 2007; MARTINS, 2014).

A espécie apresenta-se como uma excelente possibilidade para produção em áreas com baixa disponibilidade hídrica, entretanto, sob estas condições, sua produção não é muito satisfatória. Logo, faz-se necessário o uso de técnicas que contribuam para com o aumento de sua produtividade (ARRUDA et al., 2004; EPAMIG, 2005).

Sendo assim, novas estratégias de cultivo que visem uma melhor produção vegetal, associada à qualidade ambiental, vêm intensificando-se. Em relação a essas, a técnica de micorrização, isto é, a inoculação de fungos benéficos às raízes das plantas, vem ganhando grande destaque. Tal técnica promove a associação simbiótica entre ambos, de maneira que esses microrganismos contribuem para com o aumento da extensão radicular através de suas hifas, permitindo, assim, uma maior absorção de água e nutrientes minerais pelas plantas, além de possuir um baixo custo (MIRANDA, 2008).

Entretanto, a maioria dos estudos acerca das micorrizas com *Jatropha curcas* L. ocorre com inóculos nativos, sem especificação da espécie utilizada, sugerindo uma inespecificidade dos fungos, o que compromete e restringe os resultados. Estudos têm mostrado a existência de uma compatibilidade e seletividade simbiótica diferenciadas, havendo uma preferência na associação fungo-planta, de modo que, uma determinada espécie promove um melhor crescimento em uma dada planta hospedeira, enquanto em outra pode ser retardado (KIERS et al. 2011; FOLLI-PEREIRA et al., 2012; ANUROOPA e BAGYARAJ, 2015).

Deste modo, em virtude da importância econômica e ecológica do pinhão manso, o presente trabalho objetivou avaliar o desenvolvimento morfofisiológico de mudas de *Jatropha curcas* L. inoculadas previamente a espécies de fungos micorrízicos arbusculares isoladamente: *Rhizophagus intraradices*, *Claroideoglossum etunicatum* e *Gigaspora albida*, submetidas a déficit hídrico. Espera-se que a produção de mudas de boa qualidade garanta melhor desenvolvimento da cultura, bem como o aumento à resistência a estresses e pragas, favorecendo, assim, seu cultivo em áreas marginais às principais culturas agrícolas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Cultura do Pinhão manso

O Pinhão manso, *Jatropha curcas* L., conhecido também como pinhão de purga, pinhão de cerca, pinhão paraguaio e purgueira, é um arbusto de grande porte pertencente à família Euphorbiaceae. Sua origem ainda é bastante divergente na literatura, havendo indícios de sua procedência da América do Sul, bem como do México e da América Central, sendo, posteriormente, disseminada nos continentes africano e asiático, e em menor frequência nas regiões temperadas. A espécie possui vasta distribuição geográfica, em razão de suas características favoráveis como rusticidade, adaptação a várias condições edafoclimáticas, a solos de baixa fertilidade ou degradados, além de tolerância à seca (OPENSHAW, 2000; EPAMIG, 2005; ALMEIDA, 2009).

O pinhão manso apresenta-se como uma cultura multiuso. É utilizado como cerca viva, uma vez que, os animais evitam tocá-lo devido ao látex caústico liberado das folhas extraídas. A espécie também contribui para a recuperação e manutenção da estrutura do solo, pelo fato de ser uma planta de grande porte, cuja decomposição das folhas e frutos, enriquece o solo, evitando a erosão do mesmo. Uma das características mais importantes refere-se às suas sementes, as quais possuem abundância de óleo, sendo este extraído e utilizado na fabricação de sabão artesanal, suprimento de energia em motores agrícolas, bem como para iluminação de casas rurais com lampiões. Ademais, quando armazenadas, as sementes podem permanecer viáveis por longos períodos, diferentemente das demais oleaginosas cujos frutos deterioram-se em poucos dias (OPENSHAW, 2000; EPAMIG, 2005; MAES et al., 2009; BEHERA, 2010).

Em virtude dessas características, a espécie vem sendo considerada uma alternativa promissora para a produção de biodiesel, pois produz no mínimo duas toneladas de óleo por hectare. A principal proposta é que a cultura seja utilizada nas propriedades rurais,

substituindo o diesel de petróleo no maquinário agrícola. Deste modo, o mesmo vem despertando interesses econômico e ecológico, por ser uma fonte de energia renovável e de baixo custo. Dentre as muitas oleaginosas pesquisadas no Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), a cultura de pinhão manso mostra-se uma opção viável para o setor energético, visto que, produz mesmo em condições desfavoráveis, como em regiões áridas e solos pobres. Isso permitiria que a produção de biodiesel ocorresse em áreas improdutivas, resguardando os solos férteis para a produção de alimentos. Entretanto, a espécie encontra-se ainda, em processo de domesticação, havendo a necessidade de estudos mais aprofundados que viabilizem sua produtividade (CARNIELLI, 2003; AQUINO, 2009; FINI, et al. 2013).

O pinhão manso possui crescimento rápido, medindo entre 2 e 3 metros e alcançando no máximo 5 metros de altura. Uma das principais vantagens da espécie é seu ciclo de vida longo, podendo produzir por cerca de 40 anos sem necessidade de replantio. As raízes são compostas por uma pivotante central e as secundárias. Suas folhas, quando novas, apresentam coloração vermelho-vinho, e ao crescerem tornam-se verdes. As flores são monoicas, apresentando na mesma planta flores masculinas e femininas. O fruto apresenta formato capsular ovoide, sendo trilocular e indeiscente. Sua coloração varia de verde, amarelo, castanho e na sua maturação, apresenta-se preto. Em relação às suas sementes, estas são relativamente grandes, com alto teor de óleo de aproximadamente 35%, cerca de 55% superior ao da mamona (ARRUDA et al., 2004; EPAMIG, 2005; DANGE, 2006; ALMEIDA, 2009; MAES et al., 2009).

A propagação da espécie dá-se por meio de sementes ou estacas. Os indivíduos gerados de sementes apresentam-se mais resistentes, produtivos e com maior longevidade, em torno de 30 a 50 anos. Entretanto, nas mudas sexuadas o crescimento é mais lento e a produção de sementes inicia-se após quatro anos. Na propagação assexuada as plantas possuem o período reprodutivo mais rápido, em torno de dois anos. Entretanto, sua produtividade é menor em virtude dessas plantas serem menos resistentes e por apresentarem tempo de vida mais curto (ARRUDA et al., 2004; ALMEIDA, 2009; MOREIRA, 2013).

Com alta pluviosidade, a cultura chega a florescer até duas vezes por ano. Já no período de seca, a planta entra em repouso vegetativo e perde muitas folhas, mantendo-se da água armazenada nos caules, posteriormente, os frutos surgem no início da estação chuvosa. O pinhão manso é comumente citado como resistente a condições desfavoráveis como estação seca e solos de baixa fertilidade, porém, sob estas condições, ocorre uma redução na produção, havendo a necessidade de técnicas agrícolas que melhor viabilizem sua produção sob essas condições (OPENSHAW, 2000; ARRUDA et al., 2004; SATURNINO et al., 2005).

2.2 Plantas Oleaginosas e Biocombustível

No Brasil, o uso intenso de combustíveis fósseis nos motores a combustão deu-se no início do século XX, em virtude da disponibilidade de petróleo, bem como de seu reduzido custo para refinação do óleo. Entretanto, o progressivo consumo do petróleo, bem como seu caráter não renovável, contribuiu para com o aumento do preço e redução na sua disponibilidade, sendo necessária a busca por fontes energéticas alternativas e renováveis: os biocombustíveis. Deste modo, a busca por combustíveis de origem renovável, provenientes de produtos agrícolas em especial plantas oleaginosas, vem intensificando-se cada vez mais (MA & HANNA, 1999; NASS; PEREIRA; ELLIS, 2007; MARTINS, 2014).

Os biocombustíveis são originados a partir de fontes biológicas, isto é, renováveis, como lenha, carvão vegetal, estrume animal, biogás, biomassa microbiana, resíduos agrícolas e derivados, culturas energéticas entre outros. Dentre os biocombustíveis, vem se destacando o biodiesel, um combustível diesel alternativo proveniente de diversas fontes biológicas renováveis como sementes de oleaginosas tais como a mamona, dendê, soja, girassol, pinhão manso, bem como de gorduras de origem animal. A adição do biodiesel ao diesel promoveu uma atenuação nas importações deste derivado do petróleo, contribuindo também para com o desenvolvimento da agricultura familiar, uma vez que, possibilitou a participação de pequenos produtores na produção de culturas para obtenção do biodiesel. Além disso, a utilização do biodiesel promove uma redução na emissão de gases de efeito estufa. Ademais, a produção do biodiesel não compete por áreas produtivas destinadas à culturas de alimentos, visto que, busca-se por culturas pouco exigentes, como o pinhão manso, de modo que, possa ocupar as regiões improdutivas, inadequadas para produção de alimentos (MA & HANNA, 1999; MARTINS, 2014).

2.3 Caracterização Fisiológica de Plantas sob Estresse Hídrico

A água é o recurso mais abundante, bem como o mais limitante para a produtividade vegetal. O estresse hídrico é definido como um fator externo o qual atua sobre as plantas de maneira desvantajosa, sendo o mesmo causado pela escassez ou pelo excesso de água. Por conseguinte, a produtividade das plantas está diretamente relacionada com a disponibilidade hídrica, sendo determinante para a distribuição das espécies vegetais. Em função disso, muitas espécies têm desenvolvido uma série de adaptações morfofisiológicas, bioquímicas e moleculares necessárias a sua sobrevivência em meio a essa escassez de água (DIAZ-LÓPEZ et al., 2012; TAIZ; ZEIGER, 2013).

A tolerância à seca é um dos mecanismos de resistência ao déficit hídrico o qual permite à planta manter seu metabolismo mesmo com potencial hídrico de seus tecidos reduzido. Esse mecanismo resulta geralmente em modificações nas plantas tais como mudanças nos processos morfofisiológicos e metabólicos. Em consequência disso ocorre redução do acúmulo de massa, crescimento das plantas, dimensão e número de folhas, além de diminuição do crescimento do caule (VELLINI et al., 2008; PINCELLI, 2010; TAIZ; ZEIGER, 2013).

A área foliar também é uma variável sensível às condições hídricas do solo. Sua redução permite uma diminuição da transpiração evitando, assim, a perda de água. Ademais, o estresse por déficit hídrico ocasiona redução nos processos fisiológicos como transpiração, fotossíntese e condutância estomática (GONÇALVES et al., 2010; TAIZ; ZEIGER 2013).

A fotossíntese é particularmente sensível à deficiência hídrica, visto que, a fim de conservar água no interior da planta, ocorre o fechamento estomático, que afeta a assimilação do carbono atmosférico e conseqüente fixação pela enzima ribulose 1,5 bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco), ocorrendo, conseqüentemente, a diminuição da fotossíntese e da produtividade (LAWLOR; TEZARA, 2009; GALMÉS et al., 2011; TAIZ; ZEIGER 2013).

O estresse por déficit hídrico também ocasiona redução das clorofilas, essenciais ao processo fotossintético, cuja função é a captação da energia luminosa através dos complexos coletores de luz para os centros de reações fotoquímicas. As análises do teor estimado de clorofila nos permite avaliar a integridade dos aparatos internos das células em meio ao processo fotossintético, sendo esperado que plantas que mantêm maiores conteúdos de pigmentos fotossintéticos, sob condições hídricas reduzidas, possuem maior capacidade de tolerar tal condição (O'NEILL; SHANAHAN; SCHEPERS, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2013).

A análise da fluorescência da clorofila é utilizada na compreensão dos mecanismos fotossintéticos alterados por estresses abióticos, a qual indica se a energia absorvida pelas clorofilas está sendo utilizada pelo fotossistema II, avaliando o desempenho fotossintético. Sendo assim, a redução de F_v/F_m é um indicador de fotoinibição quando as plantas estão submetidas a qualquer tipo de estresse, podendo representar uma regulação protetora reversível ou uma inativação irreversível do PSII. Sob condições de déficit hídrico a capacidade fotossintética é reduzida, e em consequência disso menores quantidades de energia luminosa são aproveitadas para a produção de energia química, ocorrendo, portanto, um aumento da suscetibilidade à fotoinibição, a qual é caracterizada por reduções no

rendimento quântico do fotossistema II (MAXWELL; JOHNSON, 2000; SILVA et al., 2007; OUKARROUM et al., 2007; SALES et al., 2013).

Deste modo, em virtude das consequências geradas pelo déficit hídrico, técnicas de manejo vêm sendo estudadas a fim de contribuir para com a produção vegetal em áreas adversas. Dentre as quais, vem se destacando a técnica de micorrização, a qual se baseia na associação de fungos micorrízicos às raízes das plantas, permitindo uma maior capacidade de obtenção de nutrientes e água. Sendo, portanto, uma das formas de implementar a qualidade das mudas, a associação destas aos fungos micorrízicos arbusculares (MIRANDA, 2008).

2.4 Micorrizas e Fungos Micorrízicos Arbusculares

As micorrizas são estruturas formadas de associações mutualísticas, entre fungos e raízes das plantas. O termo micorriza fora proposto, em 1885, por Albert Bernard Frank, originado do grego, em que “mico” designa fungo e “riza” raiz. Essa relação surgiu há milhões de anos, no entanto, apenas no século XIX estudos científicos foram publicados, relatando-a detalhadamente. A associação micorrízica promove um aumento da superfície de absorção das raízes de plantas, proporcionado pela expansão das hifas do fungo, concedendo uma ampliação na capacidade de obtenção de água e nutrientes, especialmente fósforo. As hifas apresentam-se mais eficientes na absorção que as raízes, uma vez que, são mais longas e finas, permitindo-lhes explorar volumes do solo, cujos pelos radiculares não alcançam (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006; SOUZA et al 2006; MIRANDA, 2008).

Os fungos micorrízicos são simbioses obrigatórios, isto é, eles dependem do hospedeiro para sobreviverem. Essa associação é ao mesmo tempo simbiótica e mutualista, uma vez que a simbiose ocorre pelo fato de ambos existirem em um mesmo ambiente físico, a raiz e solo, bem como é mutualista visto que os organismos se beneficiam da associação, onde o fungo supre a planta com nutrientes absorvidos da solução do solo, enquanto as plantas disponibiliza-lhes os fotoassimilados (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006; POUYU-ROJAS, 2006)

Os fungos micorrízicos são classificados em três principais grupos: ectomicorrizas, endomicorrizas e ectoendomicorrizas. As ectomicorrizas desenvolvem-se na superfície externa da raiz da planta hospedeira e nos espaços intercelulares. Além disso, o fungo forma um manto externo, promovendo alterações morfológicas visíveis nas raízes laterais. Já as endomicorrizas se desenvolvem intracelularmente, no córtex das raízes laterais, não havendo alterações morfológicas visíveis, nem formação do manto. Por fim, as ectoendomicorrizas apresentam características de ambos os grupos (SOUZA et al., 2006; MIRANDA, 2008).

Os FMAs caracterizam-se como endomicorrizas, distinguindo-se dos outros grupos devido à presença de arbúsculos e vesículas. Esses microrganismos desenvolvem-se no interior da raiz, formando as hifas internas, e dentro destas formam-se estruturas como arbúsculos e vesículas, as quais têm função de transferência e armazenamento de nutrientes (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006; MIRANDA, 2008).

Os FMAs são pertencentes ao filo Glomeromycota, sendo os mais distribuídos geograficamente e encontrados naturalmente em quase todos os solos do mundo. Eles colonizam a maioria das espécies vegetais implementando a nutrição das plantas. Em razão disso, vêm despertando o interesse econômico de muitos empreendedores que os consideram verdadeiros adubos verdes (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006; MIRANDA, 2008).

2.4.1 Associação e Dependência Micorrízica

A associação desenvolve-se inicialmente através do reconhecimento mútuo entre o fungo e a planta através de sinais químicos. As raízes liberam moléculas que estimulam a expansão das hifas, enquanto os fungos liberam sinais que induzem a simbiose na planta. Isto é, há uma troca de sinais e respostas bioquímicas, de maneira que ocorre a secreção de líquidos orgânicos, os exsudatos, os quais estimulam a germinação dos esporos e a ramificação das hifas ao encontro das raízes. A partir do contato das hifas com as raízes ocorre o processo de colonização, onde as hifas passam entre as células epidérmicas, ramificando-se dentro das células do córtex, de modo a formar os arbúsculos e as vesículas, os quais promovem a transferência e o armazenamento dos nutrientes. Logo, através do surgimento das hifas, vesículas e arbúsculos, constata-se a compatibilidade entre as espécies e a ocorrência da simbiose (PEREIRA et al., 2012; KIRIACHEK, 2009; CAVALCANTE et al., 2013).

A dependência micorrízica foi definida por Gerdeman (1975) como “O grau no qual a planta depende do parceiro fúngico para obter seu melhor crescimento ou produção a dado nível de fertilidade do solo”. Como forma de quantificar a eficiência da associação entre FMAs e plantas, estabeleceu-se este índice, o qual é obtido através da razão entre a diferença do peso seco de plantas inoculadas e não inoculadas, pelo peso seco de plantas inoculadas expresso em porcentagem. Os percentuais representam o grau de dependência da planta pelo fungo, onde >75% = dependência muito alta; 51%-75%= dependência alta; 26%-50%= dependência média e 0% dependência nula (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006; MIRANDA, 2008).

A DM é uma particularidade da planta, a qual varia devido ao estado fisiológico, capacidade de absorção de nutrientes, bem como exigência nutricional do vegetal não micorrizado e a espécie do fungo. A DM pode variar entre espécies, bem como entre cultivares de uma mesma espécie. As plantas são classificadas em três grupos, quanto a DM: facultativas, obrigatórias e não micorrizadas. As espécies facultativas beneficiam-se da simbiose em situações de baixa fertilidade do solo, estresse ou ataque de pragas, quando nenhum desses fatores ocorre, a associação é inibida pelas plantas. As obrigatórias não conseguem se desenvolver na ausência dos fungos, mesmo em solos ricos em nutrientes. Já as não micorrizadas não se associam com os FMAs, provavelmente em razão de seu sistema radicular bem desenvolvido, apresentando grande quantidade de raízes finas e pelos radiculares (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006; MELLO; SAGGIN JÚNIOR; SILVA, 2012).

2.4.2 Associação dos FMAs com Pinhão Manso e Estresse Hídrico

O pinhão manso é caracterizado como uma espécie facultativa, apresentando baixo percentual de Dependência Micorrízica, em torno de 13%. Ademais, quando submetido a situações de estresses fisiológicos sua DM aumenta, alcançando aproximadamente 82%, isto é, uma DM muito alta (KUMAR; SHARMA; MISHRA, 2010).

A maioria dos estudos de micorrizas com *Jatropha curcas* L. são com inóculos nativos, sem especificação da espécie utilizada. Até o presente momento, existem relatos efetivos da associação do pinhão manso com as seguintes espécies insoladas: *Glomus clarum*, *Rhizophagus intraradices*, *Scutellospora calospora*, *Gigaspora margarita*, *Acaulospora morrowiae*. A primeira é a mais utilizada e a associação bem caracterizada. (CARVALHO, 2008; AQUINO, 2009; KUMAR; SHARMA; MISHRA, 2010).

Os FMAs aumentam significativamente a produtividade das plantas de pinhão manso, tornam as mudas mais robustas, bem como proporcionam maior resistência a pragas e a condições de estresse hídrico. A simbiose se estabelece mais facilmente quando o inóculo é associado às sementes no momento do plantio. Os fungos micorrízicos promovem a amenização dos efeitos dos estresses abióticos, em especial o estresse por déficit hídrico, resultando em plantas com maior densidade de raízes, permitindo, assim, uma maior área de contato com o solo, favorecendo a absorção de água mesmo nos períodos de seca. Além disso, as plantas micorrizadas sob condições de deficiência apresentam maior conteúdo de fósforo, potássio, bem como nas concentrações de solutos orgânicos, estimulando, assim, o

crescimento vegetal mesmo sob estas condições (CAVALCANTE et al., 2001; AQUINO, 2009).

Portanto, sabendo-se que a resposta à inoculação de FMAs é variável em cada situação, são necessários estudos acerca da associação e dependência micorrízica de *Jatropha curcas* L. para espécies isoladas. Este conhecimento permite um parâmetro seguro de comparação, permitindo identificar os fungos mais recomendados para a cultura.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do Ambiente Experimental

O presente experimento foi conduzido em ambiente protegido, casa de vegetação, sob as coordenadas 09° 28'02" S; 35° 49'43" W, 127m de altitude, no período de fevereiro a maio de 2017. Durante todo o período experimental, as condições ambientais foram monitoradas por meio de uma estação meteorológica automática modelo WS - GP1 (Delta-T Devices Ltd, England), localizada dentro da casa de vegetação, onde foram registradas a temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) a cada cinco minutos, bem como a radiação solar ($W \cdot m^{-2}$) em intervalos de 15 segundos, e as médias armazenadas a cada 15 minutos (Figura1). De acordo com os dados de temperatura e umidade, obteve-se o DPV (Déficit de Pressão de Vapor) do ar (kPa), por meio da seguinte fórmula:

$$DPV = es - e = \left[0,6108 \exp \left(\frac{17,27T}{237,3 + T} \right) \right] - \left(\frac{es - UR}{100} \right)$$

Onde:

es = Pressão de vapor saturado T = Temperatura
e = Pressão de vapor do ar UR = Umidade relativa

3.2 Delineamento Experimental

Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x4, correspondendo a duas condições hídricas, controle e déficit hídrico, e três espécies de micorrizas: (M1)= *G. albida*, (M2)= *R. intraradices*, (M3)= *C. etunicatum*, e um tratamento controle: (M0)= ausência de micorrizas, com sete repetições por tratamento, totalizando 56 parcelas (vasos).

3.3 Preparo do Solo

No experimento foi utilizado um solo Argilo-Arenoso (Tabela 1), coletado na área adjacente ao CECA, o qual foi autoclavado durante 2 horas, a 121°C 1 atm, para

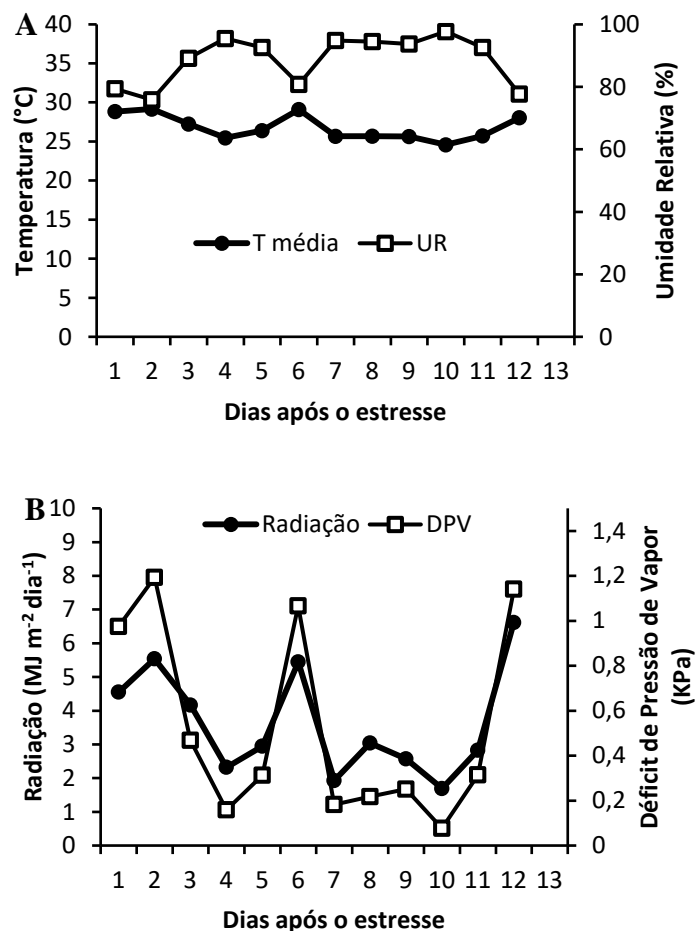
desinfestação. Aproximadamente 20 kg de solo foram condicionados em vasos de 20 L. A umidade do solo dos vasos foi monitorada, por meio de um sensor de umidade modelo SM-200, em cada vaso durante todo experimento (Figura 2).

Tabela 1 – Propriedades físico-químicas do solo utilizado no experimento.

| Características Químicas | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------|---|------|--------|------|------|------------------------|----|--------------------------------|------|-----|-----|-----|
| pH | MO | P | Al ³⁺ | H+Al | K | Ca | Mg | CTC | Na | V | B | Cu | Fe | Mn | Zn |
| CaCl ₂ | g dm ⁻³ | resina mg dm ⁻³ | | -----cmol _c dm ⁻³ ----- | | | | | | % | -----mg dm ⁻³ ----- | | | | |
| 4,6 | 27,5 | 26,5 | --- | 4,0 | 0,85 | 1,65 | 1,05 | 7,55 | 0,35 | 47 | 0,27 | 0,25 | 100 | 1,3 | 0,5 |
| Características Físicas | | | | | | | | | | | | | | | |
| Areia total | | | Argila | | | Silite | | | Classificação textural | | | | | | |
| ----- | | | g Kg ⁻¹ ----- | | | ----- | | | Areno argiloso | | | | | | |
| 599 | | | 368 | | | 33 | | | | | | | | | |

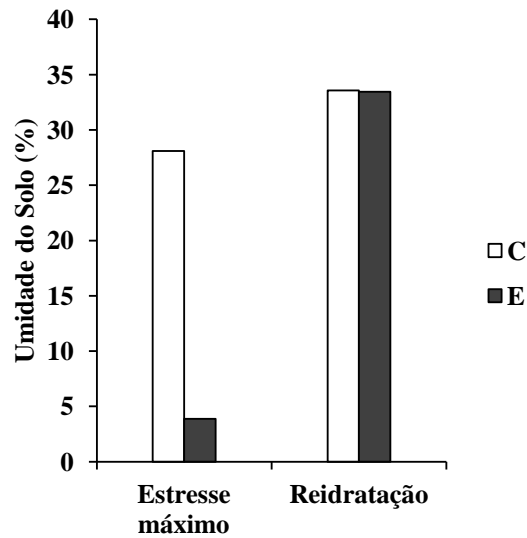
pH: potencial hidrogeniônico; MO: matéria orgânica; P: fósforo; Al³⁺: alumínio trocável; H: hidrogênio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; CTC: capacidade de troca catiônica; Na: sódio; V: saturação por bases; B: boro; Cu: cobre; Fe: ferro; Mn: manganês; Zn: zinco.

Figura 1 – Temperatura e umidade relativa do ar (A), radiação solar e déficit de pressão de vapor (DPV) (B), registrados dentro da casa de vegetação durante o período de supressão hídrica.



Fonte: Autora, 2018.

Figura 2 – Umidade no solo durante o período de estresse máximo e reidratação.



3.4 Inoculação de Fungos Micorrízicos em Mudras de *Jatropha curcas* L.

As sementes de *J. curcas* foram coletadas de uma área de cultivo de pinhão manso (09°28'02''S; 35°49'43''W), e em seguida desinfetadas com uma solução de hipoclorito de sódio a 2,5% por quatro minutos, visando eliminar qualquer microrganismo presente na superfície das sementes. Em seguida, o material foi lavado com água destilada por três vezes, de modo a eliminar todo o resíduo de hipoclorito.

Os inóculos das três espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) foram obtidos através da Coleção Internacional de Cultura de Glomeromycota – CICG, da Universidade Regional de Blumenau (FURB), Blumenau, SC. O material consistiu de raízes de sorgo colonizadas pelas espécies isoladas: *R.intraradices* SPL301A (Schenck & Smith) Walker & Schüßler, *G. albida* SCT200A (Schenck & Smith) e *C. etunicatum* SCT080B (Becker & Gerd) Walker & Schüßler. Foram plantadas três sementes por vaso, onde se depositaram cerca de seis gramas de inóculo micorrízico, 5 centímetros abaixo das sementes, e em seguida irrigou-se próximo a capacidade de campo, sendo a mesma executada a cada 2 dias. Aos vinte dias após semeadura realizou-se o desbaste, permanecendo uma planta por vaso. A imposição do estresse hídrico foi realizada através da suspensão total da irrigação até observado taxas fotossintéticas inferiores a $2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 10 dias após a suspensão da irrigação, sendo em seguida reidratadas durante três dias e novamente avaliadas.

3.5 Avaliações Biométricas

Foram mensurados o número de folhas, diâmetro do caule e a altura aos 30, 60 e 90 dias após o plantio (DAP). Aos 104 DPA, as plantas foram coletadas e realizou-se a separação da raiz, caule e folhas. A medição da área foliar foi feita por um integrador de área foliar LI-3100C (LICOR, USA). Em seguida, o material vegetal foi colocado em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até atingir peso constante para obtenção da massa seca de raiz, caule e folhas.

3.6 Avaliações Fisiológicas

Após 100 DAP, dez dias após suspensão da irrigação, foram analisadas as trocas gasosas, índice SPAD, eficiência fotoquímica do PSII e eficiência quântica efetiva do PSII (Φ PSII), utilizando-se como padrão a quarta folha expandida, a partir do ápice da planta. Em seguida, as plantas foram irrigadas durante três dias e realizaram-se as análises de reidratação.

As seguintes medidas de trocas gasosas foram avaliadas: condutância estomática (gs), transpiração (E) e fotossíntese líquida (A) com auxílio de um analisador de gases a infravermelho Li-6400XT (Licor, EUA) entre 9:00 e 10:00 da manhã. As medidas de índice SPAD foram mensuradas por meio de um clorofilômetro portátil modelo SPAD502, na quarta folha expandida, obtendo-se as médias provenientes de três leituras aleatórias.

A eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II (PSII), isto é, (Fv/Fm) foi mensurada as 4:30 min da manhã e entre as 12:00 e 13:00 horas da tarde, através de um fluorômetro portátil (PAM 2500, WALZ) de acordo com Maxwell; Johnson (2000). As plantas foram adaptadas ao escuro cerca de trinta minutos através de cliques próprios para análise inseridos no limbo das folhas. Além disso, as análises de eficiência quântica efetiva do PSII (Φ PSII) foram realizadas em seguida, no horário de 10h00min, seguindo os procedimentos de Schreiber et al. (1994).

3.7 Dependência Micorrízica em Mudas de Pinhão Manso

A dependência micorrízica da espécie de *Jatropha curcas* L. foi mensurada utilizando-se a seguinte fórmula, de acordo com Miranda (2008).

$$DM = \frac{\text{Peso seco de plantas inoculadas} - \text{Peso seco de plantas não inocul}}{\text{Peso seco de plantas inoculadas}} \times 100$$

3.8 Análises Estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade pelo teste F, sendo as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey. Para as análises foi utilizado o programa estatístico SISVAR.

4. RESULTADOS

4.1 Avaliações Biométricas

Inicialmente, aos 30 dias após colheita, não foram verificadas diferenças morfológicas, as quais só ocorreram a partir dos 60 DAP. Essas diferenças aumentaram à medida que as plantas foram se desenvolvendo (Figura 3). A inoculação de *J. curcas* com micorrizas alterou a morfologia das plantas (Tabela 2).

As plantas inoculadas com a micorriza *C. etunicatum* apresentaram maior altura 62,76% que as não inoculadas (Figura 3A). Além disso, essas plantas tiveram maior diâmetro do coleto e número de folhas de aproximadamente 38,81% e 215,60%, em relação às plantas controle, respectivamente (Figura 3B e 3C).

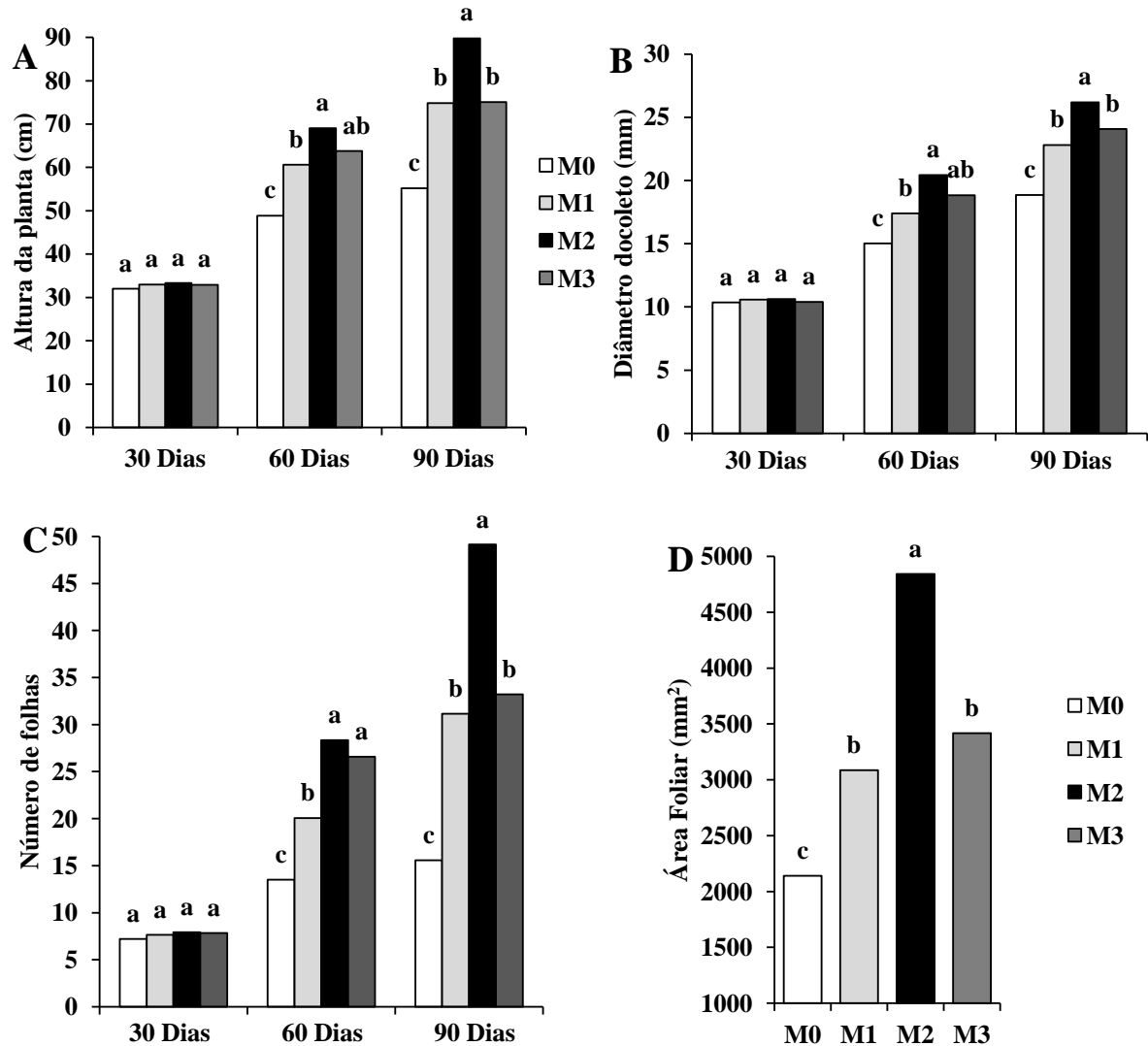
Pôde-se verificar, ainda, aumento da área foliar de 126,12% em plantas inoculadas com *C. etunicatum* em relação às não inoculadas (Figura 3D), sendo maior que a inoculação com as micorrizas *R.intraradices* e *G. albida*, as quais também tiveram efeito sobre a área foliar, apresentando aumento de 59,63% e 44,11% respectivamente, quando comparadas ao controle (Figura 3D).

Tabela 2- Resumo da análise de variância dos parâmetros morfológicos de plantas de *Jatropha curcas* L. inoculadas e não inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares.

| FV | F calculado | | | | | | | |
|------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
| | ALT | NF | DC | AF | MSR | MSC | MSF | MST |
| Micorrizas | 51,77** | 84,60** | 44,13** | 64,80** | 49,72** | 28,26** | 103,52** | 64,80** |

FV: Fontes de variação; MSR – massa seca raiz; MSC – massa seca caule; MSF- massa seca folhas; MST – massa seca total. ALT – altura; NF- número de folhas; DC – diâmetro do coleto; AF – área foliar. ns: não significativo e **significativo a $p < 0,01$, respectivamente.

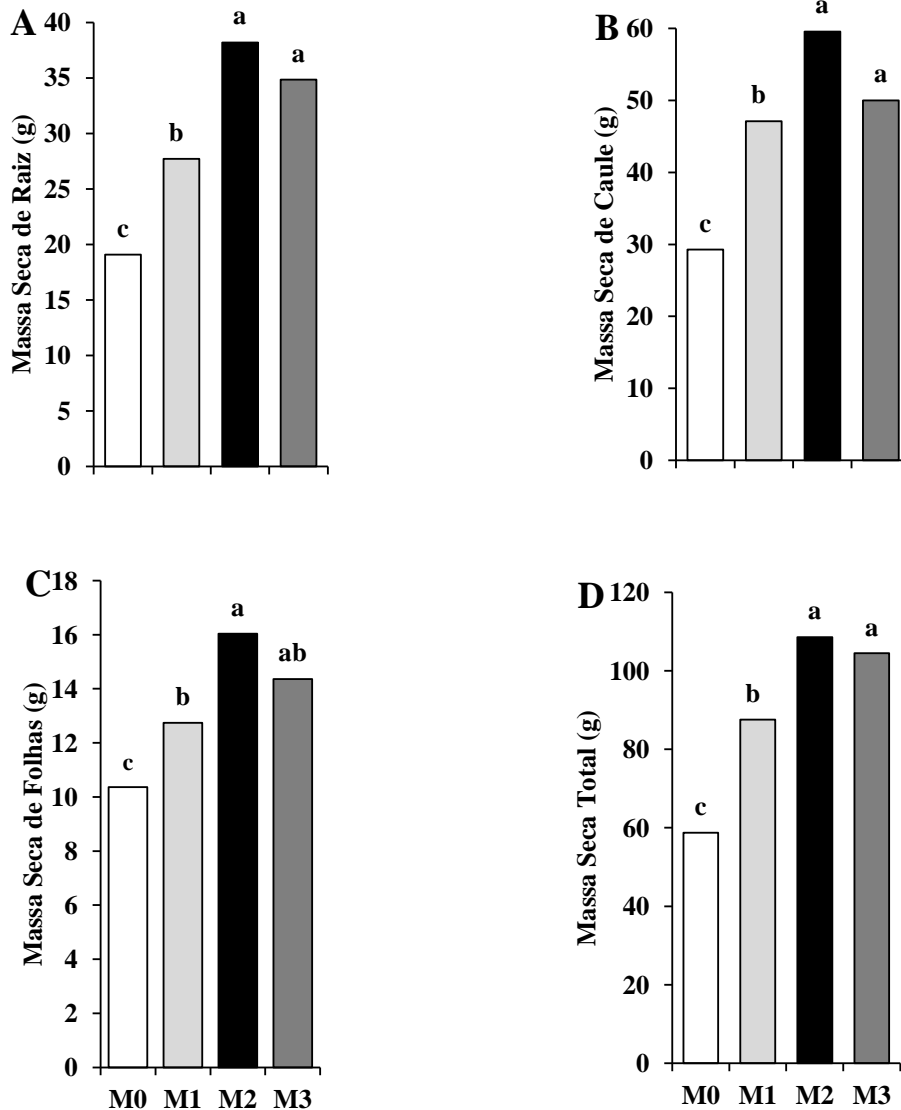
Figura 3 – Altura (A), diâmetro do coleto (B) número de Folhas (C) e área foliar (D), de plantas de *Jatropha curcas* L. inoculadas com FMAs. Onde (M0) não inoculado, (M1) *Gigáspora albida*, (M2) *Claroideoglo mus etunicatum* e (M3) *Rhizophagus intraradices*.



Diferentes letras minúsculas, dentro de cada data avaliada, indicam diferença significativa entre tratamentos micorrízicos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Todas as micorrizas obtiveram efeito positivo sobre a massa seca do pinhão manso. Plantas inoculadas com as micorrizas *C. etunicatum*, *R. intraradices* e *G. albida* apresentaram um aumento de 100,1%, 82,5% e 45,20 % de massa seca da raiz, bem como de 103,45%, 70,75% e 60,91% de massa seca de caule, respectivamente, em relação ao controle (Figura 4A e B). Comportamento semelhante foi observado em massa seca de folhas com taxas de aproximadamente 54,82%, 38,61% e 22,97%, e massa seca total com 84,89%, 77,86% e 49,12%, respectivamente, quando comparadas às plantas não inoculadas (Figura 4C e D).

Figura 4 – Massa seca de raiz (A), de caule (B), de folhas (C) e massa seca total de plantas de *Jatropha curcas* L. inoculadas com FMAs onde (M0) não inoculado, (M1) *Gigáspora albida*, (M2) *Claroideoglossum etunicatum* e (M3) *Rhizophagus intraradices*.



Diferentes letras minúsculas indicam diferença significativa entre tratamentos micorrízicos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.2 Avaliações Fisiológicas

Tanto a inoculação com fungos micorrízicos como a suspensão da irrigação causaram alterações na condutância estomática, transpiração, fotossíntese e índice SPAD em plantas sob estresse hídrico e reidratação (Tabela 3). Além disso, houve interação entre os dois tratamentos sobre a atividade fotossintética quando as plantas estavam sob estresse.

Em relação à eficiência fotoquímica máxima do PSII (Fv/Fm), bem como à eficiência quântica efetiva do PSII (Φ PSII), ambas não foram afetadas pela supressão hídrica em plantas não inoculadas e inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares (Tabela 3).

Tabela 3- Resumo da análise de variância dos parâmetros fisiológicos de plantas de *Jatropha curcas* L. inoculadas e não inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares.

Estresse Hídrico

| FV | F calculado | | | | 4:30h | 12:00h | Φ PSII |
|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| | gs | E | A | SPAD | Fv/Fm | Fv/Fm | |
| Micorrizas | 6,29** | 17,64** | 22,41** | 17,73** | 0,85 ^{ns} | 0,13 ^{ns} | 0,006 ^{ns} |
| Estresse | 4,25* | 8,20** | 5018,05** | 15,08** | 0,37 ^{ns} | 0,51 ^{ns} | 3,04 ^{ns} |
| (M x E) | 2,44 ^{ns} | 1,96 ^{ns} | 3,46* | 0,09 ^{ns} | 1,037 ^{ns} | 0,20 ^{ns} | 0,41 ^{ns} |
| Reidratação | gs | E | A | SPAD | Fv/Fm | Fv/Fm | Φ PSII |
| Micorrizas | 8,5** | 8,52** | 15,41** | 8,18** | 1,33 ^{ns} | 0,05 ^{ns} | 0,30 ^{ns} |
| Estresse | 14,49** | 4,25* | 8,42** | 8,74** | 0,36 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | 3,01 ^{ns} |
| (M x E) | 0,10 ^{ns} | 0,26 ^{ns} | 1,38 ^{ns} | 0,78 ^{ns} | 2,15 ^{ns} | 0,40 ^{ns} | 0,89 ^{ns} |

FV: Fontes de variação; gs – condutância estomática; E - transpiração; A - fotossíntese líquida; SPAD – conteúdo estimado de clorofila; Fv/Fm - eficiência quântica máxima do PSII; Φ PSII - rendimento efetivo do PSII. ns: não significativo; * e **significativo a $p < 0,05$ e $0,01$, respectivamente.

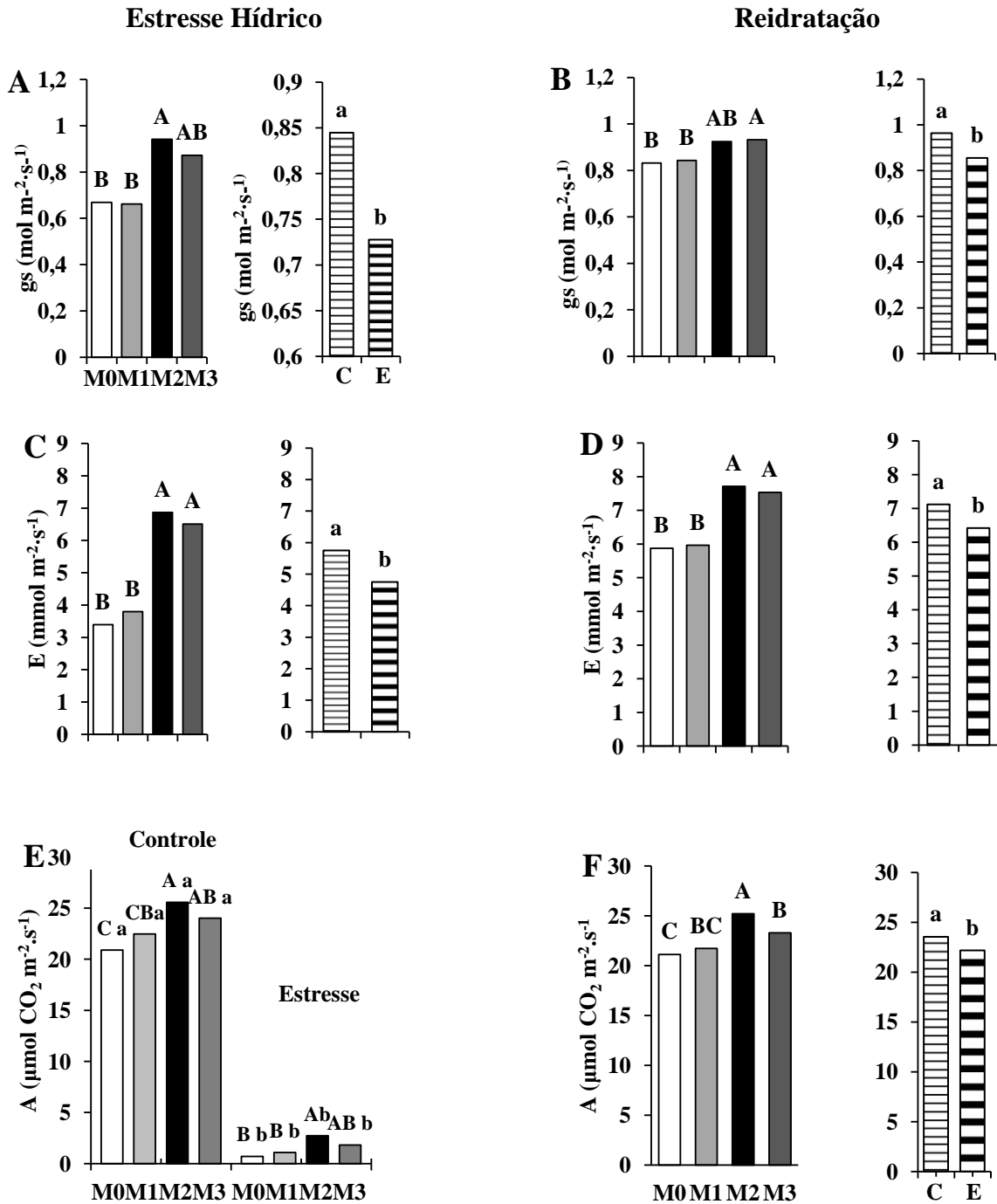
O estresse hídrico afetou todos os parâmetros de trocas gasosas das folhas de *J. curcas* (Figura 5A, C e E). Esse efeito se manteve em plantas reidratadas, embora em escala menor (Figuras 5B, D e F).

Somente a *C. etunicatum* e *R. intraradices* mantiveram condutância estomática 78,51% e 64,07% maior em relação às plantas não inoculadas (Figura 5A). Esse comportamento se manteve em plantas reidratadas (Figura 5B).

Mudas de pinhão manso inoculadas com *C. etunicatum* e *R. intraradices* apresentaram taxas transpiratórias 197,51% e 196,97% maiores, respectivamente, em relação às plantas não inoculadas (Figura 5C). Após reidratação, ambas continuaram a apresentar maior transpiração que as não inoculadas em torno de 38,08% e 39,81%, respectivamente (Figura 5D).

Plantas inoculadas com *C. etunicatum* e *R. intraradices* mantiveram as taxas fotossintéticas 285,91% e 156,33% maiores sob estresse hídrico quando comparadas às plantas não inoculadas (Figura 5E). Após reidratação, as taxas fotossintéticas das mudas inoculadas com a espécie *C. etunicatum* apresentaram-se superiores em relação às plantas não inoculadas, em média de 24,35% (Figura 5F).

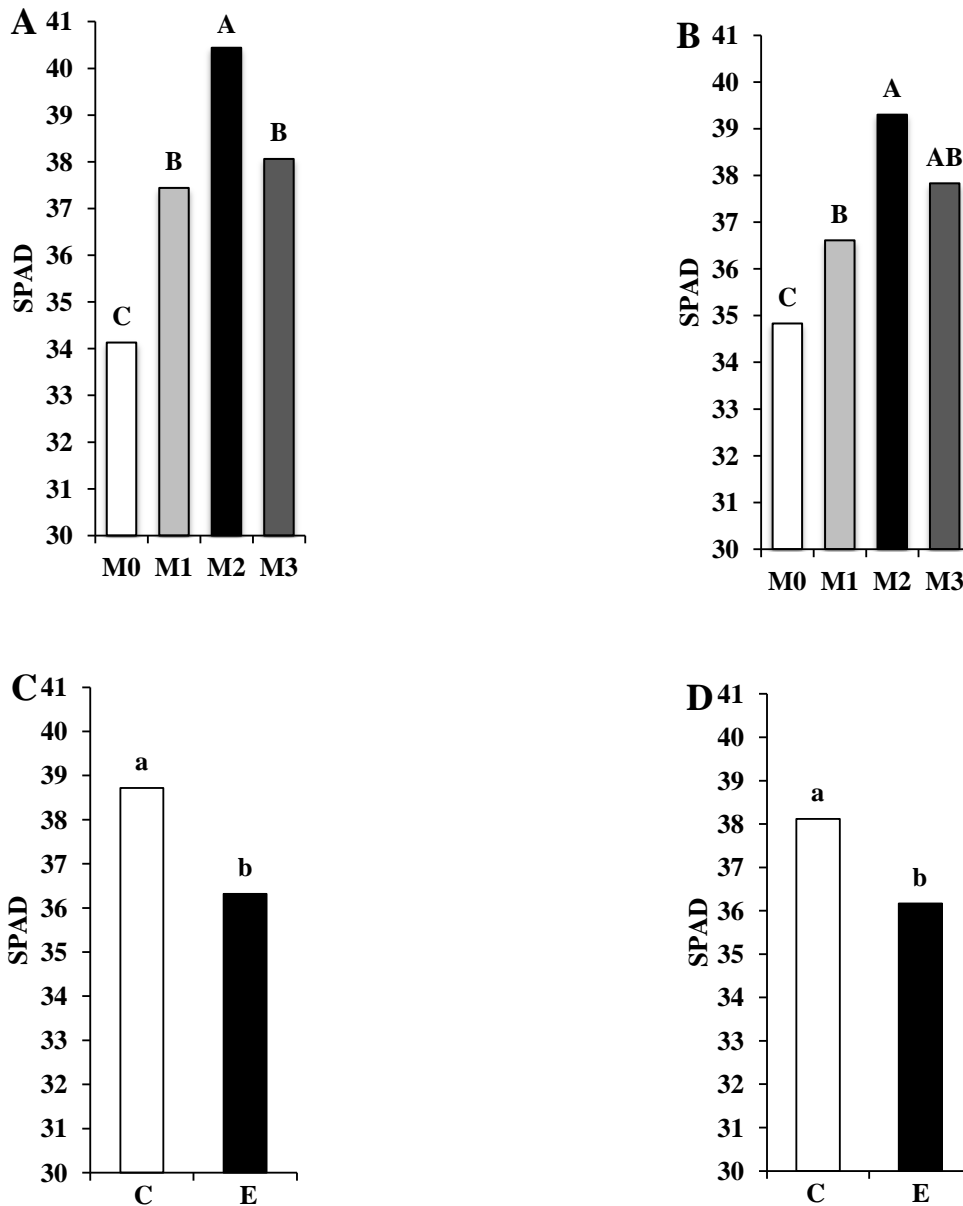
Figura 5- Condutância estomática -gs (A, B); transpiração -E (C, D); fotossíntese -A (E, F); em plantas de *J. curcas* inoculadas com FMAs onde (M0) não inoculado, (M1) *G. albida*, (M2) *C. etunicatum*, (M3) *R. intraradices* e tratamentos hídricos (C) Controle e (E) estresse.



Diferentes letras maiúsculas indicam diferença significativa entre micorrizas em cada tratamento hídrico. Diferentes letras minúsculas indicam diferença significativa entre tratamentos hídricos em cada micorriza pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Plantas inoculadas com *C. etunicatum* mantiveram índice SPAD maior 18,34% em relação às plantas não inoculadas (Figura 6A). Comportamento semelhante foi observado após reidratação, onde somente *C. etunicatum* manteve maior índice SPAD 18,63% quando comparadas às não inoculadas (Figura 6B). O estresse hídrico afetou o teor de clorofila das plantas de *J. curcas* (Figura 6C).

Figura 6 – Teor estimado de clorofila – SPAD em plantas de *Jatropha curcas* L. inoculadas com FMAs onde (A, C) estresse hídrico e (B, D) reidratação, (M0) não inoculado, (M1) *G. albida*, (M2) *C. etunicatum*, (M3) *R. intraradices* e tratamentos hídricos (C) Controle e (E) estresse.



Diferentes letras maiúsculas indicam diferença significativa entre micorrizas em cada tratamento hídrico. Diferentes letras minúsculas indicam diferença significativa entre tratamentos hídricos em micorrizas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.3 Dependência Micorrízica em Mudanças de *Jatropha curcas* L.

A dependência da associação micorrízica foi baixa nas plantas inoculadas com a espécie *G. albida*, e média para as plantas inoculadas com as espécies *C. etunicatum* e *R. intraradices* (Tabela 4).

Tabela 4 - Dependência micorrízica (DM) de mudas de *J. curcas* previamente inoculadas com FMAs e submetidas a déficit hídrico. Classificação segundo Miranda (2008).

| Tratamento | DM | Classificação |
|------------|--------|---------------|
| M1 | 18,68% | Baixa |
| M2 | 35,41% | Média |
| M3 | 27,85% | Média |

5. DISCUSSÃO

Os fungos micorrízicos arbusculares promovem às plantas maior crescimento e resistência à seca, permitindo uma melhor absorção e transferência de água e nutrientes através das suas hifas, o que contribui para o melhor desenvolvimento nas plantas hospedeiras (LEE et al., 2012; SHARMA et al., 2015). No presente estudo tais indícios puderam ser avaliados, onde se identificou alterações nas respostas das plantas de pinhão manso inoculadas com diferentes espécies de FMAs sob condições normais, bem como de deficiência hídrica.

A morfologia das mudas de pinhão manso foi influenciada pela presença dos fungos micorrízicos arbusculares. As plantas inoculadas com a espécie *C. etunicatum*, em condições hídricas normais, aumentaram, consideravelmente, sua altura, diâmetro do coleto, número de folhas e área foliar, o que sugere que as simbioses de fungos micorrízicos com plantas hospedeiras contribuíram com o desenvolvimento destas.

Resultados semelhantes foram encontrados por Ajala et al. (2016) os quais verificaram que a altura, diâmetro do coleto, número de folhas, massa seca total e massa seca de parte aérea de pinhão manso foram influenciadas, positivamente, pela inoculação de fungos micorrízicos. O mesmo ocorreu em outras espécies como o café, em que os FMAs influenciaram no crescimento das plantas, de modo que, foram observados maior altura, diâmetro do caule e número de folhas quando comparadas às não inoculadas (CARVALHO, 2014). As micorrizas proporcionam um aumento na absorção de água e nutrientes do solo pelas plantas por meio de suas hifas externas, as quais agem como extensões do sistema radicular, permitindo maior absorção desses, e conseqüentemente, resultando em plantas mais

nutridas e vigorosas (LOCATELLI, et al. 2002; MIRANDA, 2008). O mesmo pode ter acontecido com o pinhão manso.

Plantas inoculadas com a espécie *C. etunicatum* aumentaram a área foliar, o que sugere que a simbiose de FMAs com plantas de pinhão manso contribuiu com o desenvolvimento foliar. O mesmo ocorre em plantas de pornuncia, onde foi observado efeito da inoculação com a espécie *C. etunicatum* sobre a área foliar (NASCIMENTO et al., 2016). Estudos realizados em trigo, Saia et al. (2014) também observaram que plantas inoculadas apresentaram aumento da área foliar sob condições irrigadas. O aumento da área foliar sugere que houve maior eficiência na simbiose com a espécie *C. etunicatum* em raízes de pinhão manso. Segundo Gonzalez-Sanpedro et al., (2008) maiores áreas foliares permitem um aumento da capacidade da planta em aproveitar a energia luminosa, almejando, assim, à realização da fotossíntese, sendo, portanto, um meio de avaliar a produtividade das culturas.

A biomassa seca das mudas de pinhão manso também foi influenciada pela presença dos FMAs, de modo que, as plantas inoculadas com as espécies *C. etunicatum* e *R. intraradices* aumentaram de forma semelhante a sua massa seca de raiz, parte aérea e total.

Resultados semelhantes foram encontrados em mudas de jenipapeiro, nas quais houve maior incremento na biomassa seca da parte aérea nas plantas que receberam inóculo da espécie *C. etunicatum* em relação às não inoculadas (SOARES, 2012). Em mudas de café submetidas à inoculação Carvalho (2014) também relatou uma maior produção de matéria seca de folhas e raiz. O mesmo ocorreu em plantas de maracujazeiro-doce, cuja inoculação com fungos micorrízicos proporcionou maior incremento na biomassa seca de raiz e parte aérea (SILVA et al., 2009). O que pode ser uma evidência de que a associação simbiote com as raízes das plantas hospedeiras proporcionou uma maior absorção de nutrientes minerais e água.

Os FMAs possuem uma rede de micélios bastante desenvolvida que potencializa a forma e a distribuição das raízes no solo, promovendo uma ampliação da área de absorção, auxiliando, assim, no desenvolvimento da planta hospedeira, tornando-a mais ativa metabolicamente, de acordo com Locatelli, et al., 2002 e Zou et al., 2015), o que pode ter contribuído na manutenção da fotossíntese sob estresse hídrico.

No presente estudo, as mudas de pinhão-manso apresentaram redução na condutância estomática, transpiração e taxa fotossintética sob condições de deficiência hídrica. As plantas quando submetidas à déficit hídrico possuem como resposta imediata a esta condição o fechamento de seus estômatos visando, assim, à redução da perda de água pela transpiração (MACHADO et al., 2009; TAIZ & ZEIGER, 2013), entretanto, devido à relação existente

entre condutância estomática, a transpiração e a fotossíntese, essa resposta promove a diminuição do processo fotossintético ocasionada pela redução da entrada de CO₂ (ENDRES et al., 2010; SALES et al., 2012).

As plantas de pinhão manso inoculadas com as espécies *C. etunicatum* e *R. intraradices*, mantiveram taxas de condutância estomática e transpiração maiores em comparação com as não inoculadas, o que indica que essas plantas apresentaram maior controle estomático e eficiência do uso da água. O que sugere que a simbiose entre fungos micorrízicos e raízes de plantas hospedeiras pode ter contribuído com a maior absorção ou retenção de água na raiz. Bárzana et al. (2012) também encontraram resultados semelhantes em mudas de tomate, cuja condutância estomática foi maior em plantas inoculadas.

Estudos realizados em mudas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis Sims. f. flavicarpa Deg.*) inoculadas com FMAs, submetidas a estresse hídrico, mostraram que as plantas inoculadas com a espécie *G. etunicatum* mantiveram maior transpiração em relação às plantas inoculadas com *G. albida* (CAVALCANTE et al., 2001).

Mudas de *J. curcas* inoculadas com micorriza *C. etunicatum* e *R. intraradices*, sob condição de estresse hídrico, apresentaram menor diminuição da taxa fotossintética em comparação com as não inoculadas. Estudos realizados em cevada Khalvati et al. (2005), milho Zhu et al. (2012) e *Lolium perenne* L. Lee et al. (2012), os autores também observaram que plantas micorrizadas sob estresse hídrico apresentaram menor redução da fotossíntese em comparação com as não-micorrizadas. De acordo com Lawlor e Tezara (2009) o fechamento estomático quando associado a baixos potenciais hídricos reduz a eficiência da carboxilação na planta, causando a redução da fotossíntese. O que pode evidenciar que nesse estudo, as plantas de pinhão manso tratadas com fungos micorrízicos apresentaram influência na manutenção da atividade fotossintética sob deficiência hídrica, sugerindo que os estômatos das plantas inoculadas mantiveram-se mais abertos que das plantas não inoculadas, favorecendo, assim, a assimilação de CO₂ e fixação dele pela rubisco, e conseqüentemente, reduziram menos a fotossíntese.

As maiores taxas de clorofila estimada, índice SPAD, em mudas de pinhão manso, foram observadas em plantas inoculadas com a espécie *C. etunicatum*. O que pode ser um indicativo de que os fungos micorrízicos contribuíram no desempenho da planta hospedeira, causando a manutenção na síntese de clorofilas. A inoculação com FMAs também influenciou no teor de clorofilas, em mudas de abobrinha, de modo que plantas não inoculadas mantiveram teores de clorofila mais reduzidos (COLLA et al., 2008). De acordo a Torres

Netto et al. (2005) plantas com elevados valores de índice SPAD apresentam maior capacidade de manter a área foliar mais verde e de conservar os pigmentos fotossintéticos.

Mudas de *Jatropha curcas* L. inoculadas e não inoculadas não apresentaram variação na eficiência fotoquímica do fotossistema PSII, sob estresse hídrico, fato que pode ter ocorrido devido à radiação ter sido baixa no dia da avaliação (Figura 1B) o que deve ter contribuído com a menor absorção de luz na planta ou que o estresse hídrico não foi suficiente para causar danos no fotossistema II. Não observando dessa forma efeitos de plantas hospedeiras com fungos micorrízicos nessa variável. Por outro lado, outros estudos em diferentes culturas como *Populus* spp. Liu et al. (2015) e milho Zhu et al. (2012) observaram menores reduções na eficiência fotoquímica máxima do fotossistema PSII em plantas inoculadas sob estresse hídrico.

As plantas inoculadas com micorrizas *C. etunicatum* e *R. intraradices* obtiveram maior percentual de dependência micorrízica, o que sugere que essas espécies foram as que melhor associaram com as mudas de pinhão manso. Dessa maneira, percebemos que tanto *C. etunicatum* como *R. intraradices* apresentam maior compatibilidade com o pinhão manso, sendo indicadas para associação com a espécie. Isso complementa o que fora constatado por Schiavo et al. (2010), cujas mudas de pinhão manso apresentaram maiores índices de colonização radicular por *C. etunicatum* de até 90%, sugerindo alta dependência micorrízica para esta espécie.

6. CONCLUSÃO

Mudas de pinhão manso inoculadas com *C. etunicatum* apresentam maior crescimento comparadas às não inoculadas.

A inoculação das mudas de *J. curcas* com as espécies *C. etunicatum* e *R. intraradices* contribui no aumento de produção de massa seca da raiz e parte aérea.

As espécies *C. etunicatum* e *R. intraradices* associam-se melhor às mudas de pinhão manso, e reduzem mais os danos ocasionados pelo estresse hídrico, como a manutenção da fotossíntese, tornando-as mais tolerantes à seca.

As espécies *C. etunicatum* e *R. intraradices* apresentam dependência micorrízica média, enquanto *G. albida* apresenta baixa dependência micorrízica em mudas de pinhão manso.

REFERÊNCIAS

- ABDALLAH, N. A.; MOSES, V.; PRAKASH, C. S. The impact of possible climate changes on developing countries, *GM Crops & Food: Biotechnology in Agriculture and the Food Chain*, v. 5, n. 2, p.77-80, 2014.
- AJALA, M. C.; AQUINO, N. F.; HORBACH, M. A; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Efeito da inoculação com fma no crescimento inicial em mudas de pinhão manso de três procedências. *Scientia Agraria Paranaensis – Sci. Agrar*, v. 15, n. 1, p. 43-47, 2016.
- ALMEIDA, W. F. de. **Efeitos da salinidade sobre a germinação e o desenvolvimento inicial do pinhão manso (*Jatropha curcas L.*)**. 58f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.
- ANUROOPA, N.; BAGYARAJ, D. J. Influence of different am fungi on the growth, nutrition and withanolide concentration of withania somnifera. *Medicinal Plants-International Journal of Phytomedicines and Related Industries*, v. 7, n. 4, p. 272-276, 2015.
- AQUINO, N. F. de. **Crescimento inicial de três porcedencias de *Jatropha curcas L.* inoculadas com fungos micorrizicos**. 47f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2009.
- ARRUDA, F. P. BELTRÃO, N. E. M , ANDRADE, A. P.; PEREIRA, W. E.; SEVERINO, L. S.. Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas L.*) como alternativa para o semi-árido nordestino. *Revista brasileira de oleaginosas e fibrosas*, v. 8, n. 1, p. 789-799, 2004.
- BÁZANA, G.; AROCA, R.; PAZ, J. A.; CHAUMONT, F. MARTINEZ-BALLESTA M. C.; CARVAJAL, M.; RUIZ-LOZANO, J. M. Arbuscular mycorrhizal symbiosis increases relative apoplastic water flow in roots of the host plant under both well-watered and drought stress conditions. *Annals of Botany Company*. 109: 1009–1017, 2012.
- BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. *Nutrição Mineral de Plantas*, v. 8, p. 74-85, 2006.
- BEHERA, S. K.; SRIVASTAVA, P.; TRIPATHI, R.; SINGH, J. P.; SINGH, P. Evaluation of plant performance of *Jatropha curcas L.* under different agro-practices for optimizing biomass – A case study. *Biomass and bioenergy*, v. 34, p. 30-41, 2010.
- CAVALCANTE, U. M. T.; MAIA, L. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, V. F. Respostas fisiológicas em mudas de maracujazeiro amarelo (*passiflora edulis sims. f. flavicarpa deg.*) inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e submetidas a estresse hídrico. *Acta bot. bras.* 379-390, 2001.
- 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.
- CARVALHO, F. P. de. Implicações do uso de herbicidas em plantas de cafeeiro micorrizadas. 53f. **Tese** (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2014.

CARVALHO, M.H.C. de. Drought stress and reactive oxygen species. **Plant Signal Behav**, v. 3, p. 156-165, 2008.

CARNIELLI, F. **O combustível do futuro**. Boletim Informativo, Belo Horizonte, v. 29, n. 1413, 2003.

COLLA, G.; ROUPHAEL, Y.; CARDARELLI, M.; TULLIO, M.; RIVERA, C.M. & REA, E. Alleviation of salt stress by arbuscular mycorrhizal in zucchini plants grown at low and high phosphorus concentration. **Biol. Fert. Soils**, 44:501-509, 2008.

DANGE, V.; SUTHAR, D.; REDDY, P. S. Biodiesel through *Jatropha curcas*: a critical analysis. in: **Biodiesel Conference Towards Energy Independence–Focus on Jatropha**. 31-36. 2006.

DIAZ-LOPEZ, L. GIMENO, V. SIMON, I. GARCÍA-SÁNCHEZ, F. *Jatropha curcas* seedlings show a water conservation strategy under drought conditions based on decreasing leaf growth and stomatal conductance. **Agricultural water management**, v. 105, p. 48-56, 2012.

ENDRES, L.; SILVA, J. V.; FERREIRA, V. M.; BARBOSA, G. D. S. Photosynthesis and water relations in Brazilian sugarcane. **Open Agriculture Journal**, v. 4, n. 3, p. 31-37, 2010.

EPAMIG, Projeto Pinhão Manso. FINEP: relatório final relativo ao 1 período encerrado a 31 de março de 1985. **EPAMIG. Coletânea sobre pinhão manso na EPAMIG. Belo Horizonte**, 2005.

FINI, A.; BELLASIO, C.; POLLASTRI, S.; TATTINI, M.; FERRINI, F. Water relations, growth, and leaf gas exchange as affected by water stress in *Jatropha curcas*. **Journal of Arid Environments**, v.89, p.21-29, 2013.

FOLLI-PEREIRA, DA S. M.; MEIRA-HADDAD, L.; SOARES BAZZOLLI, D.; MEGUMI KASUYA, M. Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36 (6), 1663-1679, 2012.

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.

GONÇALVES, E.R. FERREIRA, V.M.; SILVA, J.V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T.P.; DUARTE, W.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.

GERDEMANN, J.W. Vesicular-arbuscular mycorrhiza. In: Torrey, J.G.; Clarkson, D.T. (Eds.). The development and function of root. New York: **Academic Press**, p.575-591, 1975.

GONZALEZ-SANPEDRO, M. C.; TOAN, T. LE; MORENO, J.; KERGOAT, L.; RUBIO, E. Seasonal variations of leaf area index of agricultural fields retrieved from Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.810-824, 2008.

HSIE, B. S.; MENDES, KEILA R.; ANTUNES, WERNER C.; ENDRES, L.; CAMPOS, MARIANA L. O.; SOUZA, FELIPE C.; SANTOS, NIVEA D.; SINGH, BAJRANG; ARRUDA, EMÍLIA C. P.; POMPELLI, MARCELO. F. *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) modulates stomatal traits in response to leaf-to-air vapor pressure deficit. **Biomass & Bioenergy**, v. 81, p. 273-281, 2015.

KHALVATI, M. A., HU, Y., MOZAFAR, A., & SCHMIDHALTER, U. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth, water relations, and gas exchange of barley subjected to drought stress. **Plant Biology**, 7(06), 706-712, 2005.

KIERS, E. T, DUHAMEL M.; BEESETTY, Y.; MENSAH, J. A.; FRANKEN, O.; VERBRUGGEN, E.; FELLBAUM, C. R.; KOWALCHUK, G. A.; HART, M. M.; BAGO, A.; PALMER, T. M.; WEST, S. A.; VANDENKOORNHUYSE, P. J.; BÜCKING, H. Reciprocal rewards stabilize cooperation in the mycorrhizal symbiosis. **Science**, v. 333, n. 6044, p. 880-882, 2011.

KIRIACHEK, S. G.; AZEVEDO, L. C. B. de; PERES, L. E. P.; LAMBAIS, M. R. Regulação do desenvolvimento de micorrizas arbusculares. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, vol.33, n.1, pp.1-16, 2009.

KUMAR, A.; SHARMA, S.; MISHRA, S. Influence of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi and salinity on seedling growth, solute accumulation, and mycorrhizal dependency of *Jatropha curcas* L. **Journal of plant growth regulation**, v. 29, n. 3, p. 297-306, 2010.

LAWLOR, D.W.; TEZARA, W. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. **Annals of Botany**, p.103, p.561-579, 2009.

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

LIU, T., SHENG, M., WANG, C. Y., CHEN, H., LI, Z., & TANG, M. Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth, water status, and photosynthesis of hybrid poplar under drought stress and recovery. **Photosynthetica**, 53(2), 250-258, 2015.

LOCATELLI, L.M.; VITOVSKI, C.A.; LOVATO, P.E. Sistema radicular de porta enxertos micropropagados de macieira colonizados com fungos micorrízicos arbusculares. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1239-1245, set. 2002.

MA, F.; HANNA, M.A. Biodiesel production: a review. **Bioresource Technology**. v.70, n.1, p.1-15, 1999.

MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V. MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1575-1582, 2009.

MAES, W. H.; REUBENS, B.; ACHTEN, W. M. J.; MUYS, B. Plant–water relationships and growth strategies of *Jatropha curcas* L. seedlings under different levels of drought stress. **Journal of Arid Environments**, v. 73, n. 10, p. 877-884, 2009.

MARTINS, C.; ANDRADE JR, P. P. Produção de biodiesel no Brasil: estratégia de sustentabilidade social, econômica e ambiental. **Sustainable Business International Journal**, n. 40, p. 1-16, jul. 2014.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G.N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v.51, 2000.

MELLO, A. H. de; SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SILVA, E. M. R. Estabelecimento de fungos micorrízicos arbusculares em mudas de mimosa artemisiana em diferentes substratos. **Agroecossistemas**, v. 4, n. 2, p. 52-66, 2012.

MIRANDA, JCC DE. Cerrado, micorriza arbuscular, ocorrência e manejo. **Planaltina, DF: Embrapa Cerrados**, 2008.

MOREIRA, E. R. **Métodos** de propagação do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). 116f. **Tese** (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2013.

MOREIRA, F. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. 2. ed. Lavras: Ed. da UFLA, 2006.

NASS, L. L.; PEREIRA, P. A. A.; ELLIS, D. Biofuels in Brazil: An Overview. **Crop science**, v. 47, n. 6, p. 2228-2237, 2007.

NASCIMENTO, J. M. L.; MENEZES, K. M. S.; QUEIROZ, M. A. A.; MELO, A. M. Y. Crescimento inicial e composição bromatológica de plantas de pornuncia adubadas com fósforo e inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, v.17, n.4, p.561-571, 2016.

O'NEILL, P.M.; SHANAHAN, J.F.; SCHEPERS, J.S. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. **Crop Science**, Madison, v. 46, n. 2, p. 681-687, 2006.

OPENSHAW, K. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. **Biomass and Bioenergy**, v. 19, n. 1, p. 1-15, 2000.

OUKARROUM, A. SCHANSKER, G.; MADIDI, S. E.; STRASSER, R. J.. Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v.60, p.438-446, 2007.

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

PINCELLI, R. P. Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas. 65f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu, 2010.

POUYU-ROJAS, E.; SIQUEIRA, J. O.; SANTOS, J. G. D. Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com espécies arbóreas tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 30, n.3, p. 413-424, 2006.

SALES, C.R.G.; RIBEIRO, R.V.; MACHADO, D.F.S.P.; MACHADO, R.S.; DOVIS, V.L.; LAGÔA, A.M.M.A. Trocas gasosas e balanço de carboidratos em plantas de cana-de-açúcar sob condições de estresses radiculares. **Bragantia**, v. 71, p. 319-327, 2012.

SALES, C.R.G., RIBEIRO, R.V., SILVEIRA, J.A.G. MACHADO, E. C., MARTINS, M. O., LAGÔA, A. M. M. A. Superoxide dismutase and ascorbate peroxidase improve the recovery of photosynthesis in sugarcane plants subjected to water deficit and low substrate temperature. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 73, p. 326-336, 2013.

SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P. Cultura do pinhão-mansô (*Jatropha curca* L.). **Informe Agropecuário**, v. 26, n 229, p. 44–78, 2005.

SCHIAVO, J. A. ROSSET, J. S.; SILVA, C. A.; CAPPI, N. Composto orgânico e inoculação micorrízica na produção de mudas de pinhão mansô. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 3, p. 332-329, set. 2010.

SCHREIBER, U., BILGER, W., NEUBAUER, C. Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. In: *Ecophysiology of Photosynthesis*. Edited by Schulze, E.D. and Caldwell M.M. pp. 49–70. **Springer**, 1994.

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*, 38(4). 2015.

SILVA, M.A.; JIFON, J.L.; SILVA, J.A.G.; SHARMA, V. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, p. 193-201, 2007.

SILVA, T. F. B. DA; SANTOS, A. B DA S.; ROZAS, C. E. O DE; SANTOS, A. C. DOS, PAIVA, L. M. Influência da densidade de fungos micorrízicos arbusculares na produção de maracujazeiro-doce (*Passiflora alata* CURTIS). **Revista Caatinga**, v.22, n.4, p.1-6, 2009.

SOARES, A. C. F. Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e nutrição de mudas de jenipapeiro. **Rev. Cienc. Agron.**, v. 43, n. 1, p. 47-54, 2012.

SOUZA, V. C. de; SILVA, R. A. da; CARDOSO, G. D; BARRETO, A. F. Estudos sobre fungos micorrízicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, vol.10, n.3, p. 612-618, 2006.

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

TORRES NETTO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J. G.; BRESSAN-SMITH, R. E. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, v. 104, p.199-209, 2005.

VELLINI, A. L. T. T.; ALVES, N. F.; PAVANI, P. L. C. A.; BONINE, L. C. SCARPINATI, C. A. V.; APARECIDO, E.; RINALDO CESAR, P.. Respostas fisiológicas de diferentes clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação. **Revista Árvore**. v. 32, n. 4, p.651-663, 2008.

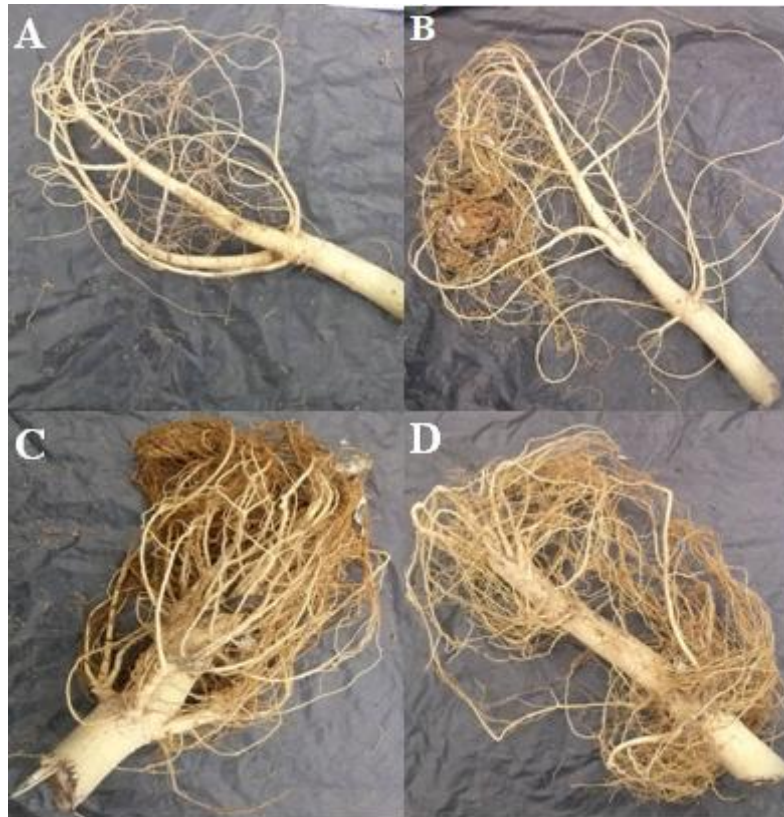
ZHU, X. C., SONG, F. B., LIU, S. Q., LIU, T. D., & ZHOU, X. Arbuscular mycorrhizae improves photosynthesis and water status of *Zea mays* L. under drought stress. **Plant Soil Environ**, 58(4), 186-191, 2012.

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 rootbox-grown trifoliolate orange. **Frontiers in microbiology**, v. 6, 2015.

ANEXO 1 – REGISTROS FOTOGRÁFICOS DO EXPERIMENTO



Anexo 1. Mudanças de *J. curcas* 30 dias após plantio (A). 60 dias após plantio (B) 90 dias após plantio (C). Mudanças de pinhão manso não inoculadas e inoculadas 90 dias após plantio (D).

ANEXO 2 – COMPARAÇÃO DE RAÍZES

Anexo 2 Comparação das raízes de *J. curcas* L. com e sem micorrizas após 90 dias. A) Sem micorriza. Figura B) *Gigaspora albida*. Figura C) *Claroideoglobus etunicatum*. Figura D) *Rhizophagus intraradices*.