



UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CAMPUS CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO VEGETAL

Mirele Xavier Silva Barbosa

**CULTIVO *INDOOR* DE TOMATE CEREJA ASSOCIADO A FUNGOS
MICORRÍZICOS ARBUSCULARES MULTIPLICADOS EM SIMBIOSE COM
DIFERENTES ESPÉCIES VEGETAIS**

PETROLINA-PE

2023

MIRELE XAVIER SILVA BARBOSA

**CULTIVO *INDOOR* DE TOMATE CEREJA ASSOCIADO A FUNGOS
MICORRÍZICOS ARBUSCULARES MULTIPLICADOS EM SIMBIOSE COM
DIFERENTES ESPÉCIES VEGETAIS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal do *Campus* Ciências Agrárias da Universidade Federal do Vale do São Francisco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Agronomia – Produção Vegetal.

Orientador: Prof.^a Dra. Adriana Mayumi Yano-Melo

Coorientador: Prof. Dr. Nataniel Franklin de Melo

PETROLINA-PE

2023

B238c Barbosa, Mirele Xavier Silva
Cultivo indoor de tomate cereja associado a fungos micorrízicos
arbusculares multiplicados em simbiose com diferentes espécies
vegetais / Mirele Xavier Silva Barbosa. – Petrolina - PE, 2023.
98f.: il.; 29 cm.

Dissertação (Pós-graduação em Agronomia - Produção vegetal) -
Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências
Agrárias, Petrolina-PE, 2023.

Orientadora: Profa. Dra. Adriana Mayumi Yano-Melo.

Referências.

1. Tomate - cultivo. 2. Tomate cereja. 3. Fungos. I. Título. II.
Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 635.642

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CAMPUS CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO VEGETAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

Mirele Xavier Silva Barbosa


**CULTIVO *INDOOR* DE TOMATE CEREJA ASSOCIADO A FUNGOS
MICORRÍZICOS ARBUSCULARES MULTIPLICADOS EM SIMBIOSE COM
DIFERENTES ESPÉCIES VEGETAIS**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre em Agronomia –
Produção Vegetal, pela Universidade Federal do
Vale do São Francisco.

Aprovada em: 15 de dezembro de 2023 .


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente

 **ADRIANA MAYUMI YANO DE MELO**
Data: 14/03/2024 08:54:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof^a. Dr^a. Adriana Mayumi Yano-Melo (Orientador)
Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf)

Documento assinado digitalmente

 **BRUNO COUTINHO MOREIRA**
Data: 13/03/2024 14:49:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Bruno Coutinho Moreira (Membro interno)
Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf)

Documento assinado digitalmente

 **ROBERTA LANE DE OLIVEIRA SILVA**
Data: 13/03/2024 19:35:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr^a. Roberta Lane de Oliveira Silva (Membro externo)
Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf)

Dedico este trabalho a Deus e à minha querida bisavó, Anízia Clara (*in memoriam*), cuja presença foi essencial na minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, porque sem Ele nada seria possível.

Expresso minha mais profunda gratidão aos meus pais, Maria Virgilia e Marcos Barbosa, pelo amor incondicional e o grande apoio, me estimulando nos momentos mais difíceis. Essa formação é a prova de que os esforços deles pela minha educação não foram em vão.

À minha irmã, Milena Xavier, e ao meu irmão, Maicon Xavier pelos momentos de suporte, ajuda, e acima de tudo compreensão, ao serem meu braço direito durante a minha formação.

Ao meu companheiro, Caio Bruno, dedico especial gratidão por todo apoio inabalável e amor. Sua presença foi uma fonte constante de motivação e alegria.

À minha orientadora Adriana Mayumi Yano-Melo e meu coorientador Nataniel Franklin de Melo, por todos os ensinamentos, compreensão, paciência, incentivo e colaboração em minha formação acadêmica.

À Universidade Federal do Vale do São Francisco e à Embrapa Semiárido, sou grata pela infraestrutura, fundamental para a realização dos experimentos e pesquisas.

Ao laboratório Química Geral e Orgânica, em especial ao Dr. Cedenir Pereira de Quadros, agradeço pela orientação, paciência e direcionamento, fundamentais para a realização das análises.

Ao Laboratório Multiusuário de Pesquisa (LAMUPE) – EBSEH, por disponibilizar o espaço e equipamentos para as análises moleculares.

Aos colegas do Laboratório de Microbiologia da Univasf, agradeço pelo apoio mútuo, companheirismo, momentos de alegria e trabalho. Em especial a Brunara Evely, Lilian Araújo, Lucas Eugênio, Luiz Dantas, Marcos Augusto e Maria Clara, por toda ajuda durante o experimento.

Aos amigos que contribuíram para este trabalho com palavras de incentivo, carinho e afeto. Em especial, a Eduarda Ellen, Erick Matheus, Fabilene Moraes, Isadora Ferreira, Jessika Vanessa, Livia Tieres e Ronny Ellison.

Aos colegas da pós-graduação, agradeço pelos momentos de alegria e aprendizado durante as disciplinas. Em particular, a Priscila Machado, Jane Clésia e Gisele Oliveira.

Agradeço à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES – Código de Financiamento 001), pelo fomento e concessão da bolsa de estudos.

Aos membros titulares e revisores da banca examinadora, Dr. Bruno Coutinho Moreira, Dr^a. Roberta Lane de Oliveira Silva, Dr. Izaias da Silva Lima Neto e Dr^a. Danielle Karla Alves da Silva, pelas valiosas correções e sugestões.

Em resumo, meu mais sincero agradecimento a todos os mencionados, e a tantos outros não citados, que de alguma forma contribuíram para esta conquista.

Muito obrigada!

RESUMO

Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) constituem um dos grupos simbiotes mais importantes do solo, pois formam associação mutualística com mais de 70% das plantas. Estes fungos proporcionam às plantas benefícios nutricionais e proteção contra estresses bióticos e abióticos. Porém a produção de inóculo continua sendo um dos entraves para aplicação deste bioinsumo em larga escala, além disso, os estudos sobre a contribuição dos FMA no cultivo *indoor* ainda são escassos. Assim, este estudo buscou responder se a propagação de FMA é influenciada pelo perfil de ácido graxo das plantas multiplicadoras e se os FMA produzidos seriam eficientes em promover o desenvolvimento do tomateiro-cereja em sistema de cultivo *indoor* sob espectros de luz distintos. O primeiro experimento foi conduzido em casa de vegetação buscando obter inóculo micorrízico a partir da multiplicação de quatro espécies de FMA (*Acaulospora longula*, *Entrophospora etunicata*, *Gigaspora albida* e *Rhizoglyphus clarum*) associadas a três espécies vegetais com perfis de ácidos graxos distintos (*Sorghum bicolor*, *Urochloa brizantha* e *Moringa oleifera*), em delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial de 4 (FMA) x 3 (espécies de plantas), em cinco repetições, totalizando 60 unidades experimentais. O segundo experimento foi realizado sob cultivo *indoor* com tomate-cereja, em delineamento experimental em blocos inteiramente casualizados em arranjo fatorial duplo, com três tratamentos de inoculação com FMA (Não inoculado – controle; inoculado com *A. longula*; e MIX de *E. etunicata*, *G. albida* e *R. clarum*) e dois espectros de luz (FB - fluorescente branca e LED-V/A - sistema LED vermelho/azul), em cinco repetições. Mesmo apresentando menor colonização radicular em *S. bicolor*, *A. longula* produziu maior esporulação, diferindo significativamente das demais espécies de FMA quando cultivadas tanto com *S. bicolor* quanto com *U. brizantha*. A abundância de glomerosporos de *A. longula* encontrada pela quantificação morfológica não se refletiu na análise por qPCR, na qual *R. clarum* apresentou maior abundância, indicando a necessidade de refinarmos a técnica. Os teores de lipídios na parte aérea (TLPA) e na raiz foram maiores para *M. oleifera* (7,76%) e *U. brizantha* (4,19%), respectivamente; registrando-se correlação positiva do TLPA com a colonização micorrízica. No experimento em cultivo *indoor*, verificamos que o comprimento de luz e a inoculação com FMA influenciaram no desenvolvimento vegetativo do tomateiro. Ainda nesse experimento, melhor desenvolvimento do tomateiro foi obtido sob LED-V/A, principalmente em relação à altura, número de folhas, largura, comprimento da folha e espaçamento de entrenós. Em relação à inoculação, o mix apresentou maior colonização micorrízica e esporulação em ambos os sistemas de luz, principalmente sob FB. Para o desenvolvimento vegetativo, *A. longula* proporcionou maior crescimento das plantas de tomate cereja. Conclui-se que o perfil de ácidos graxos da parte aérea provavelmente influencie na propagação dos FMA sob cultivo em vaso, especialmente na colonização micorrízica. No cultivo *indoor*, a inoculação de *A. longula* favorece o desenvolvimento vegetativo de tomate-cereja sob LED-V/A, enquanto maior propagação de mix de FMA foi alcançada sob FB. Desta forma, o cultivo *indoor* com FB pode ser uma possibilidade de propagação de FMA em condições controladas.

Palavras-chave: Cultivo protegido; ácidos graxos; espectros de luz; esporulação. Glomeromycota.

ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) constitute one of the most important symbiont groups in the soil, as they form mutualistic associations with over than 70% of plants. These fungi provide plants with nutritional benefits and protection against biotic and abiotic stresses. However, inoculum production continues to be one of the obstacles to applying this bio-input on a large scale. Furthermore, studies on the contribution of AMF to indoor cultivation are still scarce. Therefore, this study aimed to investigate whether the propagation of AMF is influenced by the fatty acid profile of multiplying plants and whether the produced AMF are efficient in promoting the development of cherry tomatoes in an indoor cultivation system under different light spectra. The first experiment was conducted in a greenhouse to obtain mycorrhizal inoculum by multiplying four AMF species (*Acaulospora longula*, *Entrophospora etunicata*, *Gigaspora albida*, and *Rhizogloium clarum*) in association to three plant species (*Sorghum bicolor*, *Urochloa brizantha*, and *Moringa oleifera*). The experimental design was a completely randomized factorial arrangement of 4 (AMF) x 3 (plant species), with five replicates, totaling 60 experimental units. The second experiment was carried out under indoor cultivation with cherry tomato, using a completely randomized block design in a double factorial arrangement, with three AMF inoculation treatments (non-inoculated – control; inoculated with *A. longula*; and MIX of *E. etunicata*, *G. albida*, and *R. clarum*) and two light spectra (WF - white fluorescent light and R/B LED – red/blue LED system, 660 nm/450 nm), with five replicates. Despite showing lower root colonization in *S. bicolor*, *A. longula* produced higher sporulation, significantly differing from the other AMF species when cultivated with both *S. bicolor* and *U. brizantha*. The abundance of *A. longula* glomerospores found by morphological quantification was not reflected in the qPCR analysis, in which *R. clarum* showed higher abundance, indicating the need for refinement in the technique. Lipid contents in the aerial (LCAP) and root parts were higher for *M. oleifera* (7.76%) and *U. brizantha* (4.19%), respectively, with a positive correlation observed between LCAP and mycorrhizal colonization. In the indoor cultivation experiment, we verified that light length and AMF inoculation influenced the vegetative development of cherry tomatoes. It was also observed, in indoor cultivation, a better development of tomato plants under red/blue light, particularly in terms of height, number of leaves, width, leaf length, and internode spacing. Regarding inoculation, the MIX achieved greater mycorrhizal colonization and sporulation in both light systems, especially under WF. For vegetative development, *A. longula* provided greater growth of cherry tomato plants. Thus, the fatty acid profile of the aerial part likely influences the propagation of AMF in potted cultivation, especially in mycorrhizal colonization. In indoor cultivation, the inoculation of *A. longula* promoted the vegetative development of cherry tomatoes under R/B LED light, while greater propagation of the AMF mix was achieved under WF light. Thus, indoor cultivation with WF light may be a potential method for the propagation of AMF under controlled conditions.

Key-words: Protected farming; Fatty acids; Light spectra; Sporulation; Glomeromycota.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1 - Estruturas morfológicas dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA).....	18
FIGURA 2 - Componentes e etapas envolvidas durante a qPCR.....	31
FIGURA 3 - Principais grupos (segmentos de mercado) de tomateiro.....	34
FIGURA 4 - Esquema da análise da extração de lipídios totais em diferentes vegetais, pelo método de Bligh; Dyer (1959).....	43
FIGURA 5 - Matéria seca da parte aérea (A) e número de glomerosporos (B), Rendimento da matéria fresca da parte aérea (C) e do sistema radicular (D), Lipídios Totais da parte aérea (E) e da raiz (F) em função da espécie vegetal e da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares, após a 4 meses em casa de vegetação.....	51
FIGURA 6 - Estimativa dos coeficientes de correlação entre os parâmetros micorrízicos (NG- número de glomerosporos; COL- Colonização micorrízica), vegetativos (MFPA e MSPA- matéria fresca e seca da parte aérea; MFR e MSR- matéria seca e fresca da raiz), fisiológicos (LTPA e LTR – Lipídios totais da parte aérea e radicular), em diferentes hospedeiros e FMA.....	54
FIGURA 7 - Eletroforese em gel de agarose representativa das amostras de DNA extraídas do solo inóculo.....	56
FIGURA 8 - Curvas de amplificação de amostras de DNA de solo por PCR quantitativa em tempo real (qPCR) utilizando os <i>primers</i> avaliados para <i>Acaulospora longula</i> (A); <i>Entrophospora etunicata</i> (B); <i>Gigaspora álbida</i> (C) e <i>Rhizoglo mus clarum</i> (D)	57
FIGURA 9 - Comparação de abundância de FMA detectada por qPCR em solo-inóculo provindo da multiplicação em espécies vegetais.....	58
FIGURA 10 - Curvas de <i>melting</i> de amostras de DNA de solo por PCR quantitativa em tempo real (qPCR) utilizando os <i>primers</i> <i>Rhizoglo mus clarum</i> (a), <i>Acaulospora longula</i> (b), <i>Entrophospora etunicata</i> (c) e <i>Gigaspora álbida</i> (d).....	59

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1 - Produção de inóculos de fungos micorrízicos arbusculares estudados: espécies de FMA, composição do substrato, planta multiplicadora e quantidade de propágulos de FMA.....	22
Tabela 2 - <i>Primers</i> utilizados nas análises de detecção por qPCR.....	45
Tabela 3 - Quadro da análise de variância dos parâmetros estudados no 1º experimento.....	50
Tabela 4 - Matéria seca radicular (MSR) e colonização micorrízica (COL) em espécies vegetais inoculadas com FMA cultivadas por 4 meses em casa de vegetação.....	53
Tabela 5 - Concentração e pureza obtidas por amostra de DNA de solo-inóculo de diferentes FMA, provindos da multiplicação em <i>Moringa oleifera</i> (MO), <i>Sorghum bicolor</i> (SB) e <i>Urochloa brizantha</i> (UB), por 4 meses em casa de vegetação.....	55
Tabela 6 - Quadro da análise de variância dos parâmetros avaliados no 2º experimento	60
Tabela 7 - Efeito de diferentes fontes de luz (fluorescente branca e LED vermelho/azul) e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares no crescimento de tomate-cereja em sistema de cultivo indoor, após quatro meses.....	61
Tabela 8 - Matéria fresca da parte aérea (MFPA), área foliar (AF), número de glomerosporos (NG) e colonização micorrízica (COL) em tomateiro-cereja micorrizado ou não, em cultivo <i>indoor</i> sob luz fluorescente branca (FB) e LED vermelha/azul (LED-V/A), após quatro meses.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS

AL	<i>Acaulospora longula</i>
AG	Ácido graxo
COL	Colonização micorrízica
Cu	Cobre
DNA	Ácido desoxirribonucleico
EE	<i>Entrophospora etunicata</i>
ESP	Espécie vegetal
FB	Luz fluorescente branca
Fe	Ferro
FMA	Fungos Micorrízicos Arbusculares
GA	<i>Gigaspora albida</i>
K	Potássio
KOH	Hidróxido de potássio
LED-V/A	Luz LED vermelha e azul
MFPA	Matéria fresca da parte aérea
MFR	Matéria fresca da raiz
Mg	Magnésio
MO	<i>Moringa oleifera</i>
MSPA	Matéria seca da parte aérea
MSR	Matéria seca da raiz
N	Nitrogênio
NG	Número de glomerosporos
P	Fósforo
PCR	Reação em cadeia da polimerase
qPCR	PCR quantitativa em tempo real
RC	<i>Rhizoglyphus clarum</i>
LTPA	Lipídios totais da parte aérea
LTR	Lipídios totais do sistema radicular
SB	<i>Sorghum bicolor</i>
UB	<i>Urochloa brizantha</i>

SUMÁRIO

	PÁG.
1. INTRODUÇÃO	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES.....	17
2.1.1 Propagação de FMA	19
2.1.1.1 Relação entre ácidos graxos e produção de esporos de FMA.....	26
2.1.2 Detecção e quantificação de FMA	28
2.1.3 FMA no desenvolvimento vegetal: ênfase em tomateiro	31
2.2 PRODUÇÃO DO TOMATE.....	32
2.2.1 Tomate-cereja	34
2.3 CULTIVO <i>INDOOR</i>	35
2.3.1 O efeito do comprimento de onda na planta	36
2.3.2 Influência dos espectros de luz sobre os FMA e plantas associadas	37
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3.1 EXPERIMENTO 1 – ESPORULAÇÃO DE FMA EM ASSOCIAÇÃO COM ESPÉCIES VEGETAIS DISTINTAS E SUA RELAÇÃO COM QUANTIFICAÇÃO POR qPCR	40
3.1.1 Delineamento experimental	40
3.1.2 Preparo do substrato, obtenção de plantas e de FMA	40
3.1.3 Parâmetros avaliados	41
3.1.4 Quantificação da abundância de FMA por qPCR	44
3.1.5 Extração de DNA e quantificação	45
3.1.6 Seleção e desenho de <i>primers</i>	45
3.1.7 PCR quantitativa em tempo real (qPCR)	46
3.1.8 Análises estatísticas	46
3.2 EXPERIMENTO 2 – CULTIVO <i>INDOOR</i> DE TOMATE CEREJA ASSOCIADO A FMA.....	47
3.2.1 Montagem e condução do experimento	47
3.2.2 Delineamento experimental	47

3.2.3 Parâmetros de crescimento vegetativo e fisiológicos.....	48
3.2.4 Parâmetros relacionados ao desenvolvimento dos FMA.....	49
3.2.5 Análises estatísticas	49
4 RESULTADOS	50
4.1 ESPORULAÇÃO DE FMA EM ASSOCIAÇÃO COM ESPÉCIES VEGETAIS DISTINTAS E SUA RELAÇÃO COM QUANTIFICAÇÃO POR qPCR	50
4.2 CULTIVO <i>INDOOR</i> DE TOMATE CEREJA ASSOCIADO A FMA	59
5 DISCUSSÃO.....	63
5.1 ESPORULAÇÃO DE FMA EM ASSOCIAÇÃO COM ESPÉCIES VEGETAIS DISTINTAS E SUA RELAÇÃO COM QUANTIFICAÇÃO POR QPCR	63
5.1.1 Influência das diferentes espécies de planta na esporulação de FMA.....	63
5.1.2 Uso da qPCR para a detecção de FMA	67
5.2 CULTIVO <i>INDOOR</i> DE TOMATE CEREJA ASSOCIADO A FMA.....	69
6 CONCLUSÕES.....	75
REFERÊNCIAS.....	76
APÊNDICES.....	93
ANEXOS.....	97

1. INTRODUÇÃO

O tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) é uma das principais olerícolas cultivadas no país, pois faz parte, quase que diariamente, da dieta do brasileiro e está entre as espécies vegetais de maior consumo mundial (GATAHI, 2020). Entretanto, essa cultura enfrenta grandes riscos econômicos, uma vez que é suscetível a vários problemas fitossanitários (FILGUEIRA, 2012), demandando assim o uso de agrotóxicos, além de necessitar de fluxo intenso de mão-de-obra (manejo). Um recurso que vem sendo utilizado para diminuir o uso exagerado de fertilizantes e minimizar os problemas fitossanitários, é a utilização dos micro-organismos promotores do crescimento vegetal, como os Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA).

Os FMA pertencentes ao filo Glomeromycota (TEDERSOO *et al.*, 2018), são biotróficos obrigatórios que se associam ao sistema radicular de diversas espécies vegetais (DAVISON *et al.*, 2015). Esta simbiose desempenha papéis importantes tanto na nutrição vegetal quanto no equilíbrio edáfico, devido ao aumento no aporte de nutrientes às plantas, em especial àqueles de baixa mobilidade como o P, Zn e Cu que são transportados até as raízes por meio da difusão, processo extremamente lento no solo (HOFFMANN; LUCENA, 2006; CARDOSO *et al.*, 2010). Os FMA podem contribuir na formação de agregados hidroestáveis no solo (VARELA-CERVERO *et al.*, 2015), na tolerância das plantas ao estresse salino (SAXENA; SHUKLA; GIRI, 2017), além de participar na fitorremediação de solos contaminados (RAJTOR; PIOTROWSKA-SEGET, 2016; SHI *et al.*, 2022), proporcionando aos vegetais melhor desenvolvimento que, em troca, fornece fontes de carbono, como os carboidratos (SMITH; READ, 2010) e lipídios (JIANG *et al.*, 2017) para manter a colonização dos fungos, promovendo benefício a ambos os eucariontes.

Os lipídios foram identificados como outra fonte de carbono para os FMA, pois não há genes que codificam a síntese de ácidos graxos citosólico nos FMA, impossibilitando-os de produzir ácidos graxos de cadeia longa por si mesmos (BRAVO *et al.*, 2017). Em 2014, Wewer *et al.* demonstraram que as plantas, durante a simbiose, ativam a biossíntese de ácidos graxos e transferem lipídios para os FMA via arbúsculos. Recentemente, alguns estudos relataram que os ácidos graxos exógenos

podem promover a produção da biomassa e formação esporos de FMA (KAMEOKA *et al.*, 2019; SUGIURA *et al.*, 2020). Esses estudos estão sendo cada vez mais explorados visando a promoção e a produção de FMA em escala comercial.

Embora o estabelecimento da colonização micorrízica possa trazer benefícios às plantas, a atividade dos FMA tende a ser afetada por práticas agrícolas de campo, tais como: introdução de monocultura, mudanças no solo, como flutuações de pH, conteúdo de fósforo (ZHENG *et al.*, 2014), reservas de matéria orgânica (GRYNDLER *et al.*, 2009; WU *et al.*, 2023), fertilização (SOKA; RITCHIE, 2014) e salinização (BAINARD *et al.*, 2014). Assim, o cultivo *indoor*, que consiste na produção vegetal em ambientes reduzidos e internos com temperatura, umidade, iluminação e irrigação controlada, pode ser uma alternativa para minimizar os efeitos destes fatores externos e disponibilizar alimentos, mesmo quando as condições de campo são adversas.

Em cultivos internos, a iluminação artificial torna-se um fator de extrema importância na fisiologia das plantas (NHUT *et al.*, 2002; COCETTA *et al.*, 2017) e influencia diretamente no florescimento e incremento no peso de frutos, *e.g.* tomate (*Solanum lycopersicum*) (VITALE *et al.*, 2022). Além disso, diferentes intensidades luminosas promovem respostas distintas quanto ao comprimento total da planta, número de folhas e massa fresca do sistema radicular, como constatado em mudas de tomate cv. Coração de boi (ROCHA *et al.*, 2018). Logo, as diferentes fontes de luz podem alterar a interação fungo-planta (NIEMI *et al.*, 2005) e os efeitos benéficos proporcionados pela atividade dos FMA, dentre estes, afetar a capacidade fotossintética das folhas de tomate (BITTERLICH; FRANKEN; GRAEFE, 2019).

Assim, considerando o papel dos FMA para o desenvolvimento vegetal é de grande importância determinar a relação entre o perfil de ácido graxo e a produção de inóculo de FMA, bem como entender se os inóculos produzidos beneficiam o desenvolvimento das culturas agrícolas, a exemplo do tomateiro-cereja (*Lycopersicum esculentum* var. *cerasiforme*) cultivado em sistema *indoor* sob diferentes espectros de luz.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

O termo micorriza, vem do grego *myko*= fungo e *rhiza*= raiz. Refere-se à associação mutualística entre raízes de plantas e fungos do solo. Estas são classificadas em grandes grupos: Endomicorrizas (Arbusculares, Ericóide e Orquidóide) e Ectomicorrizas (GENRE *et al.*, 2020). Dentre essas associações, as endomicorrizas do tipo arbuscular são as mais encontradas nos ambientes terrestres, onde mais de 70% das plantas estudadas formavam esse tipo de simbiose (BRUNDRETT; TEDERSOO, 2018). Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) fazem parte do Filo Glomeromycota, agrupados em três classes: Archaeosporomycetes, Glomeromycetes e Paraglomeromycetes; e cinco ordens: Archaeosporales, Diversisporales, Gigasporales, Glomales e Paraglomerales (WIJAYAWARDENE *et al.*, 2020).

Estima-se que os FMA estejam presentes na terra há cerca de 460 milhões de anos formando simbiose com plantas, com registros fósseis do Ordoviciano (REDECKER *et al.*, 2000). Sugere-se que devido à ancestralidade da simbiose com as plantas, os FMA tenham perdido a capacidade de viver independentemente, desta forma, seu ciclo de vida é concluído apenas na presença da planta hospedeira (REQUENA *et al.*, 2007), denominados assim, como biotróficos obrigatórios (SOUZA *et al.*, 2010).

Devido a onipresença desses fungos no ecossistema, essa simbiose é considerada uma das mais importantes, conceituada como mutualista nutricional bidirecional, pois a planta fornece ao fungo produtos derivados do metabolismo fotossintético e os fungos disponibilizam à planta maior aporte de nutrientes e água, aumentando a tolerância a fatores bióticos e abióticos (SMITH; READ, 2010).

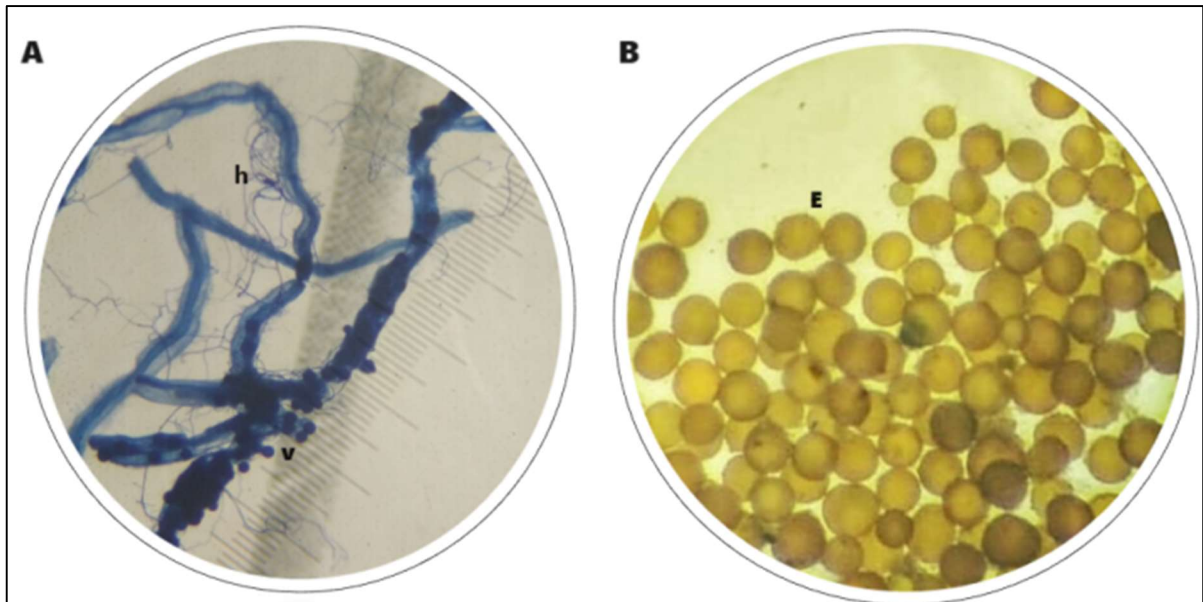
Essa associação possibilita incremento na adaptabilidade da planta hospedeira, favorecendo o aumento da relação água-planta, regulando mecanismos de tolerância (regulação osmótica, sistema antioxidante e acúmulo de metabólitos secundários) a estresses abióticos, como a seca (BEGUM *et al.*, 2019) e bióticos (resistência a patógenos) (VILA *et al.*, 2021), estruturação e estabilidade de

agregados, tendo como o principal efeito, o aumento da absorção e translocação dos nutrientes, especialmente os de baixa mobilidade, como o P (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006), K, Cu, Zn, Fe (LÜ *et al.*, 2018) e Mg (CARILLO *et al.*, 2020).

Segundo Mollavali *et al.* (2016), os FMA influenciam o sistema de defesa das plantas, aumentando a atividade de enzimas antioxidantes como catalase (CAT) e peroxidase (POD), a quantidade de antioxidantes (ácidos fenólicos); a atividade antioxidante, os compostos bioativos (licopeno e ácido ascórbico) (CARILLO *et al.*, 2020); e fitohormônios (FERNÁNDEZ *et al.*, 2014) que estão relacionados ao sistema de proteção, melhorando o crescimento e a resiliência da planta.

Os produtos oriundos da fotossíntese das plantas e disponibilizados aos FMA contribuem para o processo de colonização e multiplicação desses organismos, especialmente a formação de glomerosporos, principal estrutura por manter a sobrevivência dos fungos no ambiente e dispersão (MAIA *et al.*, 2020).

FIGURA 1. Estruturas morfológicas dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA).



Legenda: A) Colonização radicular; B) Número de glomerosporos; h) hifas; v) vesículas; E) esporos.

FONTE: BARBOSA, MXS (2023).

2.1.1 Propagação de FMA

A propagação dos FMA é diretamente influenciada pelo ambiente ao qual os fungos se encontram, como também, pela relação espécie de vegetal -FMA (SAGGIN JÚNIOR *et al.*, 2022). Posto isso, as combinações do solo-fungo-planta quando eficazes melhoram a propagação de FMA e o desenvolvimento das plantas.

Assim, a composição dos substratos (características químicas e físicas) que são usados na propagação do FMA é um dos entraves no estabelecimento de protocolos efetivos. Existem diversos tipos de substrato utilizado para multiplicação de FMA, geralmente incluem algum tipo de solo ou areia, mas podem possuir outros materiais (vermiculita e perlita) e fontes orgânicas (turfa e húmus de minhoca) (Tabela 1) (SAGGIN JÚNIOR *et al.*, 2022).

Em um trabalho realizado com solo: areia (3:1 v/v) constatou-se cerca de 78% de colonização micorrízica em raízes de *Moringa oleifera* utilizando um Mix [*Racocetra gregária* (= *Scutellospora gregária*) (N.C.Schenck & T.H.Nicolson) Oehl *et al.* e *Gigaspora margarita* W.N. Becker & I.R. Hall] (CAROLE *et al.*, 2019). O uso de substrato a base de areia e turfa vermelha em diferentes concentrações, propiciou melhoria dos parâmetros vegetativos da aveia (*Avena sativa* L.) micorrizada por *Rhizoglosum clarum* (T.H. Nicolson & N.C. Schenck) Sieverd., G.A. Silva & Oehl, sendo que quanto maior o aumento de turfa menor a colonização micorrízica, constatando que a proporção de 32,5% turfa é a mais efetiva para atingir a maior colonização micorrízica (91%) e produção de substrato-inóculo (SILVEIRA *et al.*, 2013).

Um dos substratos mais testados para produção de inóculo tem como base areia e vermiculita, segundo Silva; Yano-Melo; Maia (2007), o uso de areia e vermiculita na proporção de 1:1 v/v com adição de solução nutritiva (Tampão Tris-HCl) permite alta produção de esporos de *Entrophospora etunicata* (= *Claroideoglosum etunicatum*) (W.N. Becker & Gerd.) Blaszk., Niezgodna, B.T. Goto & Magurno, *Acaulospora longula* Spain & N.C. Schenck e *Gigaspora albida* N.C.Schenck & G.S.Sm., destacando-se a infectividade do inóculo de *E. etunicata*, que pode ser incrementada após o armazenamento em geladeira (entre 5 e 10 °C).

Segundo Ijdo; Cranenbrouck; Declerck (2011), o sistema com substrato, principalmente à base de areia e solo (pote de cultura) é o mais utilizado, porém outras

formas de propagação são possíveis, tais como a multiplicação de FMA sem substrato (hidropônicos e aeropônicos) ou em cultivo *in vitro* (culturas de tecidos radiculares). Esses sistemas proporcionam a produção de inóculo de FMA constituídos por mais de uma forma de propágulo, tais como hifas, fragmentos de raízes colonizadas e glomerosporos. No entanto, para a maioria das espécies de FMA, o glomerosporo é considerado o mais eficaz devido à sua natureza como estruturas de resistência (ARAÚJO, 2019). Outro aspecto interessante é que os glomerosporos são propágulos fáceis de quantificar e podem ser mais seguros, devido a estabilidade, na análise de propágulos infectivos e do método empregado na multiplicação (MEDEIROS, 2021).

A produção comercial de inóculo à base de FMA já é realizada em alguns países (VOSÁTKA *et al.*, 2008), dentre estes produtos podemos citar Mycorise, Endorize, Endomycorrhizal inoculant, AgBio-Endos, Rhizanova, BuRize, Bioterra plus, Mycor, Mycogold, Myco V, AM 120, Terra Vita e outros (SANTANA, 2017). Contudo, grande parte dos produtos atualmente disponíveis apresenta qualidade insatisfatória, devido a seu modo de ação, propágulos não viáveis e sem colonização, o que ocasiona a perda de confiança por parte dos agricultores (HERRMANN; LESUEUR, 2013; SALOMON *et al.*, 2022). No Brasil essa fabricação necessita de aprimoramento técnico para serem fabricados, pois, os estudos, geralmente, os avanços ficam limitados a trabalhos científicos e testes de empresas (SANTANA, 2017).

Para atender aos requisitos de inoculante comercial, Herrmann; Lesueur (2013) define: a) garantir que as condições do ambiente sejam adequadas para prevenir a redução da população durante o transporte e o armazenamento; b) ser fácil de aplicar e uso; c) ser ecologicamente sustentável; d) ter uma boa relação custo-benefício para tornar a sua produção viável.

Algumas espécies vegetais são amplamente utilizadas para produção de inóculo de FMA, principalmente, às gramíneas e leguminosas, dentre estas destacam-se milho (*Zea mays* L.), capim-baiano (*Paspalum notatum* Flüggé), cebola e alho-poró (*Allium* spp.) (IJDO; CRANENBROUCK; DECLERCK, 2011), sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), capins braquiárias (*Brachiaria* sp.), painço (*Panicum miliaceum* L.), capim-sudão (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf) e o híbrido sorgo/capim-sudão, capim andropogon (*Andropogon gayanus* Kunth), capim colonião (*Panicum maximum* Jacq.), kudzu tropical (*Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth.), centrosema

(*Centrosema pubescens* Benth.) e estilosantes (*Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw. var. vulgaris) (SAGGIN JÚNIOR *et al.*, 2022), que possuem sistema radicular fasciculado, disponibilizando raízes para estabelecimento da colonização micorrízica. Outras espécies vegetais podem ser utilizadas, sendo necessário que apresentem capacidade para prover a multiplicação de FMA e características fitossanitárias favoráveis (SOUZA; SCHLEMPER; STURMER, 2017).

Tabela 1: Produção de inóculos de fungos micorrízicos arbusculares estudados: espécies de FMA, composição do substrato, planta multiplicadora e quantidade de propágulos de FMA.

Espécie de plantas (hospedeiro)	Composição do substrato	Espécie de FMA	Produção de inóculo	Referências
<i>Zea mays</i>	Solo:folhas degradadas	Mix (<i>Glomus</i> , <i>Gigaspora</i> e <i>Scutellospora spp.</i>)	75 esp./g	Gaur; Adholeya (2002)
<i>Medicago sativa</i>	(2:1)		77	
<i>Trifolium alexandrinum</i>			58	
<i>Avena sativa</i>			50	
<i>Sorghum vulgare</i>			80	
<i>Panicum miliaceum</i>	Areia: Vermiculita (1:1) :75% tampão Tris – HCl	<i>Acaulospora longula</i>	35 esp./g	Silva; Yano-Melo; Maia (2007)*
		<i>Gigaspora albida</i>	65	
		<i>Claroideoglomus etunicatum</i> (= <i>Glomus etunicatum</i>)	292	
		<i>Dentiscutata heterogama</i>	15	
<i>Paspalum notatum</i>	Composto de folha: vermiculita (1:4)	<i>Funneliformis mosseae</i> (= <i>Glomus mosseae</i>)	525 esp./50 cm ³	Douds <i>et al.</i> (2010)**
		<i>Glomus</i> sp.	71	
		<i>Rhizophagus intraradices</i> (= <i>Glomus intraradices</i>)	324	
		<i>Claroideoglomus claroideum</i> (= <i>Glomus claroideum</i>)	946	
	Composto de folha : perlita (1:4)	<i>F. mosseae</i>	346	
		<i>Glomus</i> sp.	186	
		<i>R. intraradices</i>	290	
		<i>C. claroideum</i>	452	
Composto de folha : turfa		<i>F. mosseae</i>	512	

	(1:4)	<i>Glomus</i> sp.	123	
		<i>R. intraradices</i>	650	
		<i>C. claroideum</i>	1220	
<i>Allium cepa</i>	solo: areia (3:1)	<i>F. mosseae</i>	54 esp./ 10g	Kaushish; Kumar; Aggarwal (2011) ***
	solo :resíduos vegetais		103	
	solo: esterco bovino		103	
	solo: vermicomposto		84	
<i>Cymbopogon citratus</i>	solo: areia		52	
	solo: resíduos vegetais		111	
	solo: esterco bovino		102	
	solo: vermicomposto		73	
<i>Sesbania aculeata</i>	solo: areia		47	
	solo : resto de folha		96	
	solo: esterco bovino		97	
	solo: vermiculita		95	
<i>Alium cepa</i>	Solo : areia	<i>F. mosseae</i>	20 esp./g	Abdullahi; Lihan; Edward (2014)**
	(2:1)	<i>Funneliformis geosporum</i> (= <i>G. geosporum</i>)	21	
		<i>C. etunicatum</i>	17	
<i>Cymbopogon citratus</i>		<i>F. mosseae</i>	26	
		<i>F. geosporum</i>	23	
		<i>C. etunicatum</i>	20	

<i>Mimosa invisa</i> Mart.	Solo : areia (1:1)	<i>C. etunicatum</i> NNT10	5 esp./100cm ³	Chaiyasen <i>et al.</i> (2016) *	
		<i>C. etunicatum</i> PBT03	103		
		<i>F. mosseae</i>	42		
	Solo : areia : vermiculita (0,5:0,5:1)	<i>C. etunicatum</i> NNT10	560		
		<i>C. etunicatum</i> PBT03	657		
		<i>F. mosseae</i>	432		
	Solo : areia : Grânulos de tijolo (0,5:0,5:1)	<i>C. etunicatum</i> NNT10	352		
		<i>C. etunicatum</i> PBT03	254		
		<i>F. mosseae</i>	379		
	Solo : areia : carvão da casca de arroz (0,5:0,5:1)	<i>C. etunicatum</i> NNT10	0		
		<i>C. etunicatum</i> PBT03	0		
		<i>F. mosseae</i>	0		
<i>Sorghum bicolor</i>	Solo : areia (1:1)	<i>C. etunicatum</i> NNT10	1217		
		<i>C. etunicatum</i> PBT03	2870		
		<i>F. mosseae</i>	713		
	Solo : areia : vermiculita (0,5:0,5:1)	<i>C. etunicatum</i> NNT10	7158		
		<i>C. etunicatum</i> PBT03	4871		
		<i>F. mosseae</i>	2533		

<i>Zea mays</i> L. var. <i>saccharata</i>	Solo : areia : Grânulos de tijolo (0,5:0,5:1)	<i>C. etunicatum</i> NNT10	5529
		<i>C. etunicatum</i> PBT03	6287
		<i>F. mosseae</i>	2606
	Solo : areia : carvão da casca de arroz	<i>C. etunicatum</i> NNT10	199
		<i>C. etunicatum</i> PBT03	2450
		<i>F. mosseae</i>	392
	Solo : areia (1:1)	<i>C. etunicatum</i> NNT10	1898
		<i>C. etunicatum</i> PBT03	2136
		<i>F. mosseae</i>	1081
	Solo : areia : vermiculita (0,5:0,5:1)	<i>C. etunicatum</i> NNT10	4242
		<i>C. etunicatum</i> PBT03	9050
		<i>F. mosseae</i>	3000
Solo : areia : Grânulos de tijolo (0,5:0,5:1)	<i>C. etunicatum</i> NNT10	3826	
	<i>C. etunicatum</i> PBT03	4337	
	<i>F. mosseae</i>	3105	
Solo : areia : carvão da casca de arroz (0,5:0,5:1)	<i>C. etunicatum</i> NNT10	3885	
	<i>C. etunicatum</i> PBT03	6614	
	<i>F. mosseae</i>	1105	

Legenda: Inoculados após *85 a 90 dias; **3 meses; ***4meses.

Fonte: BARBOSA, MXS (2023).

2.1.1.1 Relação entre ácidos graxos e produção de esporos de FMA

Por serem biotróficos obrigatórios, os FMA necessitam da associação simbiótica com as plantas, de forma que obtenham carbono orgânico para seu desenvolvimento. Duas das principais fontes de carbono são os carboidratos e os lipídios, que são transportados para vesículas, células auxiliares e esporos (JIANG *et al.*, 2017). Embora a produção de esporos e crescimento de hifas de *Rhizophagus irregularis* (Błaszk., Wubet, Renker & Buscot) C. Walker & A. Schüßler tenha sido constatada na ausência de planta, a utilização de cepas de *Paenibacillus validus* pode ter liberado substâncias que sinalizam e/ou convertem compostos consumidos pelo fungo (HILDEBRANDT *et al.*, 2006). Os autores atribuíram à rafinose, um trissacarídeo, um possível papel em influenciar o crescimento de *R. irregularis*, porém, apenas as hifas foram influenciadas visto que não foi possível obter esporos ao avaliar a rafinose isolada, indicando que outras substâncias de *P. validus* devem ser excretadas e possam ter influência sobre os FMA. Anteriormente acreditava-se que os FMA sintetizavam seus lipídios a partir de açúcares provindos das plantas hospedeiras (PFEFFER *et al.*, 1999).

Os avanços trazidos pela descoberta de que os FMA dependem de lipídios provindos das plantas simbiotes (JIANG *et al.*, 2017; LUGINBUEHL *et al.*, 2017) aumentaram as perspectivas de produção de propágulos de forma assimbiótica. A análise genômica sugeriu que os FMA seriam auxotróficos para ácidos graxos (LUGINBUEHL *et al.*, 2017) e alguns estudos reforçavam que estes fungos seriam dependentes da planta para obter ácidos graxos de cadeia longa (TISSERANT *et al.*, 2013). No entanto, ainda não era conhecida a via metabólica do fornecimento dessa fração de ácido graxo para os FMA, devido à dificuldade em observar este fluxo. A importância dos ácidos graxos é que estes estão envolvidos na biologia celular e molecular dos FMA (SUGIURA *et al.*, 2020). Neste sentido, alguns estudos demonstram a possibilidade de produção de FMA na ausência do hospedeiro com a suplementação de lipídio exógeno (KAMEOKA *et al.*, 2019).

A partir do cultivo de *P. validus* foi possível identificar o ácido graxo C15 ramificado anteiso-metil saturado [(S)-anteiso-C15:0], como um ácido graxo celular principal no gênero *Paenibacillus*, que provavelmente atuou no desenvolvimento de duas espécies do gênero *Rhizophagus* (= *Rhizoglossus*) (KAMEOKA *et al.*, 2019).

Nesse mesmo estudo, os autores testaram outros ácidos graxos de cadeia ramificada bacteriana e ácidos graxos derivados de plantas na indução da ramificação hifálica e produção de FMA, na qual, os ácidos graxos de cadeia monoinsaturada C16, ácido palmitoleico e ácido palmitvacênico, induzem a formação de hifas e esporos de algumas espécies de FMA, o que sugere que o desenvolvimento do FMA (resposta do fungo) no estágio assimbiótico pode variar dependendo dos compostos envolvidos.

O estudo conduzido por Sugiura *et al.* (2020), utilizando meio contendo ácidos graxos [oito ácidos graxos saturados ou insaturados (C12 a C18) e dois β -monoacilgliceróis] em condições assimbióticas, demonstrou que o uso de miristato de potássio (Myr-K) aumentava a biomassa de *R. irregularis* e *R. clarum*, com formação de hifas e esporos viáveis com diâmetro menor do que os produzidos simbioticamente; os ácidos (ácido palmitato; ácido palmitoleico; ácido láurico) também influenciaram no vigor/alongamento das hifas e diferenciação de esporos, mas não no aumento da biomassa (*R. irregularis*). Vale ressaltar, que os autores estudaram a resposta dos gêneros *Rhizophagus* e *Gigaspora* em relação ao ácido miristato, obtendo comportamentos diferentes nos FMA.

Portanto, os autores destacam a necessidade de obter mais informações sobre o uso de ácidos graxos na multiplicação de esporos, já que os esporos gerados dessa maneira são menores do que os produzidos simbioticamente, e tendem a apresentar baixas taxas de germinação e infectividade, o que aumenta a incerteza em relação ao desempenho (SUGIURA *et al.*, 2020).

Recentemente, Tanaka *et al.* (2022) estudando o efeito de fitohormônios, ácidos graxos e nutrientes no desenvolvimento de FMA, analisaram quatro ácidos graxos [miristato de potássio (C14:0-K), palmitoleato de potássio (C16:1 Δ 9Z-K), palmitato de potássio (C16:0-K) e ácido 2-hidroxitetradecanóico (2OH -TDA)], utilizando a concentração de 500 μ M fornecido ao meio de cultivo para o desenvolvimento de *Rhizophagus clarus*. Estes autores constataram que apenas o miristato de potássio ativou o crescimento de hifas de *R. clarum*, porém os esporos produzidos tinham baixa taxa de germinação e, por consequência, pouca formação de esporos. A adição de peptona e/ou estrigolactona ao meio, com ou sem metil jasmonato e/ou ácido jasmônico (fitohormônios), promoveram incremento na esporulação de FMA (massa e tamanho). A viabilidade da inoculação desses esporos

foi verificada em teste com cebola, indicando influência no desenvolvimento da planta. Porém, é necessário utilizar uma quantidade maior de esporos assimbióticos para refletir a mesma modificação dos esporos advindos de maneira simbiótica (TANAKA *et al.*, 2022).

2.1.2 Detecção e quantificação de FMA

A presença dos FMA no ecossistema está ligada à formação e sobrevivência dos propágulos, como as hifas, glomerosporos e fragmentos de raízes colonizadas. As hifas são estruturas mais rápidas na colonização do sistema radicular do que os glomerosporos, porém, não é indicada como fonte de inóculo, pois tendem a ter uma rápida perda na viabilidade (COELHO, 2012). Sua estimativa normalmente é verificada através do método de colonização radicular, que inicialmente envolve a coloração das estruturas fúngicas nas raízes, tratando-as com KOH e em seguida com azul de trypan ou tinta comum. A avaliação pode ser realizada por dois métodos: a interseção de linhas de grade (GIOVANNETTI; MOSSE, 1980) e interseção ampliada (MCGONIGLE *et al.*, 1990).

Segundo Bodenhausen *et al.* (2021) ambos os métodos realizam a contagem de 100 interseções, no primeiro, as raízes são observadas em placa de Petri com linhas de grade usando um microscópio de dissecação simples. O segundo método utiliza pequenos fragmentos de raízes dispostos em lâminas de microscopia, examinados com um microscópio óptico, sua diferença em relação ao anterior é a possibilidade de identificar estruturas adicionais, como os arbúsculos. Uma grande desvantagem dessa análise é a identificação, pois ambos os métodos não conseguem distinguir entre os diferentes táxons de FMA, influenciando na caracterização da comunidade de FMA (VOŘÍŠKOVÁ *et al.*, 2017).

Os glomerosporos são estruturas de resistência e normalmente são utilizados para quantificação e avaliação de eficácia (COELHO, 2012). Na contagem dos glomerosporos, é realizada inicialmente a decantação e peneiramento úmido (GERDEMANN; NICOLSON, 1963), seguido de centrifugação em água e sacarose (JENKINS, 1964) e a contagem em placas canaletadas e microscópio simples. Entretanto, nem sempre as espécies estão na forma esporulante, levando a subestimativas na quantificação e conhecimento dos FMA.

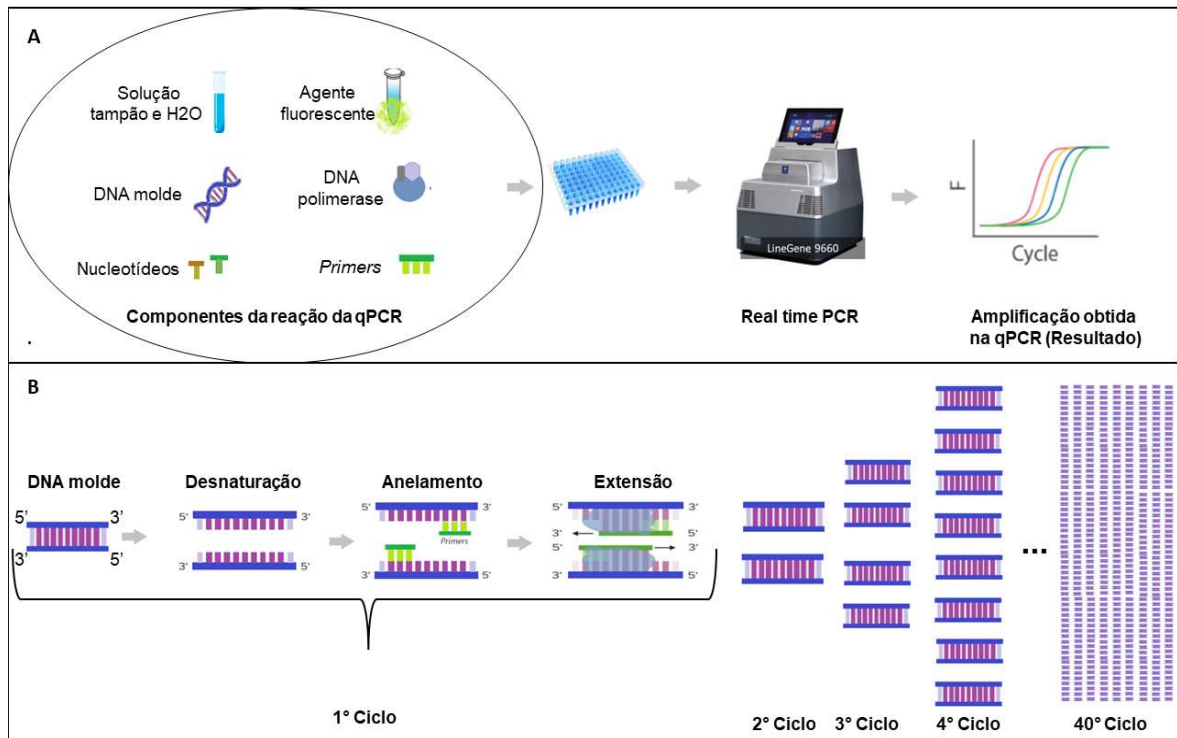
As formas de quantificação relatadas anteriormente dependem do avaliador (BODENHAUSEN *et al.*, 2021). Nas últimas décadas percebe-se o avanço das técnicas moleculares desenvolvidas para a quantificação dos FMA, que é menos dependente do avaliador (CORONA RAMÍREZ *et al.*, 2023). Uma das técnicas mais utilizadas para a identificação molecular de FMA é a reação em cadeia da polimerase (PCR) (CORONA RAMÍREZ *et al.*, 2023), que é capaz de amplificar de maneira exponencial sequências específicas de DNA mesmo em amostras complexas. Essa técnica, desenvolvida por Kary Mullis em 1983 (MULLIS *et al.*, 1986), realiza ciclos sucessivos de desnaturação e renaturação na amostra de interesse, gerando a replicação de milhões de cópias de um segmento específico de DNA em algumas horas, e o fragmento de interesse a ser amplificado é delimitado por pares de *primers* (LANFRANCO *et al.*, 1998; DORADO *et al.*, 2019). De modo geral, as sequências utilizadas para caracterização de espécies de FMA são relacionadas a genes ribossomais (18S, 5.8 e 28S) (WHITE *et al.*, 1990; MILLNER *et al.*, 1998), mas com os avanços das técnicas de sequenciamento, novas sequências têm sido disponibilizadas em bancos de dados públicos, permitindo o desenvolvimento de conjuntos de *primers* mais elaborados e específicos para aplicação em reações de PCR convencional e PCR quantitativa em tempo real (qPCR).

Na PCR convencional, a visualização do produto amplificado ocorre por meio de eletroforese em gel de agarose ou acrilamida (BUSTIN *et al.*, 2009). Por sua vez, na qPCR, considerada a segunda geração da metodologia de PCR, é possível verificar o produto de amplificação à medida em que a reação está ocorrendo, sem a necessidade de pós-processamento em eletroforese (KOKKINOS *et al.*, 2014). Com isso, a qPCR é capaz de fornecer resultados mais rápidos, além de apresentar outras vantagens em comparação a PCR convencional, a exemplo da utilização de quantidades mínimas de DNA devido a sua capacidade de detectar e mensurar a amplificação com elevada sensibilidade e precisão (SMITH; OSBORN, 2009).

A técnica de qPCR baseia-se na utilização de agentes fluorescentes intercalantes de DNA (ou sondas) adicionados ao mix de reação, que são excitados e detectados em um determinado comprimento de luz, e o sinal luminoso obtido é transformado em valores numéricos (MORGANTE; BLAWID, 2016). A detecção do sinal é diretamente proporcional a quantidade de DNA presente na amostra analisada

(DORAK, 2006). No entanto, o sucesso da qPCR depende da qualidade da amostra a ser analisada, e com isso, é necessário que o método utilizado para a extração de DNA possibilite realizar etapas de lise e purificação eficientes, evitando contaminações com inibidores de PCR e permitindo o isolamento adequado do DNA de interesse (JANOUSHKOVÁ; ČAKLOVÁ, 2020). Além disso, a seleção ou desenho de *primers* para grupos ou espécies específicas é uma etapa extremamente importante para garantir a detecção e/ou quantificação apropriada das amostras de DNA avaliadas (THONAR *et al.*, 2012; VAN GEEL *et al.*, 2014). Os *primers* são segmentos de DNA empregados na identificação de regiões específicas do DNA alvo (SIENA, 2018). No entanto, ainda são necessárias pesquisas adicionais para investigar a diversidade e estrutura das comunidades de FMA, utilizando *primers* capazes de amplificar os FMA presentes nas amostras, uma vez que existem poucos *primers* específicos desenvolvidos considerando a quantidade de espécies no grupo (THONAR *et al.*, 2012).

Voříšková *et al.* (2017) relataram o potencial da qPCR para examinar as alterações na dinâmica populacional dos FMA em diversos sistemas de cultivo, como também, ressaltaram a importância da escolha de um marcador para quantificar com precisão e obter uma interpretação correta dos dados de FMA. Thonar *et al.* (2012) utilizaram a técnica de qPCR para quantificar a presença e a diversidade dos FMA em solos da agricultura, revelando que os marcadores de qPCR desenvolvidos foram específicos e suficientes para quantificar diferentes táxons de FMA, fornecendo informações valiosas sobre a abundância e diversidade desses organismos no ecossistema. Os resultados destacam a importância de mais estudos sobre a qPCR como uma abordagem promissora voltada a aprimorar a compreensão dos FMA em ecossistemas.

FIGURA 2. Componentes e etapas envolvidas durante a qPCR.

Legenda: A- Preparo das reações e análise de resultado por qPCR. B- Etapas da qPCR.

Fonte: A- BARBOSA, MXS (2024); B- Adaptado de OISTHE; JONES; MAZA (2022).

2.1.3 FMA no desenvolvimento vegetal: ênfase em tomateiro

O tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) é considerado uma planta modelo para estudar os efeitos positivos que a micorrização pode proporcionar à planta (crescimento e produção), principalmente sob estresse (PASKOVIĆ *et al.*, 2021).

O tomateiro aumentou a concentração de N e P, quando micorrizadas por *Rhizogloium intraradices*, além de obter aumento significativo na matéria seca, número de flores e frutos, mesmo sob condição de maior intensidade de seca (SUBRAMANIAN; SANTHANAKRISHNAN; BALASUBRAMANIAN, 2006). A simbiose do FMA também foi relatada por melhorar o desempenho das plantas sob outros estresses abióticos. Por exemplo, Duc; Csintalan; Posta (2018) demonstraram que a inoculação com espécies de FMA (*Septogloium deserticola* e *Septogloium constrictum*) em tomateiro sob estresse térmico e hídrico, tendem a melhorar a proteção da planta, devido a eficiência de eliminadores do ROS (espécies reativas de

oxigênio), ou seja, catalase, peroxidase; superóxido dismutase, além da, sua condutância estomática e maior produção de biomassa.

Diversos estudos demonstraram que os FMA podem proporcionar a produção de frutos de boa qualidade, com o aumento dos metabólitos secundários, valor nutricional, funcional (BONA *et al.* 2017) e compostos voláteis em comparação ao controle (HART *et al.*, 2015).

Utilizando o inóculo de *Rhizophagus irregularis* e o hormônio Giberelina (GA3) para otimizar a produção do tomateiro comercial, foi observado aumento da área foliar, tanto para os tratamentos com FMA aplicado de forma isolada ou em conjunto, além de maior concentração de giberelina e de citocininas nas folhas do tomateiro (KHALLOUFI *et al.*, 2017).

A inoculação com FMA em duas variedades de tomates cereja (raça Giagiú – amarelo e Lucariello – vermelho) proporcionou diferença significativa em comparação às plantas não inoculadas, com aumento no número de frutos por planta, teor de nutrientes, como Ca, Mg, Na, Cu e Zn e nas características dos frutos (sólidos solúveis de frutas, matéria seca, sacarose, amido, atividade antioxidante e compostos bioativos), sugerindo que a inoculação com FMA tenha induzido modificações fenológicas, fisiológicas e metabólicas positivas (CARILLO *et al.*, 2020).

Em experimento conduzido no campo foi constatado que os FMA proporcionaram diferenças significativas nos parâmetros morfológicos do tomate (número de inflorescências por ramo, número de frutos, diâmetro do colo da planta e do fruto) em comparação às plantas não inoculadas (BONA *et al.*, 2017). Desta forma, é possível observar que a aplicação de FMA tem sido empregada como uma estratégia para mitigar os impactos adversos na produtividade, especialmente em áreas afetadas por fatores abióticos que têm impacto significativo no desenvolvimento das plantas, incluindo suas características morfológicas, fisiológicas e metabólicas, e, por conseguinte, na produção agrícola.

2.2 PRODUÇÃO DO TOMATE

Lycopersicon esculentum (tomate) originou-se entre o Peru, Equador e Bolívia, porém sua ampla domesticação ocorreu no México, por “tomatl”, caracterizado como

um fruto pequeno, com coloração amarelada e desenvolvimento espontâneo. Entretanto, devido à semelhança com *Mandragora officinarum* L., uma solanácea venenosa, os consumos foram evitados por longo tempo. Em meados de 1692, o tomate passou a ser preparado em molhos pelo chef da corte espanhola Antônio Latine, tornando um dos alimentos mais utilizado pela culinária mundial, tanto pelo consumo *in natura* (tomate fresco) ou processado (produtos à base de tomate) (BARBARA, 2005), com grande valor econômico e social. No Brasil, o cultivo do tomate (industrial ou rasteiro), só teve início no século XIX (JUNIOR, 2012).

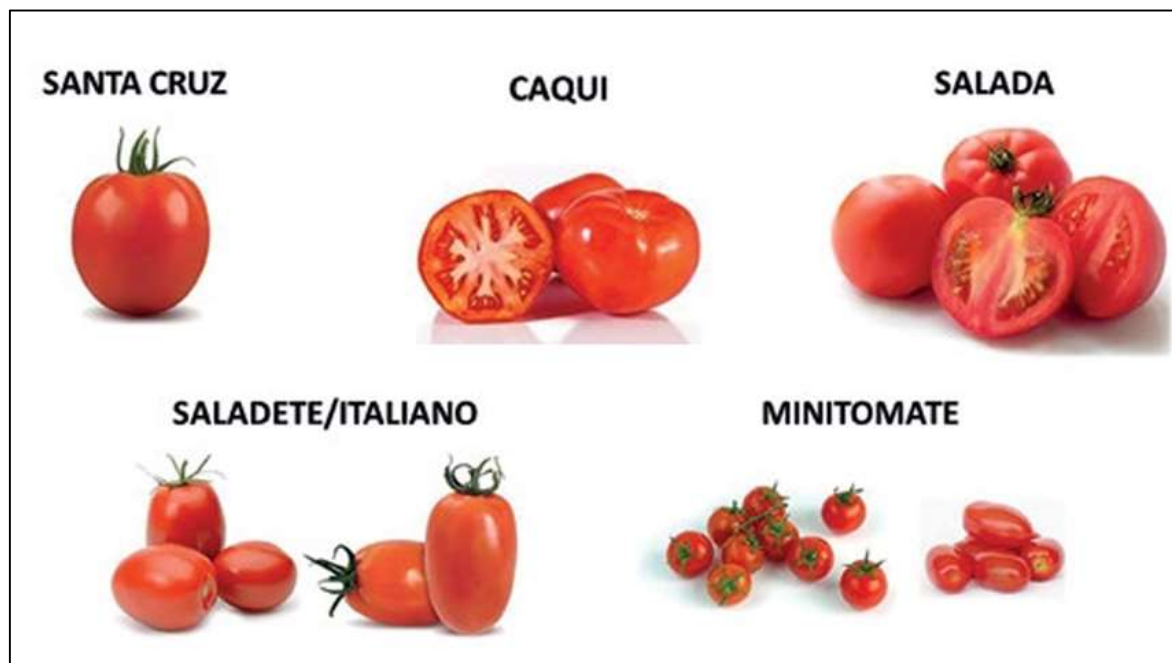
Segundo Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA) de janeiro de 2021, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, a produção nacional de tomate foi estimada em 4,0 milhões de toneladas, em aproximadamente 56.874 hectares. O Nordeste atingiu 17,9 mil hectares de área plantada, destacando-se os estados da Bahia (9,4 mil), Ceará (4,5 mil) e Pernambuco (1,9 mil) como os maiores produtores (IBGE, 2021).

Entretanto, devido os danos causados por artrópodes ou fitopatógenos, os produtores de tomate têm um grande desafio econômico para enfrentar, independente da forma de seu cultivo (estufa ou campo). Desde o momento da germinação das sementes até a colheita do fruto, o tomate está sob ameaça de diversas pragas (insetos e ácaros) e doenças, causadas por fungos, bactérias e nematoides, necessitando de proteção fitossanitária (WAKIL; BRUST; PERRING, 2018). Desta forma, é uma das culturas que necessita de intervenções e regulamentações, para elevar a produção em decorrência da sua demanda e problemáticas no campo, como a elevada quantidade de fungicidas, inseticidas e outros insumos para o controle de pragas (BUENO *et al.*, 2012).

O uso de tecnologias é uma necessidade para promover a expansão e cultivo do tomateiro. Uma das tecnologias que vem sendo bastante utilizada é o sistema de cultivo protegido, que proporciona maior estabilidade e desenvolvimento da produção, considerando que a cultura demanda muito tratamentos culturais (JUNIOR, 2012; DA SILVA *et al.*, 2020). Além disso, o desenvolvimento de cultivares melhoradas é uma alternativa para reduzir a ação dos fitopatógenos; segundo Gerszberg *et al.* (2015), existem mais de 5.000 variedades diferentes de tomates. As cultivares de tomate tipo caqui, santa cruz, salada, italiano e minitomate destacam-se entre as mais

consumidas, devido à ampla aceitação e preços acessíveis (ALVARENGA *et al.*, 2013). Dentro do grupo de minitomates encontra-se os tomates cerejas, promovidos, muitas vezes, como produtos *gourmet* devido ao sabor diferenciado em relação aos tomates do tipo salada (CAMPAGNOL *et al.*, 2017).

FIGURA 3. Principais grupos (segmentos de mercado) de tomateiro.



FONTE: Adaptado de Campagnol *et al.* (2017).

2.2.1 Tomate-cereja

O tomate-cereja (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) é uma das variedades comumente utilizada na alimentação no Brasil (DE AZEVEDO; ABBOUD; DO CARMO, 2010) e atrai, principalmente, clientes que procuram um produto exclusivo e consumidores em busca de uma experiência diferenciada, caracterizado pelo seu tamanho diminuto e sabor adocicado, utilizado em saladas, enfeites de pratos sofisticados ou mesmo puro (XIAOYING *et al.*, 2011).

Lycopersicon esculentum é uma planta dicotiledônea, que faz parte da família Solanaceae, caracterizada por possuir folhas alternadas e compostas por número ímpar de folíolos, com borda serrilhada (comprimento de 11 a 32 cm). As flores são hermafroditas, com reprodução autógama e coloração amarelada (MACHADO, 2016).

O diâmetro do fruto varia entre 18 e 29 mm e seu formato depende da cultivar podendo ser oblongo ou redondo (GONÇALVES *et al.*, 2018; KUBO, 2022). Normalmente são encontrados nos mercados, principalmente nos grandes centros, esses produtos apresentam preços bastante atrativos aos produtores que se localizam próximos aos pontos de comercialização (JUNIOR, 2012). Sua coloração pode variar entre laranja, amarela ou vermelha; frutos pequenos e biloculares, além de serem ricos em vitaminas e açúcares (EMBRAPA, 2022). O Brix do tomate cereja varia de 9 a 12° em comparação ao tomate normal que é 4 a 6° (GONÇALVES *et al.*, 2018).

Os frutos de tomate-cereja podem ser classificados de acordo com o estágio de maturação (cor), iniciando do verde (estágio 1), seguindo para o rosado (estágio 2), vermelho (estágio 3) e vermelho maduro (Estágio 4) (MONTEIRO *et al.*, 2018). Segundo Gonçalves *et al.* (2018), embora a produtividade do tomate cereja seja baixa (40 a 60 t.ha⁻¹) quando comparado ao tomate cultivado em grande escala (120 a 140 t.ha⁻¹), seu cultivo vem se ampliando devido ao elevado preço final de comercialização, superando em mais de 10 vezes o tomate tradicional.

2.3 CULTIVO *INDOOR*

A agricultura convencional vem enfrentando diversos desafios, entre esses a necessidade de aumento da produtividade, com consequente demanda por expansão territorial, desafios fitossanitários, práticas inadequadas de manejo contínuo, variação climática, administração inadequada dos recursos hídricos e uso exacerbado de produtos químicos (MAJID *et al.*, 2021). Esses desafios destacam a necessidade de abordagens para enfrentar esses problemas, como adotar sistemas de cultivos que permitam maior controle dos fatores bióticos e abióticos, e que proporcione o aumento da produtividade, sem expansão de área para cultivo.

O cultivo *indoor* é uma técnica que busca otimizar a produção de diversas culturas, pois possibilita monitorar variáveis climáticas com redes de sensores, espectro e intensidade da irradiação de luz (NEO *et al.*, 2022). Além disso, por ser um cultivo protegido proporciona o cultivo em vasos, substratos e outros métodos que incrementam a produção vegetal, pois normalmente são isentos de fitopatógenos de solo e ricos em condições favoráveis ao desenvolvimento da cultura, proporcionando produção durante qualquer época do ano (REDDY *et al.*, 2016).

Um avanço característico para esse cultivo são os dispositivos LED (diodo emissor de luz), que permitem a produção de luz intensa e de longa duração, a emissão de luz nos comprimentos de onda 400-500 nm e 600-700 nm, luz azul e vermelha, respectivamente, são correspondentes aos valores próximos aos picos de absorção dos processos fotoquímicos de uma planta. Essas faixas de comprimentos de onda estimulam a germinação, o crescimento vegetativo, desenvolvimento e floração de plantas por meio de seus pigmentos fotossensíveis (GONZALÍAS; LASSO, 2016). Mesmo com elevado custo na implantação, acredita-se que seu uso será empregado para diversas culturas na agricultura (FUKUDA et al., 2013).

2.3.1 O efeito do comprimento de onda na planta

A qualidade da luz afeta diretamente o metabolismo secundário, a pigmentação e os compostos aromáticos das plantas, sendo grande parte dos estudos concentrados nos efeitos dos espectros azul e vermelho (SMITH, 1982). Noguchi; Amaki (2016) constataram que em hortelã mexicana [*Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng.] a luz azul proporcionou maior dominância apical, com folhas mais compactas e grossas, enquanto a luz vermelha afetava diretamente o alongamento dos brotos.

A utilização das LED no cultivo de plantas é de grande interesse, principalmente por proporcionar desenvolvimento positivo e contribuir para o aumento da produtividade (MASSA et al., 2008). Vários estudos demonstraram que uma quantidade controlada de luz melhora a qualidade pós-colheita e a vida útil das culturas, induzindo a produção de nutrientes e compostos bioativos (HASAN et al., 2017).

Sabe-se que as mudanças relacionadas à luminosidade nas plantas acontecem por meio de fotorreceptores, como por exemplo, os fitocromos e criptocromos (MUNEER et al., 2014). Esses receptores geram respostas fisiológicas específicas a depender do espectro utilizado no ambiente. A luz azul está envolvida em diversos processos fisiológicos, como o fototropismo, abertura de estômatos, aumento da respiração, estimula a síntese de clorofila e carotenóides, morfogêneses (TAIZ et al., 2017; KONG; NEMALI, 2021). A luz vermelha, por sua vez, tem influência limitada em alguns processos fisiológicos por ter espectro muito próximo do máximo da absorbância (MUNEER et al., 2014). Normalmente, a luz vermelha é absorvida em

dois espectros, vermelho e vermelho-distante, que podem estimular ou inibir a germinação de sementes, o crescimento, desestiolamento, primórdio foliar, replicação de plastídios; alongamento do entrenó e outros (TAIZ *et al.*, 2017).

Izzo *et al.* (2021) avaliando duas cultivares de alface sob diferentes tipos de luzes, perceberam a luz vermelha e azul em combinação houve um aumento da taxa fotossintética e abundância de cloroplastos na folha, mas o aumento da proporção de luz azul tende a diminuição do crescimento. E para as luzes isoladas, ambas tiveram maior área, espessura foliar, número de estômatos e clorofila.

Avaliando diferentes intensidades da combinação de luz vermelha e azul em *Solanum lycopersicum*, Fan *et al.* (2013), perceberam que o tratamento com 300 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ possuíram maior biomassa, índice de saúde, maior comprimento nos parênquimas, características estomáticas.

Em experimento testando vários tipos de LEDs para melhorar o processo de enxertia no tomate (*Solanum lycopersicum* L. var. *Gangmu*), foi constatado que as mudas mantidas sob LED (vermelha 70% + azul 30%) tiveram aumento significativo da área foliar, peso seco (total, parte aérea e raiz), relação clorofila total/carotenóides, proteína solúvel, teor de açúcar, melhorando a qualidade das mudas e aumentando o sucesso da enxertia em relação aos outros tratamentos (luz vermelha; azul; e fluorescente) (YOUSEF *et al.*, 2021).

Mudas de tomate (*S. lycopersicum*) foram cultivadas sob 4 tipos de luz (vermelha; azul; vermelha/azul; e branca), e os parâmetros morfológicos, biomassa e rendimento do fotossistema II, foram semelhantes na luz vermelha/azul e branca, porém, outros parâmetros fisiológicos (clorofila a;b, carotenóides) foram mais representativos na luz vermelha/azul (IZZO *et al.*, 2020).

2.3.2 Influência dos espectros de luz sobre os FMA e plantas associadas

A intensidade da luz tem efeito diverso na colonização micorrízica e trabalhos indicam tanto aumento quanto redução em função da planta simbiote. Smith; Gianinazzi-Pearson (1990) avaliaram o efeito de diferentes irradiações de fótons em plantas de cebola (*Allium cepa* L.) inoculadas (*Glomus mosseae*= *Funneliformis mosseae*) ou não, na absorção de fosfato e perceberam que houve maior colonização

micorrízica em níveis baixos de fosfato e na maior irradiação, indicando que a irradiação influenciou em todos os tratamentos.

Em árvores tropicais (*Flindersia brayleana*, *Acmena resa*, *Cryptocarya mackinnoniana* e *Cryptocarya angulata*) com dois regimes de luz, a colonização micorrízica foi influenciada pela intensidade de luz, espécie de planta e micorrízica (GEHRING, 2003). Outro trabalho avaliou a colonização micorrízica do *Glomus intraradices* e *G. versiforme* em duas variedades de tomate (selvagem e mutante), em que os resultados indicaram que a intensidade da luz teve um impacto significativo na colonização da raiz, especialmente no tomate selvagem, pois a baixa intensidade luminosa diminuiu cerca de 50% a colonização nas plantas inoculadas com *G. versiforme* e mais de 80% nas plantas inoculadas com *G. intraradices* (MARSCHNER; TIMONEN, 2005).

Os espectros de luz podem alterar a interação fungo-planta e os efeitos benéficos proporcionados pela interação. Por exemplo, alta intensidade de luz em plantas micorrizadas (*F. mosseae*) permite variações na taxa fotossintética dependendo do dia e, por consequência, maior eficiência no ganho de C, fato que pode estar relacionado à modificação na composição foliar e/ou umidade interna da folha (BITTERLICH; FRANKEN; GRAEFE, 2019).

Pozo de La Hoz *et al.* (2021) testaram o efeito de cinco intensidades de luz sobre plantas de alface (*Lactuca sativa* L. cv. "A foglia di quercia") micorrizadas por *Rhizogloium irregulare* e não micorrizada. Os autores constataram que o estabelecimento da associação micorrízica foi influenciado pelo espectro de luz, ou seja, houve aumento na colonização micorrízica e estruturas de FMA (arbúsculos, hifas e vesículas), em que quanto maior era a intensidade de luz maior os parâmetros micorrízicos. A colonização variou de 21 a 40%, da intensidade baixa a alta. O que levou maior aporte nutricional, crescimento e resistência ao patógeno *Botrytis cinérea* Pers.

Hristozkova *et al.* (2017) investigaram o efeito de espectros de luz branca e combinações de LED (vermelho/azul e vermelho/verde) na qualidade de *S. lycopersicum* L. com e sem presença de FMA (*C. claroideum*). Eles observaram que a exposição de luz branca melhorou a fertilidade do solo (atividade de fosfatase e urease) quando os FMA estavam presentes. A combinação LED vermelha/azul

promoveu a produção da matéria fresca da parte aérea das plantas e parâmetros de troca gasosa; e a vermelha/verde aumentou a matéria do sistema radicular, atividade da urease do solo e o teor de nitrogênio nas folhas dos tomates.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 EXPERIMENTO 1 – ESPORULAÇÃO DE FMA EM ASSOCIAÇÃO COM ESPÉCIES VEGETAIS DISTINTAS E SUA RELAÇÃO COM QUANTIFICAÇÃO POR qPCR

Para produção de inóculo de FMA um experimento foi realizado em casa de vegetação na Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf) *Campus* Ciências Agrárias, localizado nas coordenadas 9°19'43"S e 40°33'9"W, no município de Petrolina - PE, no período de dezembro 2021 a março de 2022, sob as seguintes condições: temperatura média de 29,1 °C (18,7°C a 37,7 °C), umidade relativa média de 64% (21,6% a 92,3%).

3.1.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial, com quatro espécies de FMA (*Acaulospora longula*, *Entrophospora etunicata*, *Gigaspora albida* e *Rhizoglyphus clarum*) e três espécies vegetais (*Sorghum bicolor*, *Urochloa brizantha* e *Moringa oleifera*), em cinco repetições, totalizando 60 parcelas experimentais.

As plantas utilizadas caracterizam-se por possuir perfil de ácidos graxos distintos (Apêndice - Tabela 1), segundo dados obtidos na literatura.

3.1.2 Preparo do substrato, obtenção de plantas e de FMA

O solo foi autoclavado a 121 °C por dois ciclos de uma hora e a desinfestação da areia foi feita com lavagem sucessiva em água e manutenção por 24h em hipoclorito de sódio a 0,05%, após este período a areia foi lavada em água corrente três vezes e levadas à estufa de circulação forçada e expostas a temperatura de 105 °C por 48 horas.

Sementes das espécies estudadas foram desinfestadas em solução de hipoclorito de sódio a 0,05% (v/v) por 5 minutos, lavadas em água corrente e alocada em vasos contendo o substrato a base de solo e areia (3:1 v/v) para germinação.

Foram utilizadas 30 sementes por vaso para *Sorghum bicolor* e *Urochloa brizantha*, e *Moringa oleífera*, nos respectivos tratamentos.

Foram utilizadas quatro espécies de FMA: *Acaulospora longula* (acesso Univasf 55), *Entrophospora etunicata* (acesso Univasf 72), *Gigaspora albida* (acesso Univasf 32) e *Rhizoglyphus clarum* (acesso Univasf 55) disponíveis no banco de inóculo do Laboratório de Microbiologia da Univasf, *Campus* Ciências Agrárias. Para montagem do experimento foram inoculados 50 glomerosporos, a partir de uma suspensão. Para obtenção da suspensão de glomerosporos, o solo-inóculo de cada espécie de FMA foi separado, procedendo-se com a extração por peneiramento úmido (GERDEMANN; NICOLSON, 1963); seguido de centrifugação em água e sacarose 40%, por 3 e 1 minuto, respectivamente, a 2.500 rpm (JENKINS, 1964 com modificações); após extração dos glomerosporos, procedeu-se com a seleção e contagem de glomerosporos de cada espécie de FMA com o auxílio de placas canaletadas e de um estereomicroscópio (40X). Os glomerosporos selecionados foram transferidos para um papel filtro em placas de Petri e levados aos vasos para inoculação. Para inoculação, um pequeno orifício foi feito ao lado da planta, de forma a permitir a transferência dos glomerosporos com auxílio de uma pisseta com água destilada.

As plantas foram regadas com solução nutritiva e mantidas sob condições ideais de umidade, capacidade de campo de 70%, para evitar estresse hídrico.

3.1.3 Parâmetros avaliados

Quantificação da colonização micorrízica

Após quatro meses em casa de vegetação, 0,5 g das raízes finas foram lavadas e armazenadas em álcool etílico 50% até o processamento. Para o processamento, as raízes foram clarificadas e coradas utilizando a metodologia proposta por Dalpé; Séguin (2013). As raízes foram clareadas com KOH (2,5%) por 20s no micro-ondas, lavadas em água corrente e mais uma etapa de clareamento foi necessário, utilizando solução de KOH 10% e H₂O₂ 10% (1:1 v/v) por no máximo 1h. Após o clareamento, as raízes foram acidificadas com ácido acético 5% por 5 minutos; transferidas para solução de Azul de Trypan 0,05% e levadas ao micro-ondas por 20s, sendo depois armazenadas em glicerina 50% até análise. A avaliação da colonização micorrízica foi

realizada pelo método de interseção dos quadrantes (GIOVANNETTI; MOSSE, 1980), para determinar o percentual de colonização micorrízica.

Abundância de glomerosporos

Para quantificação dos glomerosporos, inicialmente fez-se a extração seguindo as metodologias propostas por Gerdemann; Nicolson (1963) e Jenkins (1964), descritas previamente. Após a extração dos glomerosporos, procedeu-se com a contagem com o auxílio de placas canaletadas e de um estereomicroscópio (40X).

Matéria fresca e seca da parte aérea e radicular

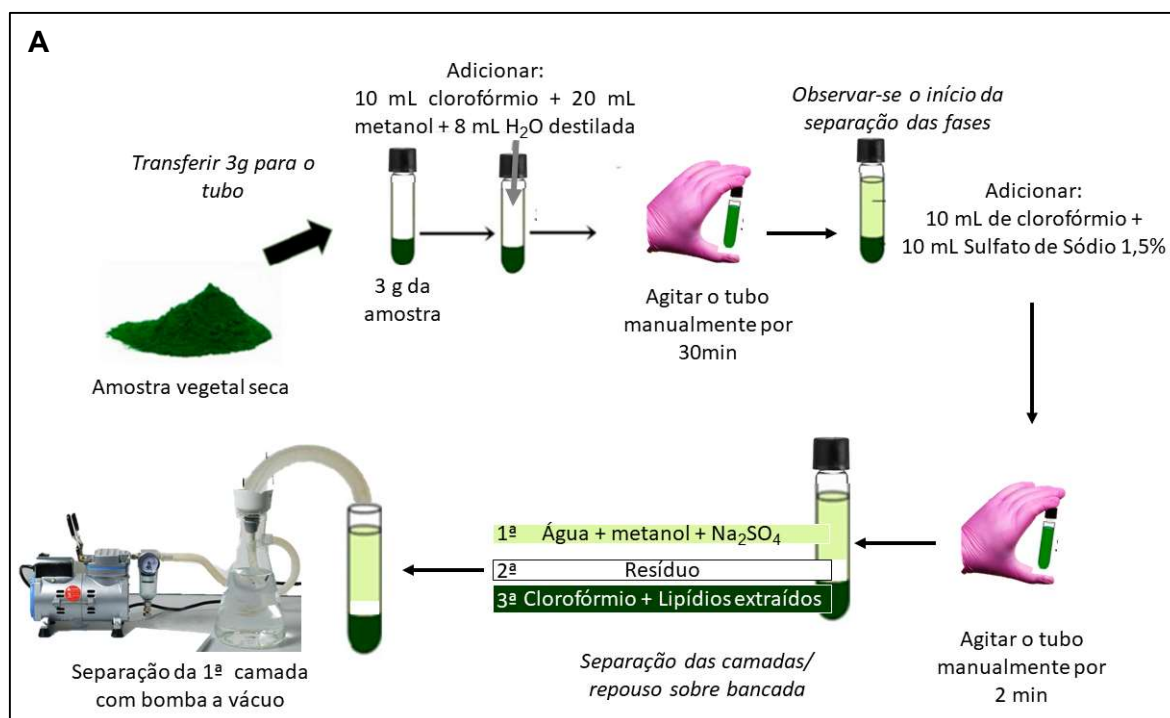
Para quantificação da matéria fresca da parte aérea e radicular, utilizou-se uma tesoura de poda para o corte rente ao solo, coletando assim a parte aérea, que foi acondicionada em sacos de papel. Em seguida foi realizada a quebra dos torrões do solo para retirar as raízes, que foram armazenadas em sacos, ambas as partes vegetativas foram levadas ao laboratório de Microbiologia do CCA-Univasf. As amostras da parte aérea foram transferidas para um coletor e pesado em balança semianalítica. As amostras de raízes, primeiramente, foram lavadas em água corrente para tirar o excesso de solo aderido. Após a lavagem, as raízes foram colocadas sobre papel toalha para tirar o excesso de água da superfície, em seguida as amostras foram pesadas em balança semianalítica. Após este procedimento, 0,5 g de raiz foram separadas para processamento e análise de colonização micorrízica. As amostras de raiz restantes foram transferidas para estufa de circulação forçada de ar a 45 °C por 72 h, pesadas em balança semianalítica até atingirem peso constante. As análises de biomassa seca e lipídios totais foram realizadas no Laboratório de Química Geral do Campus Sede-Univasf.

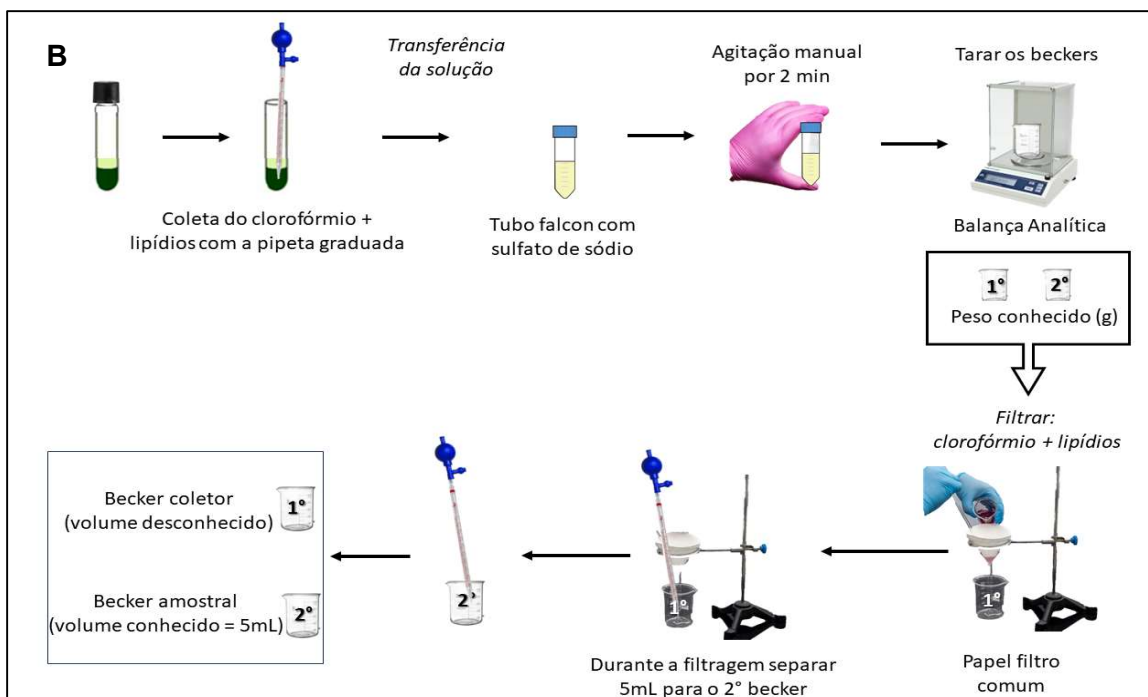
Lipídios totais

Em tubo de ensaio foram adicionadas 3 g de amostras secas e processadas em moinho de facas tipo Willye R-TE-650/1, peneiradas tamiz malha MESH 10, para o processo de extração dos lipídios, seguindo a metodologia à frio (BLIGH; DYER,

1959). Em seguida, foram adicionados 10 ml de clorofórmio, 10 ml de metanol e 8 ml de água destilada, seguido da agitação manual por 30 min. Após este período, foram adicionados 10 ml de clorofórmio e 10 ml de solução de sulfato de sódio 1,5% e mais 2 min de agitação. Posteriormente, os tubos foram mantidos em repouso para separação das camadas, descartando-se a camada superior e filtrando-se a inferior (clorofórmio + lipídios extraídos), sendo coletados no Becker coletor. Do filtrado, uma alíquota de 5 ml, com pipeta volumétrica, foi transferida para Béquer amostral previamente tarado. Após repouso para evaporação total do clorofórmio, o Bécker amostral foi novamente pesado para quantificação do resíduo lipídico extraído da amostra, sendo o valor encontrado usado para o cálculo de % de lipídios (Figura 4).

FIGURA 4. Esquema da análise da extração de lipídios totais em diferentes vegetais, pelo método de Bligh; Dyer (1959).





FONTE: A- Modificado de Yaakob *et al.* (2021). B- Barbosa, MXS (2023).

Para obtenção do teor de lipídios totais foi utilizada a fórmula:

$$\text{Teor de lipídios totais (\%)} = \frac{\text{LQ} \times 4 \times 100}{\text{g amostra}}$$

Onde:

- LQ = Lipídio quantificado no bécker amostral (g)
- g amostra = Gramas utilizada da amostra vegetal
- 4= valor constante

3.1.4 Quantificação da abundância de FMA por qPCR

A partir do experimento anterior, coletou-se 0,5 gramas de amostras de solo, que foram armazenadas em freezer -20 °C até a extração do DNA. Para esta quantificação e comparação entre os tratamentos, foi aplicado um delineamento experimental inteiramente casualizado em arranjo fatorial com quatro FMA (*A. longula*, *G. albida*, *E. etunicata* e *R. clarum*) e três hospedeiros (*S. bicolor*, *M. oleifera* e *U. brizantha*), com três repetições por amostra biológica, totalizando 36 amostras.

3.1.5 Extração de DNA e quantificação

As extrações de DNA foram realizadas utilizando o kit da Núcleo Spin®Soil, seguindo o protocolo do fabricante. A integridade do DNA foi verificada em gel de agarose 1% corado com brometo de etídio e as amostras foram analisadas quanto a sua pureza e concentração em espectrofotômetro NanoDrop 2000c (Thermo Fisher Scientific). Em seguida, as amostras de DNA foram armazenadas em ultrafreezer -80 °C até o uso nas reações de PCR quantitativa em tempo real (qPCR).

3.1.6 Seleção e desenho de *primers*

Um par de *primers* foi selecionado na literatura visando à amplificação da espécie *E. etunicata* (HELLER; CARRARA, 2022), e outros três pares de *primers* foram desenvolvidos para a identificação das demais espécies de FMA (*A. longula*; *G. albida* e *R. clarum*) (Tabela 2). O desenho dos *primers* e testes de especificidade foram realizados por meio dos programas Primer3Plus (UNTERGASSER *et al.*, 2007) e Primer-BLAST (YE *et al.*, 2012), respectivamente, considerando parâmetros adequados para uso em qPCR: conteúdo de GC 50%, tamanho do fragmento entre 70 e 150 pares de base e temperatura de Melting entre 40°C e 60°C. Adicionalmente, foi analisada a formação de dímeros de *primers* pelo programa PerlPrimer (<http://perlprimer.sourceforge.net>).

Tabela 2. *Primers* utilizados nas análises de detecção por qPCR.

Espécie	GENE	Acesso	Sequência dos <i>Primers</i>	Amplicon	Referência
<i>A. longula</i>	rpb1	HG315975. 1	F: GAAAGCCAATCAGAACGTG R: CCATACAACACGACCAACG	116 pb	Este estudo
<i>E. etunicata</i>	Glomalin	OK105178. 1	F: GGTGCAAGGTAAAAATCTTCG R: TTGAACAAGCCTAAAATCAATACAT	112pb	Heller e Carrara (2022)
<i>G. albida</i>	Glomalin	OK105156. 1	F: AAAGGACGGTGTACGGTTG R: TTTTCTTTACCTGGCACCAAG	76pb	Este estudo
<i>R. clarum</i>	RcAGL5	MZ382308. 1	F: ACGGGATAATAGGGAACCAG R: GCGTCTTTAGGTGCTTTTCC	129 pb	Este estudo

3.1.7 PCR quantitativa em tempo real (qPCR)

As reações de qPCR foram realizadas em equipamento LineGene 9660 model FQD-96A (Bioer), utilizando três réplicas biológicas e técnicas, e sistema de detecção SYBR Green. As reações foram realizadas utilizando 20 µl de volume final, sendo 10 µl de GoTaq qPCR, 0,6 µl de cada *primer* (5 µM) e volumes variáveis de água ultrapura e DNA *template* (diluição realizada para concentração final de 60 ng/µl). Em todas as reações foram utilizados controles negativos (NTC). As condições de termociclagem utilizadas incluíram uma desnaturação inicial de 95 °C por 2 minutos, seguida por 40 ciclos de 95 °C por 15 segundos (desnaturação) e 58 °C por 1 minuto (anelamento e extensão). As curvas de *melting* foram analisadas de 65 a 95 °C a cada 0,5 °C por 20 minutos visando confirmar a especificidade dos *primers*.

Os dados de abundância de cada espécie de FMA obtidos na qPCR foram correlacionados com a colonização micorrízica e o número de glomerosporos.

3.1.8 Análises estatísticas

Todas as variáveis foram testadas quanto a normalidade e homogeneidade das variâncias dos resíduos pelos testes de Shapiro-Wilk e de Bartlett, respectivamente, e quando necessário, os dados foram transformados, utilizando o pacote `bestNormalize` (PETERSON, 2021). Por respeitarem os pressupostos da ANOVA, os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) ($p < 0,05$) e ao teste de comparação de médias de Tukey ($p < 0,05$), com os pacotes `ExpDes.pt` (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2021) e `gsheet` (CONWAY, 2020) para o número de glomerosporos, colonização micorrízica, massa fresca e seca da parte aérea e radicular, e lipídios totais. Os gráficos foram feitos utilizando o pacote `ggplot2` (WICKHAM, 2016). Todas as análises foram feitas utilizando o software R versão 3.3.1 (R CORE TEAM, 2021).

Para a análise de correlação entre NG (nº de glomerosporos) x qPCR e o COL (colonização micorrízica) x qPCR, os resíduos não foram considerados normais (teste de normalidade e homogeneidade das variâncias - Shapiro-Wilk e Bartlett). Desta forma, realizou-se a análise não-paramétrica por Kruskal-Wallis com correções de Bonferroni e teste de Dunn, utilizando os pacotes `agricolae` (DE MENDIBURU, 2023)

e dunn.test (DINNO, 2017) antes da realização da análise de correlação de Pearson pelo pacote corrplot (WEI; SIMKO, 2021).

3.2 EXPERIMENTO 2 – CULTIVO *INDOOR* DE TOMATE CEREJA ASSOCIADO A FMA

3.2.1 Montagem e condução do experimento

Para montagem do experimento foram utilizados vasos contendo argila expandida e areia desinfestada, na proporção 1:3 (v/v). As plântulas de tomate-cereja foram produzidas a partir da germinação das sementes, previamente alocadas em tubos contendo vermiculita. Quando as plantas atingiram cerca de 3,5 cm, com 25 dias, elas foram transferidas para os vasos de 2 litros e inoculadas com FMA produzidos no primeiro experimento. Foram utilizados os inóculos de *A. longula* e Mix de FMA (*G. albida*, *E. etunicata* e *R. clarum*), sendo esses tratamentos selecionados com base nos resultados obtidos no experimento prévio (anterior). Em cada vaso foi inoculado solo-inóculo contendo aproximadamente 400 glomerosporos, além de raízes colonizadas e hifas. Os solos-inóculos de FMA foram pesados em balança semianalítica e transferidos para os vasos que continham cerca de 70% de substrato; o solo-inóculo foi distribuído no vaso, coberto com substrato, seguido da transferência das mudas que foram cobertas com fina camada de substrato. Após a inoculação, os vasos foram transferidos para sala de crescimento do laboratório de Biotecnologia da Embrapa Semiárido em Petrolina – PE. O cultivo foi sob sistema *indoor*, a 25 ± 2 °C, no fotoperíodo de 16h, sob irradiância de $41 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e irrigação controladas (capacidade de campo a 75%). As plantas foram cultivadas por 114 dias e uma vez por semana foram suplementadas com solução nutritiva Hoagland e Arnon (modificada por JARSTFER; SYLVIA, 1992).

3.2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados em arranjo fatorial 2x3, sendo dois os comprimentos de luz (fluorescente branca e sistema LED vermelho – 660 nm/azul – 450 nm) e três tratamentos de inoculação (Não inoculado – Controle; inoculado com *Acaulospora longula* ou MIX –*Entrophospora*

etunicata, *Gigaspora albida* e *Rhizoglyphus clarum*), em cinco repetições, totalizando 30 amostras experimentais.

3.2.3 Parâmetros de crescimento vegetativo e fisiológicos

As plantas foram avaliadas quinzenalmente quanto a altura, diâmetro do caule, largura e comprimento da folha, após o transplântio. A altura foi avaliada com auxílio de uma trena a laser, modelo Bosch–GML 50 C Profissional; o diâmetro do caule foi mensurado com um paquímetro digital; e a largura e comprimento da folha foram medidas com uso de régua milimetrada, realizando a média de três folhas por planta (ANEXO 1). A quantificação dos botões florais foi feita a partir do surgimento do 1º botão floral por planta, que ocorreu aproximadamente por volta do 30º dia (ANEXO 2).

Ao final do experimento foram avaliadas também a área foliar, espaçamento do entrenó e a biomassa fresca e seca da parte aérea.

A área foliar foi mensurada por meio da análise da imagem capturada das folhas utilizando o programa Image J, sendo fotografadas a uma altura definida e uma escala fixa de 5 cm (ANEXO 3). O espaçamento do entrenó foi obtido com auxílio de uma régua.

Para análise da matéria fresca da parte aérea, toda parte aérea foi colhida e pesada em balança de semianalítica. Logo após, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa de circulação de ar forçado a 60 °C por 72h, sendo pesadas em balança semianalítica para aferição do peso da matéria (ou massa) seca.

As clorofilas a e b foram determinadas a partir da leitura da primeira folha expandida saudável da espécie de tomateiro (ZHOU *et al.*, 2017). As medidas serão realizadas na região central da folha, evitando-se a nervura principal com auxílio de um clorofilômetro ClorofiLOG, modelo CFL 1030, seguindo a metodologia recomendada pelo fabricante (FALKER, 2008).

3.2.4 Parâmetros relacionados ao desenvolvimento dos FMA

Após quatro meses de cultivo, amostras de raízes finas (0,5 g) foram coletadas, clarificadas e coradas seguindo o método de Dalpé; Séguin (2013) e avaliadas pelo método de interseção dos quadrantes (GIOVANNETTI; MOSSE, 1980).

A extração dos glomerosporos foi feita por peneiramento úmido (GERDEMANN; NICOLSON, 1963) e centrifugação em água e sacarose (JENKINS, 1964 – com modificação). Os glomerosporos foram transferidos para placas canaletadas e contadas com auxílio de estereomicroscópio (40X).

3.2.5 Análises estatísticas

Todos os resíduos das variáveis foram testados quanto a normalidade e homogeneidade das variâncias pelos testes de Shapiro-Wilk e de Bartlett, respectivamente, e quando necessária, a transformação dos dados foi realizada utilizando o pacote `bestNormalize` (PETERSON, 2021). Por respeitarem os pressupostos da ANOVA, os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) ($p < 0,05$) e ao teste de comparação de médias de Tukey ($p < 0,05$), com os pacotes `ExpDes.pt` (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2021) e `gsheet` (CONWAY, 2020) para altura, diâmetro do caule, número de folhas por planta, largura e comprimento, área foliar, botão floral, clorofila a e b, matéria fresca e seca da parte aérea, distância entrenós, número de glomerosporos e taxa de colonização micorrízica. Os gráficos foram feitos utilizando o pacote `ggplot2` (WICKHAM, 2016). Todas as análises foram feitas utilizando o software R versão 3.3.1 (R CORE TEAM, 2021).

4 RESULTADOS

4.1 ESPORULAÇÃO DE FMA EM ASSOCIAÇÃO COM ESPÉCIES VEGETAIS DISTINTAS E SUA RELAÇÃO COM QUANTIFICAÇÃO POR qPCR

De acordo com a análise de variância, o número de glomerosporos e matéria seca da parte aérea diferiram em função do FMA utilizado. Em relação a espécie vegetal, constata-se que, além destas variáveis, a matéria fresca da parte aérea e da raiz e os lipídios totais da folha e raiz diferiram significativamente entre os tratamentos. Interação entre FMA e espécies vegetais foi observada apenas para a colonização micorrízica e matéria seca da raiz (Tabela 3).

Tabela 3. Quadro da análise de variância dos parâmetros estudados no 1º experimento.

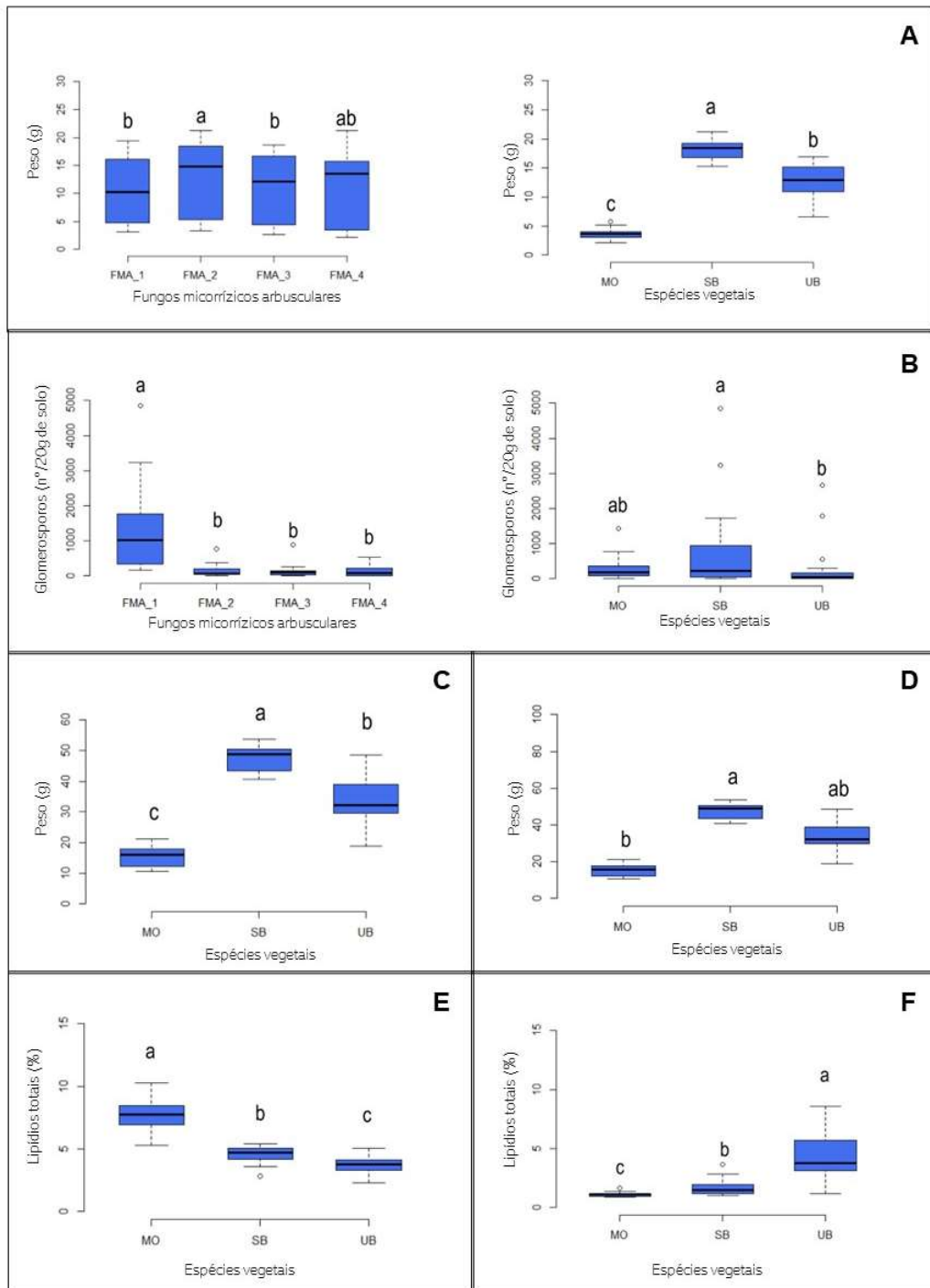
Fonte de variação	Significância das variáveis (P)							
	MFPA	MFR	MSPA	MSR	LTPA	LTR	COL	NG
FMA	2,72 ^{ns}	0,09 ^{ns}	4,69^{**}	0,38 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,38 ^{ns}	1,83^{**}	18,62^{**}
ESP	208,81^{**}	7,85^{**}	320,69^{**}	6,34^{**}	120,95[*]	38,17^{**}	31,33 ^{ns}	5,48^{**}
FMA x ESP	1,67 ^{ns}	1,56 ^{ns}	2,26 ^{ns}	3,18[*]	1,41 ^{ns}	0,73 ^{ns}	1,29^{**}	2,08 ^{ns}
CV (%)	15,41	28,56	15,87	38,66	16,27	51,41	80,21	130,62

Legenda: Fungos micorrízicos arbusculares (FMA); Espécies vegetais (ESP); Matéria Fresca da parte aérea (MFPA); Matéria Fresca da Raiz (MFR); Matéria Seca da parte aérea (MSPA); Matéria Seca da Raiz (MSR); Lipídios Totais Folha (LTPA); Lipídios Totais da Raiz (LTR); Colonização micorrízica (COL); número de glomerosporos (NG). Significativo a 5% (*) e 1% (**) de probabilidade; não significativo (^{ns}).

FONTE: BARBOSA, MXS (2023)

Em virtude das características morfológicas e fisiológicas das espécies vegetais, a matéria fresca e seca da parte aérea e fresca radicular diferiram significativamente entre si (Tabela 3). Para o sistema foliar, o fitobionte com maior matéria fresca e seca foi *S. bicolor*, seguido por *U. brizantha* e *M. oleifera* (Figura 1A); enquanto a inoculação com *E. etunicata* proporcionou maior matéria seca da parte aérea, diferindo de *A. longula* e *G. albida*, mas não de *R. clarum* (Figura 1A).

Figura 5. Matéria seca da parte aérea (A) e número de glomerosporos (B), Rendimento da matéria fresca da parte aérea (C) e do sistema radicular (D), Lipídios Totais da parte aérea (E) e da raiz (F) em função da espécie vegetal e da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares, após 4 meses em casa de vegetação.



Legenda: FMA_1: *Acaulospora longula*; FMA_2: *Entrophospora etunicata*; FMA_3: *Gigaspora albida*; FMA_4: *Rhizoglyphus clarum*; MO: *Moringa oleifera*; SB: *Sorghum bicolor*; UB: *Urochloa brizantha*. Médias seguidas da mesma letra na figura, não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

FONTE: BARBOSA, MXS (2023).

Com relação aos parâmetros micorrízicos, percebe-se que esporulação de *A. longula* foi maior em relação aos demais FMA (Figura 1B), com valores de 1367,73 glomerosporos em 20 gramas de solo, ou seja, cerca de nove vezes superior ao alcançado pelos demais fungos. As espécies vegetais que mais favoreceram à esporulação foram *S. bicolor* e *M. oleifera*, proporcionando aumento médio de 1,7 vezes o número de glomerosporos encontrado com *U. brizantha* (Figura 1B).

Houve diferença no rendimento da matéria fresca e seca da raiz, entretanto, essa diferença era esperada devido às características morfológicas de cada planta estudada (Figuras 1C e D).

A análise de lipídios totais da parte aérea e radicular demonstrou que as espécies vegetais diferem significativamente entre si ($p < 0,05$). Nota-se que o teor de lipídios das espécies vegetais apresentou variação inversamente proporcional entre as partes das plantas, conforme demonstrado nas Figuras 1E e F. Na parte aérea, *M. oleifera* apresentou maior teor de lipídios totais (7,76%), seguida de *S. bicolor* (4,55%) e *U. brizantha* (3,71%) (Figura 1E). Entretanto, no sistema radicular *M. oleifera* apresentou a menor quantidade (1,12%), quando comparada ao *S. bicolor* (1,67%) e a *U. brizantha* (4,19%) (Figura 1F).

Houve interação entre os fatores (FMA x hospedeiro) para matéria seca radicular e colonização micorrízica (Tabelas 3 e 4). Para matéria seca radicular, destacamos *U. brizantha* por ter apresentado maior acúmulo de matéria seca radicular, principalmente quando inoculada com *E. etunicata* e *G. albida*, diferindo significativamente das plantas micorrizadas por *R. clarum*, mas não de *A. longula*, que também proporcionou quase duas vezes mais biomassa seca radicular. Em geral, não houve diferença significativa entre as espécies vegetais inoculadas com *A. longula* e *R. clarum* (Tabela 4). Diferenças entre as espécies vegetais são observadas com a inoculação de *E. etunicata* e *G. albida*, principalmente em *U. brizantha* (Tabela 4).

Tabela 4. Matéria seca radicular (MSR) e colonização micorrízica (COL) em espécies vegetais inoculadas com FMA cultivadas por 4 meses em casa de vegetação.

FMA	Espécies vegetais					
	MSR			COL (%)		
	MO	SB	UB	MO	SB	UB
<i>Acaulospora longula</i>	11,49 aA	16,13 aA	17,07 aAB	11,00 abA	4,20 bB	11,80 aA
<i>Entrophospora etunicata</i>	12,22 bA	9,75 bA	22,77 aA	12,20 aA	11,40 aAB	9,00 aA
<i>Gigaspora albida</i>	9,66 bA	15,21 abA	20,89 aA	18,40 aA	18,20 aA	12,80 aA
<i>Rhizoglosum clarum</i>	12,29 aA	17,21 aA	10,31 aB	22,00 aA	28,60 aA	9,80 aA

Legenda: MO: *Moringa oleifera*; SB: *Sorghum bicolor*; UB: *Urochloa brizantha*. Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

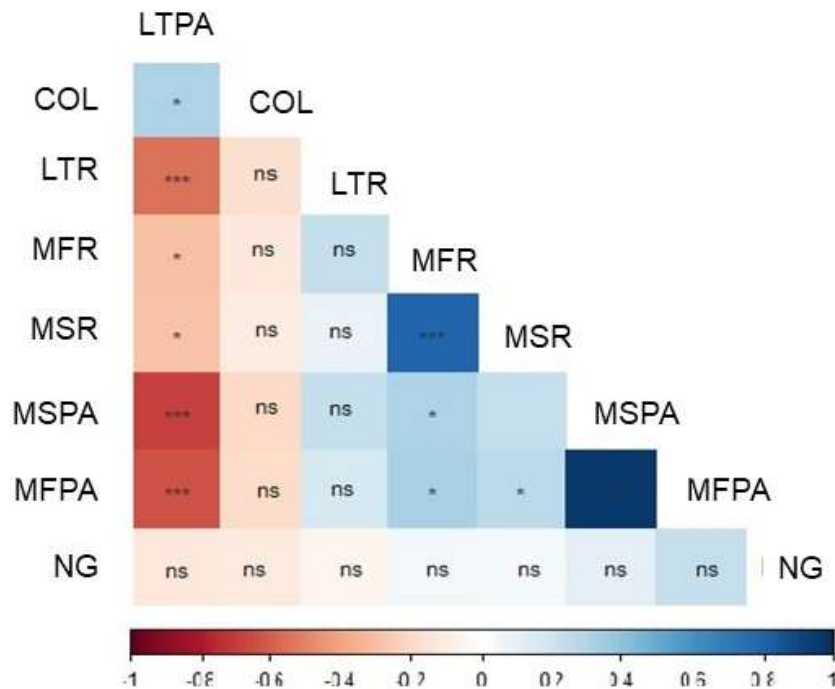
FONTE: BARBOSA, MXS (2023).

A colonização micorrízica variou de 4,2 a 28,6%, sendo tal amplitude encontrada em raízes de sorgo, respectivamente com *A. longula* e *R. clarum* (Tabela 4). Não houve diferença significativa entre as espécies de FMA no percentual de colonização micorrízica em *M. oleifera* e *U. brizantha*, mas em *S. bicolor* constata-se que a menor colonização radicular foi observada quando se inocula *A. longula* (Tabela 4).

A análise de correlação demonstrou que todos os parâmetros vegetativos e a colonização micorrízica correlacionaram-se significativamente com os lipídios totais da folha (Figura 2). Ao contrário, o teor de lipídios totais da raiz não se correlacionou com nenhuma variável analisada.

Os lipídios totais da folha (LTPA) apresentaram correlação negativa superior a 60% com a massa fresca e seca da foliar e, em menor percentual (cerca de 20%) com a massa fresca e seca radicular (Figura 2). Da mesma forma, houve correlação negativa entre LTPA e lipídios totais da raiz (LTR). Correlação positiva entre LTPA e a colonização micorrízica (COL) foi observada, mesmo com percentual em torno de 20%, considerada fraca. Em função disso, esse resultado indica uma possível correlação dos ácidos graxos da folha com a COL, ou seja, pode-se entender que estes influenciam diretamente no desenvolvimento dos FMA.

Figura 6. Estimativa dos coeficientes de correlação entre os parâmetros micorrízicos (NG- número de glomerosporos; COL- Colonização micorrízica), vegetativos (MFPA e MSPA- matéria fresca e seca da parte aérea; MFR e MSR- matéria seca e fresca da raiz), bioquímicos (LTPA e LTR– Lipídios totais da parte aérea e radicular) das plantas.



FONTE: BARBOSA, MXS (2023).

Quantificação da abundância de FMA por qPCR

O método utilizado para a extração de DNA do solo (kit comercial) mostrou-se adequado e permitiu obter concentrações de DNA suficientes para a realização das reações de qPCR. Além disso, se trata de um protocolo rápido e de fácil execução que resultou em concentração e pureza adequadas para todos os tratamentos avaliados (Tabela 5).

Tabela 5. Concentração e pureza obtidas por amostra de DNA de solo-inóculo de diferentes FMA, provindos da multiplicação em *Moringa oleifera* (MO), *Sorghum bicolor* (SB) e *Urochloa brizantha* (UB), por 4 meses em casa de vegetação.

Espécie vegetal	Concentração (ng/ µl)				Pureza A260/280			
	AL	EE	GA	RC	AL	EE	GA	RC
MO	10,23 b	11,63 a	12,13 a	14,23 a	1,88 ns	1,83 ns	1,88 ns	1,83 ns
SB	15,77 a	12,63 a	14,50 a	11,53 a	1,84 ns	1,90 ns	1,86 ns	1,85 ns
UB	13,80 b	10,63 a	11,53 a	11,67 a	1,86 ns	1,86 ns	1,84 ns	1,80 ns

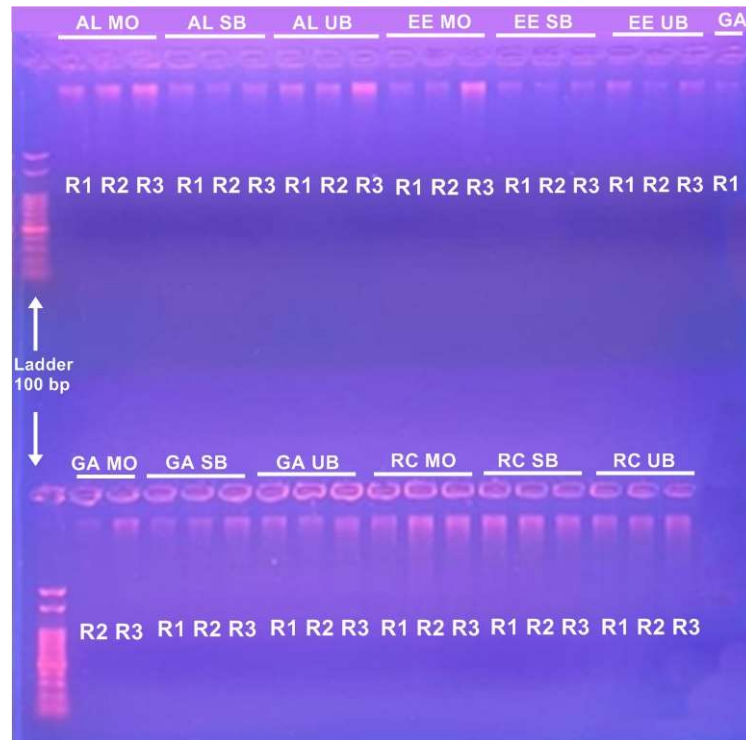
Legenda: AL- *A. longula*; EE- *E. etunicata*; GA- *G. albida*; e RC- *R. clarum*. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

FONTE: BARBOSA, MXS (2023).

A análise estatística indicou que não houve diferença significativa entre as amostras de solo-inóculo (hospedeiros e FMA) no que se refere à pureza. Por outro lado, foi observada diferença significativa para as concentrações de DNA em solo-inóculo com *A. longula*, com maior concentração de DNA obtida em *S. bicolor* em relação à *M. oleifera* e a *U. brizantha* (Tabela 5).

A integridade das amostras de DNA foi confirmada por eletroforese em gel de agarose, sendo possível observar bandas nítidas e intensas para a maioria das amostras, sem a presença de degradação do DNA isolado ou contaminação por RNA e polissacarídeos (Figura 3), confirmando a adequação do método de extração adotado.

Figura 7. Eletroforese em gel de agarose representativa das amostras de DNA extraídas do solo inóculo.

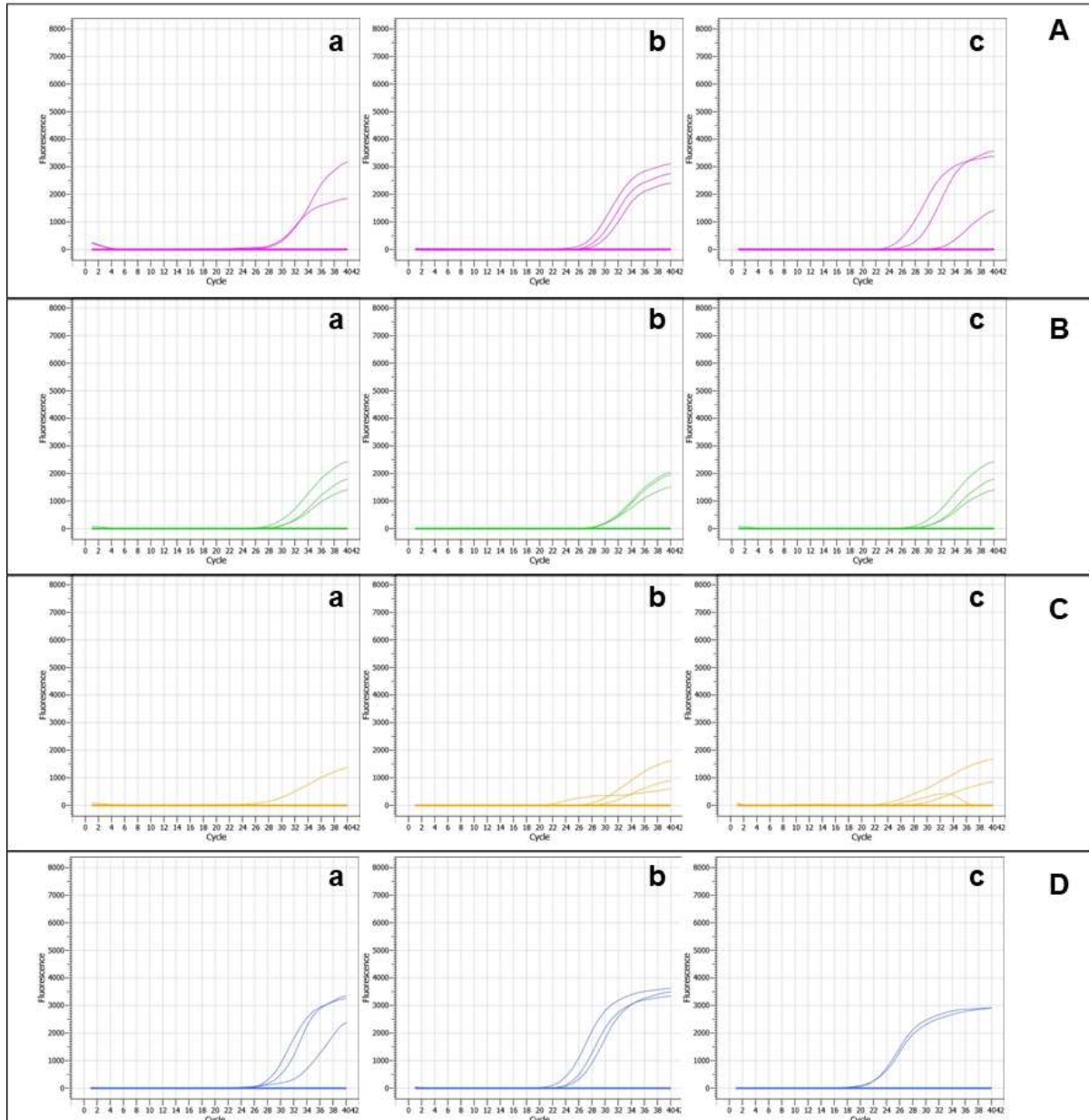


Legenda: AL MO- *A. longula* multiplicada em *Moringa oleifera*; AL SB- *A. longula* multiplicada em *Sorghum bicolor*; AL UB- *A. longula* multiplicada em *Urochloa brizantha*; EE MO- *E. etunicata* multiplicada em *Moringa oleifera*; EE SB- *E. etunicata* multiplicada em *Sorghum bicolor*; EE UB- *E. etunicata* multiplicada em *Urochloa brizantha* GA MO- *G. albida* multiplicada em *Moringa oleifera*; GA SB- *G. albida* multiplicada em *Sorghum bicolor*; GA UB- *G. albida* multiplicada em *Urochloa brizantha*; RC MO- *R. clarum* multiplicada em *Moringa oleifera*; RC SB- *R. clarum* multiplicada em *Sorghum bicolor*; RC UB- *R. clarum* multiplicada em *Urochloa brizantha*; R1- Repetição 1; R2- Repetição 2; e R3- Repetição 3.

FONTE: BARBOSA, MXS (2023).

As amostras previamente extraídas possibilitaram a amplificação do DNA do solo em todos os pares de *primers* avaliados (Figura 4). Os *primers* desenhados foram eficientes em detectar a presença das espécies de FMA em todos os tratamentos, apresentando amplificação variando de 24 a 28 Cqs para *A. longula*, de 22 a 26 Cqs para *G.albida*, 19 a 27 Cqs para *R. clarum* e de 27 a 28 Cqs para *E. etunicata*, respectivamente (Figura 4). Esses dados indicam que *R. clarum* foi a mais abundante, independente do hospedeiro, apresentando Cqs mais baixos que os observados para as demais espécies.

Figura 8. Curvas de amplificação de amostras de DNA de solo por PCR quantitativa em tempo real (qPCR) utilizando os *primers* avaliados para *Acaulospora longula* (A); *Entrophospora etunicata* (B); *Gigaspora álvida* (C) e *Rhizogloinus clarum* (D).

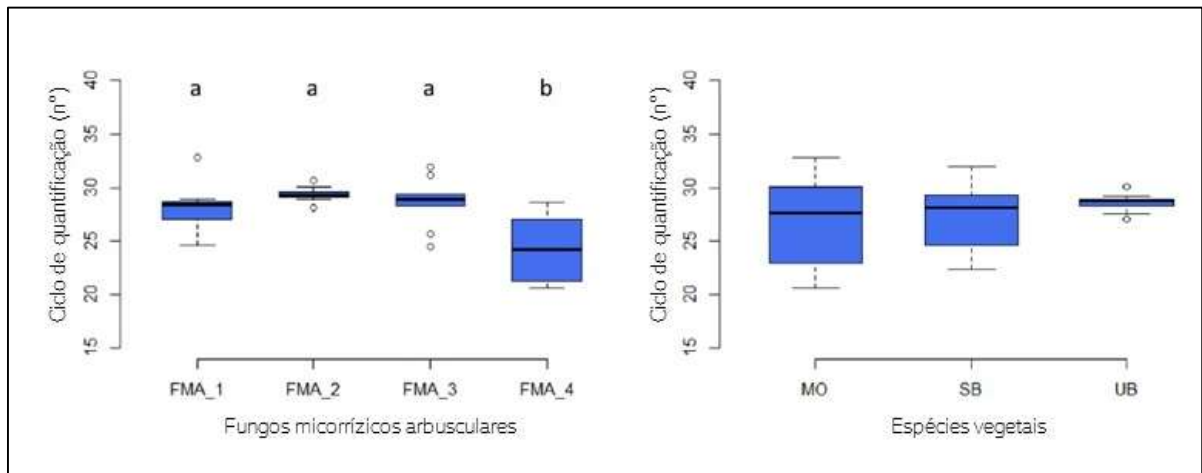


Legenda: a- *Urochloa brizantha*; b- *Sorghum bicolor*; c- *Moringa oleifera*.

FONTE: BARBOSA, MXS (2023).

Não houve diferença significativa entre as espécies vegetais para abundância de FMA por qPCR, porém quando se compara os tratamentos FMA constata-se que *R. clarum* apresentou maior abundância em relação aos demais tratamentos (Figura 5). A análise de correlação entre NG e qPCR não foi significativa ($F: 2,555$; $p: 0,08$ ns).

Figura 9. Comparação de abundância de FMA detectada por qPCR em solo-inóculo provindo da multiplicação em espécies vegetais.

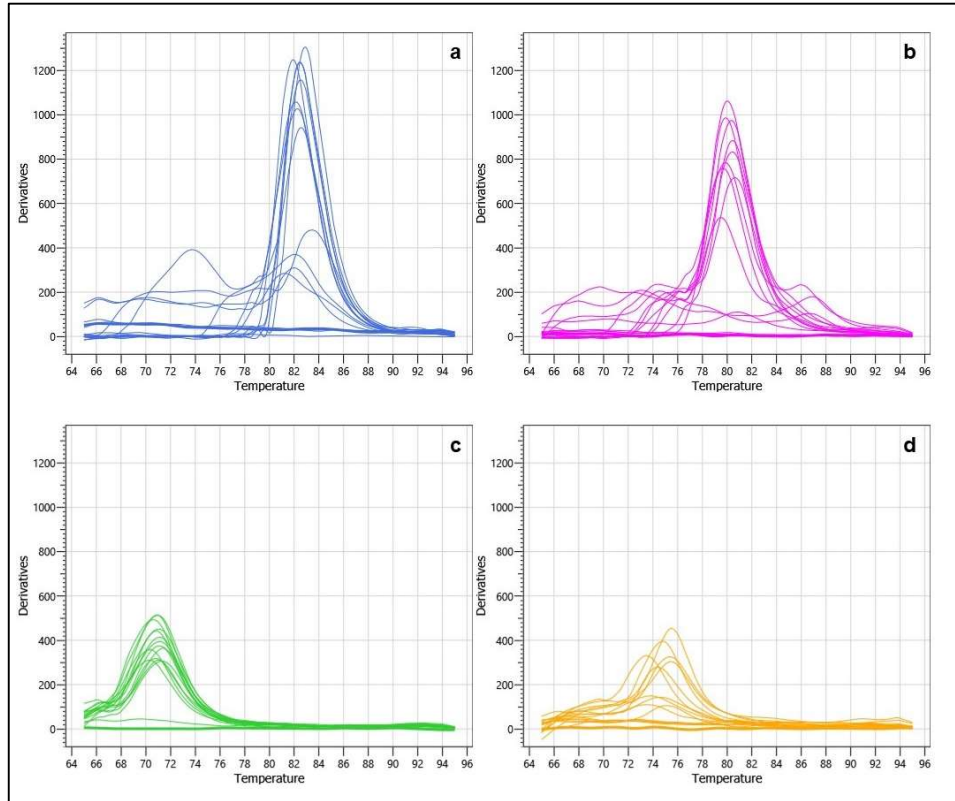


Legenda: FMA_1: *Acaulospora longula*; FMA_2: *Entrophospora etunicata*; FMA_3: *Gigaspora albida*; FMA_4: *Rhizoglyphus clarum*; UB: *Urochloa brizantha*; SB- *Sorghum bicolor*; MO- *Moringa oleifera*. Médias seguidas de mesma letra minúscula na figura, não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

FONTE: BARBOSA, MXS (2023).

As curvas de *melting* demonstraram picos únicos que atestam a especificidade do *primers* (Figura 6). As temperaturas de *melting* (TMs) observadas variaram de 80 a 84 °C para *R. clarum*, de 77 a 82 °C para *A. longula*, de 68 a 72 °C em *E. etunicata* e de 73 a 78 ° para *G. albida* (Figura 6).

Figura 10. Curvas de *melting* de amostras de DNA de solo por PCR quantitativa em tempo real (qPCR) utilizando os *primers Rhizoglomus clarum* (a), *Acaulospora longula* (b), *Entrophospora etunicata* (c) e *Gigaspora albida* (d).



FONTE: BARBOSA, MXS (2023).

4.2 CULTIVO *INDOOR* DE TOMATE CEREJA ASSOCIADO A FMA

As variáveis diâmetro do caule e clorofila a e b de plantas de tomate-cereja tratadas com intensidade de luz vermelha e azul não foram influenciadas pela inoculação e comprimento de luz (Tabela 06). Por outro lado, as variáveis altura da planta e número de folhas foram influenciadas tanto pelo comprimento de luz quanto pela inoculação (Tabela 06). As demais variáveis, tais como botão floral, entrenó, largura e comprimento da folha diferiram significativa entre os tratamentos de comprimento de luz; e a matéria seca da parte aérea foi influenciada apenas pela inoculação com FMA (Tabela 06). Houve interação significativa para as variáveis área foliar, matéria fresca da parte aérea e parâmetros micorrízicos, ou seja, número de glomerosporos e colonização micorrízica (Tabela 06).

Tabela 6: Quadro de análise de variância dos parâmetros avaliados no 2º experimento.

Variáveis	Fonte de variação			CV%
	LUZ	INÓCULO	LUZ x INÓCULO	
Altura	5,15*	14,35***	0,18	20,4
Diâmetro do caule	0,81	0,43	1,59	35,16
Número de folhas por planta	8,25**	4,63*	2,58	37,04
Largura da folha	13,68**	0,36	0,89	29,29
Comprimento da folha	4,79*	0,19	0,24	31,47
Área foliar	12,13**	4,13*	8,66**	60,86
Botão floral	20,91***	0,58	0,19	71,88
Clorofila a	0,59	0,86	2,02	37,59
Clorofila b	0,01	1,67	2,85	48,44
Matéria fresca da parte aérea	12,88**	11,28***	6,37**	37,62
Matéria seca da parte aérea	0,90	10,59***	3,06	50,82
Distância entrenós	28,12***	1,24	1,58	25,53
Número de glomerosporos	19,98***	110,21***	14,79***	40,98
Taxa de colonização micorrízica	6,39*	341,45***	8,12**	20,8

Legenda: DC- diâmetro do caule, NF- número de folhas por planta; LF-largura da folha; CF- comprimento da folha; AF-área foliar; BF- botão floral; MFPA- matéria fresca da parte aérea; MSPA- matéria seca da parte aérea; NG- número de glomerosporos; COL- taxa de colonização micorrízica. Significativo ao nível de probabilidade de 5% (*); significativo ao nível de probabilidade de 1% (**); significativo ao nível de probabilidade de 0,1% (***); não significativo (ns).

FONTE: BARBOSA, MXS (2023).

Com exceção do botão floral, as demais variáveis, como altura, entrenós número, largura e comprimento da folha em tomateiro apresentaram médias superiores sob cultivo com sistema LED vermelho/azul em relação à luz fluorescente (Tabela 7). Em geral, estes valores foram 15,58%; 39,64%; 32,43%, 32,99% e 22,36%, respectivamente acima dos observados sob luz fluorescente.

Tabela 7: Efeito de diferentes fontes de luz (fluorescente branca e LED vermelho/azul) e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares no crescimento de tomate-cereja em sistema de cultivo *indoor*, após quatro meses.

Tratamentos	H (cm)	NF (n°)	LF (cm)	CF (cm)	BF (n°)	Entrenós (n°)	MSPA (g)
Fontes de luz							
Branca	50,07 b	7,48 b	8,53 b	15,31 b	1,6 a	24,12 b	ns
Vermelho/Azul	59,31 a	11,07 a	12,73 a	19,72 a	0,4 b	39,96 a	ns
Inoculação							
Controle	46,36 b	7,2 b	ns	ns	ns	ns	1,25 b
<i>A. longula</i>	70,11 a	11,8 a	ns	ns	ns	ns	3,02 a
Mix	47,60 b	8,8 ab	ns	ns	ns	ns	1,38 b

Legenda: MIX- *E. etunicata* + *G. albida* + *R. clarum*; H- altura; NF- número de folhas; LF- largura da folha; CF= comprimento da folha; BF- botão floral; MSPA- Matéria seca da parte aérea; ^{ns} - não significativo. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

FONTE: BARBOSA, MXS (2023).

Em relação à inoculação, constatamos que a inoculação com *A. longula* promoveu aumento na altura, número de folhas e massa seca da parte aérea (Tabela 7). Apesar de o número de folhas em tomateiro inoculado com *A. longula* não diferir do inoculado com MIX, verifica-se que o aumento na altura e na massa seca da parte aérea foram maiores, aproximadamente 1,5 e 2 vezes, em relação aos demais tratamentos, apresentando incremento de 41,39% e 67,89%, respectivamente (Tabela 7).

O maior rendimento da matéria fresca da parte aérea e área foliar de tomate-cereja produzidas em cultivo *indoor* foram obtidos com a inoculação de *A. longula* sob cultivo em luz vermelha e azul, diferindo significativamente dos demais tratamentos (Tabela 8). O peso médio da matéria fresca da parte aérea alcançado em tomateiro-cereja micorrizado por *A. longula*, sob cultivo em luz vermelha e azul, foi de 29,57 g/planta, ou seja, duas vezes mais do que os valores encontrados nos demais tratamentos. Da mesma forma, a área foliar das plantas micorrizadas por *A. longula* sob a mesma condição de luz, ou seja, luz vermelha e azul foi cinco vezes superior ao observado nos demais tratamentos, com cerca de 734,50 cm² (Tabela 8).

Tabela 8: Matéria fresca da parte aérea (MFPA), área foliar (AF), número de glomerosporos (NG) e colonização micorrízica (COL) em tomateiro-cereja micorrizado ou não, em cultivo *indoor* sob luz fluorescente branca (FB) e LED vermelha/azul (LED-V/A), após quatro meses.

Tratamentos	MFPA (g)		AF (cm ²)		NG* (n°)		COL (%)	
	BRA	V/A	BRA	V/A	BRA	V/A	BRA	V/A
Controle	7,48 aA	14,31 bA	166,42 aA	278,47 bA	2,4 bA	0,8 bA	1,2 cA	1,0 cA
<i>A. longula</i>	13,31 aB	29,57 aA	126,04 aB	734,50 aA	7,8 bA	5,8 bA	16,8 bA	18,4 bA
Mix	12,39 aA	11,03 bA	253,08 aA	221,12 bA	66,8 aA	31,8 aB	79,0 aA	60,6 aB

Legenda: *- em 20 gramas de solo; Mix- constituído por *E. etunicata* + *G. albida* + *R. clarum*. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

FONTE: BARBOSA, MXS (2023).

Em geral, verifica-se que o uso de luz vermelha e azul promoveu maior desenvolvimento das plantas (Tabelas 7 e 8). Embora a inoculação com *A. longula* tenha proporcionado maior desenvolvimento do tomateiro-cereja, a colonização micorrízica e a esporulação foi significativamente menor neste tratamento, com valores abaixo de 20% e menores que 1 glomerosporo/g (Tabela 8). As análises revelaram que o comprimento de luz proporcionou diferenças na colonização micorrízica e número de glomerosporos apenas no tratamento Mix, composto por diferentes espécies de FMA (*E. etunicata*, *G. albida* e *R. clarum*). Neste caso, o cultivo das plantas sob a luz fluorescente favoreceu tanto a colonização micorrízica quanto a esporulação promovida por espécies contidas no tratamento Mix, com valores próximos a 80% e 3 glomerosporos/g, respectivamente (Tabela 8). Assim, percebe-se que a intensidade luminosa pode influenciar no estabelecimento dos FMA, aumentando a colonização e abundância de esporos dependendo das espécies de fungos estudadas.

5 DISCUSSÃO

5.1 ESPORULAÇÃO DE FMA EM ASSOCIAÇÃO COM ESPÉCIES VEGETAIS DISTINTAS E SUA RELAÇÃO COM QUANTIFICAÇÃO POR qPCR

5.1.1 Influência das diferentes espécies de planta na esporulação de FMA

Nossos resultados mostram que houve diferença significativa entre as espécies vegetais para biomassa fresca e seca do sistema radicular. Este fato provavelmente decorre da característica do sistema radicular das espécies testadas, que são distintas entre si, ou seja, o sorgo possui raízes seminais e adventícias (MAGALHÃES; DURÃES; RODRIGUES, 2008), as braquiárias possuem sistema fasciculado (CECATO *et al.*, 2004) e na moringa as raízes são pivotantes, tuberosa e com poucas raízes laterais (HOLANDA, 2019). Assim, foi observado que as raízes de sorgo e de braquiária tendem a possuir maior biomassa provavelmente devido à formação de uma rede robusta de raízes para manter o desenvolvimento da planta. O sistema radicular das plantas pode influenciar diretamente o desenvolvimento dos FMA, devido a maior oferta de substrato para estabelecimento da simbiose, e por consequência na produção do inóculo. As plantas desempenham papel vital ao estimular a esporulação por meio da liberação de compostos que servem como fonte de nutrientes aos fungos, pois, segundo Amani Machiani *et al.* (2022), aproximadamente 20% do carbono fotossintético adquiridos pela planta é transferido para os FMA na forma de açúcares e lipídios, entretanto, a concentração poderá variar dependendo do estágio de desenvolvimento da planta, da espécie vegetal e de fatores abióticos (FOLLI-PEREIRA *et al.*, 2012).

A diferença no sistema radicular, ou seja, nas características morfológicas das plantas (ARRUDA, 2020), espécie de FMA, fatores ambientais e condições de solo podem afetar a colonização micorrízica (SOUZILOVSKAIA *et al.*, 2015). Como foi observado neste estudo, a colonização micorrízica diferiu entre as espécies de FMA apenas em *S. bicolor*, com menor percentual observado com *A. longula* em relação a *G. albida* e *R. clarum*. Isto demonstra que os FMA podem apresentar tanto preferências distintas como também estratégias diferentes no investimento em micélio intra e extrarradicular.

Conforme destacado por Hart; Read; Klironomos (2001), vários fatores podem influenciar de maneira direta ou indiretamente o desenvolvimento dos FMA, como espécie de planta, condições ambientais e a mudança na sucessão ecológica que retrata a estratégia de um FMA em colonizar um novo habitat e persistir nele. Por exemplo, algumas espécies de FMA são capazes de produzir muitos esporos interceptando rapidamente as raízes da planta (rápida germinação e alongamento), mas pode ocorrer também a presença de barreiras que retardem ou impeçam o estabelecimento da simbiose, influenciando na formação e propagação da colonização micorrízica.

Alguns estudos mostram que a colonização micorrízica por *A. longula* em sorgo pode ser superior ao observado em nosso estudo. Dentre estes, Nakmee; Techapinyawat; Ngamprasit (2016), ao estudarem diferentes espécies de FMA em associação com *S. bicolor* sob condições controlada (pH 6,9 do solo e teores elevados de P) por cerca de 120 dias, observaram que *A. longula* alcançava 19,59% de colonização radicular e 11,7 esporos/grama, sendo estes valores menores do que os observado com algumas espécies do gênero *Glomus* (22,88% de COL e 13,60 esporos/grama). Embora a colonização micorrízica promovida por *A. longula* em sorgo tenha sido baixa (4,2%), a esporulação foi superior (74,7 esporos/g – Apêndice Tabela 3), fato que reforça a influência das condições de cultivo, bem como do isolado utilizado nos trabalhos. Os valores elevados dessa esporulação podem ser associados a família que *S. bicolor* pertence (Poaceae), pois, conforme Carneiro *et al.* (2012) esses hospedeiros estimulam a colonização micorrízica e a formação de propágulos. Embora a braquiária e o sorgo pertençam a mesma família (Poaceae), com sistema radicular similar, a esporulação dos FMA em sorgo foi superior ao encontrado em braquiária, de forma que outros fatores, além do sistema radicular, desempenharam papel na propagação das espécies de FMA estudadas.

A diferença dos parâmetros micorrízicos também pode estar relacionada ao sistema de cultivo, como relatado por Gai *et al.* (2015) ao avaliar e comparar os propágulos infectivos entre vários tipos de solos, profundidades e manejos. Estes autores indicaram que, possivelmente, a colonização micorrízica promovida pelos FMA estudados possa aumentar quando inoculados em campo, devido às práticas de manejo associada a uma determinada planta, que influenciará na interação biológica

por meio das condições ambientais, tipo de solo e outros fatores que determina o desenvolvimento e benefícios dos mesmos.

Sabe-se que os lipídios totais desempenham alguns papéis cruciais no funcionamento das plantas, como armazenamento de energia, na composição da estrutura celular, processos metabólicos e proteção (TAIZ *et al.*, 2017). Sendo assim, essencial para integridade e adaptação das plantas as condições ambientais adversas, como por exemplo mudança na temperatura, que podem alterar o conteúdo lipídico das plantas (RESZCZYŃSKA; HANAKA, 2020). Nesse estudo, os teores de lipídios variaram de 3,71 a 7,76% na parte aérea e 1,12 a 4,19% no sistema radicular, a depender da espécie de planta. As condições impostas em nosso estudo proporcionaram teores de lipídio divergentes a outros trabalhos, como Vanhercke *et al.* (2019) que encontraram nas folhas do *S. bicolor* (tipo selvagem e transgênico) teor de lipídio médio de 6,9%. Isso sugere que provavelmente o manejo desse estudo (uso de FMA, solução nutritiva, substrato, irrigação e outros) exerceram influência direta no teor lipídico deste órgão vegetal.

Amaglo *et al.* (2010) encontraram variação de 5,04 a 7,21%, para parte aérea e 3,27 a 8,89% na raiz na *M. oleifera*, ressaltando que a quantidade de lipídios totais estava diretamente relacionada ao estágio em que a planta se encontrava e a parte vegetativa coletada para análise. Em nosso estudo, os teores de lipídios encontrados na parte aérea são similares ao obtido por Amaglo *et al.* (2010), porém os teores no sistema radicular foram inferiores, mesmo as plantas possuindo idade similar, ou seja, cerca de 3-8 meses. Os valores encontrados por Saini; Shetty; Giridhar (2014) em plantas com dois anos foram menores, ou seja, o teor de lipídios variou de 4,59 a 4,82% em folhas de cultivares de *M. oleifera*. Tais diferenças podem ser decorrentes das cultivares, do estágio de desenvolvimento, da parte coletada e das condições experimentais, considerando que a biossíntese de ácidos graxos é influenciada pela nutrição da planta.

O teor de lipídios contém quantidade de ácidos graxos (AG) diferentes a depender da espécie vegetal, como também, pode apresentar variação significativa na sua composição devido ao meio em que as plantas crescem (RESZCZYŃSKA; HANAKA, 2020). Um dos AG de grande importância nas plantas é o ácido palmítico

(SIDOROV *et al.*, 2014), reportado também como um dos principais ácidos no desenvolvimento assimbiótico dos FMA (KAMEOKA *et al.*, 2019; SURGIURA *et al.*, 2020).

A partir do levantamento bibliográfico sobre o perfil de ácidos graxos (Apêndice Tabela 1), verificamos que os principais ácidos graxos das plantas estudadas (parte aérea e raiz) são o ácido palmítico (C16:0) e linolênico (C18:3) e ácido oleico (C18:1), porém, com concentrações distintas entre as espécies. O ácido palmítico está presente em todas as espécies vegetais testadas em nosso estudo e apresenta as maiores concentrações, destacando-se *S. bicolor* que apresentou maior concentração do ácido palmítico na parte aérea ($68,14 \pm 11,04\%$). Segundo Kameoka *et al.* (2019), esse ácido induz a formação de hifas e esporos de algumas espécies de FMA (*R. irregulares* e *R. clarum*) na fase assimbiótica. Em nosso estudo, *S. bicolor* foi a espécie multiplicadora mais favorável à esporulação dos FMA testados, fato que pode indicar possível influência do ácido palmítico na propagação das espécies de FMA em cultivo simbiótico em substrato.

Outro ácido graxo presente nas espécies vegetais testadas que merece destaque é o ácido palmitoléico, que vem sendo objeto de estudo devido à influência no desenvolvimento dos FMA. Em estudo conduzido por Kameoka *et al.* (2019) foi observado que a presença do ácido palmitoléico na propagação assimbiótica de *R. irregulares*, leva à ramificação de hifas e formação de esporos. Os autores destacaram que comparativamente à reprodução simbiótica, os esporos de *R. irregulares* apresentavam diferença na sua morfologia, com tamanho inferior e paredes mais finas, além de redução na taxa de germinação.

Em outra pesquisa, outros ácidos graxos, além do palmitoleico, tiveram influência no desenvolvimento dos FMA, tais como os ácidos láurico e, principalmente, o ácido miristato, na forma de miristato de potássio (C14:0 - K), que possibilitou a produção de hifas longas e aumento na biomassa de *R. irregulares*, bem como de *R. clarum* e *G. margarita* (SUGIURA *et al.*, 2020).

Posteriormente, analisando a viabilidade dos esporos de *R. clarum* gerados assimbioticamente foi verificada influência no crescimento da cebola (TANAKA *et al.*, 2022). Entretanto, os autores indicaram a necessidade de utilizar maior quantidade de

esporos em comparação aos esporos produzidos de maneira simbiótica visando a promoção equivalente do desenvolvimento da planta.

O uso de ácidos graxos tem demonstrado ser um promotor no desenvolvimento dos FMA, podendo ser um ponto chave para o direcionamento na produção de inóculo de FMA. As plantas utilizadas nesse estudo podem proporcionar ácidos graxos para tal finalidade, tendo em vista, que o ácido palmitoléico está presente, principalmente no sorgo, e pode ter influenciado positivamente a promoção da esporulação dos FMA associados a esta espécie. Tal proposição foi reforçada com a correlação positiva encontrada entre o teor de lipídios da parte aérea e a colonização micorrízica.

Além da correlação com a colonização micorrízica, os lipídios totais das folhas também foram significativamente correlacionados com todos os parâmetros vegetativos, evidenciando assim, possível correlação dos ácidos graxos da parte aérea das plantas com a produção dos FMA. Vislumbrando essa possibilidade, é importante salientar que, apesar de o sorgo ter possibilitado menor colonização micorrízica por *A. longula*, maior número de glomerosporos e maior concentração do ácido graxo palmítico é observado nesta espécie vegetal. Assim, podemos sugerir o uso de *S. bicolor* para produção de inóculo de *A. longula* em cultivo convencional utilizando substrato a base de areia e vermiculita.

Vale salientar, que é necessário mais teste com espécies de FMA e de plantas e, principalmente a análise do teor específico de cada ácido graxo, que poderá indicar de forma mais clara a quantidade de cada ácido presente nos órgãos da planta.

5.1.2 Uso da qPCR para a detecção de FMA

O método de extração de DNA do solo foi eficaz e suficiente, proporcionando uma pureza e concentração adequadas. Segundo Lucena-Aguilar *et al.* (2016), os valores > 1,8 na proporção de 260/280nm são considerados adequados, sendo que o valor 1,8 reflete DNA puro. Os valores obtidos ficaram 1,83 e 1,90, considerados adequados para análises subsequentes, tais como a qPCR.

Pesquisas destacam que a combinação de qPCR com a utilização de *primers* adequados tem demonstrado ser capaz de detectar com maior precisão um grupo

específico de FMA. Os *primers* AML1 e AML2 foram utilizados para quantificar a abundância dos FMA em amostras de solos e raízes de variedades de *S. bicolor* e a confirmação da efetividade dos *primers* foi detectada quando essas amostras foram comparadas com amostras de folhas, em que não houve amplificação (SARR *et al.*, 2021).

Thonar *et al.* (2012) relataram a especificidade de *primers* na detecção e quantificação dos isolados de FMA, capazes ainda de distinguir isolados da mesma espécie dos outros grupos de taxonômicos de FMA, possibilitando a detecção de algumas espécies de FMA em raízes de milho, tais como *Glomus intraradices* (= *Rhizoglomus intraradices*), *Glomus claroideum* (= *Claroideoglomus claroideum*), *Glomus mosseae* (= *Funneliformis mosseae*), *Gigaspora margarita* e *Scutellospora pellucida* (= *Cetraspora pellucida*). Outro trabalho, avaliando as raízes de *Vitis vinifera* micorrizada por *Rhizophagus irregulares* pelo método de qPCR e avaliação das estruturas dos FMA por microscópica (combinação de técnicas para avaliar todas as estruturas de micorrízicas dentro e fora da raiz), demonstrou correlação entre os métodos de avaliação, indicando que essa ferramenta poderá ser utilizada para detectar presença, ausência e intensidade dos FMA (LABONOVA; SINEUX; ZEKRI, 2018).

Assim, os *primers* reportados na literatura, bem como desenhados, foram eficazes em detectar as espécies testadas neste estudo (*A. longula*, *R. clarum*, *E. etunicata* e *G. albida*). Além disso, as curvas de *melting* forneceram informações sobre a especificidade e confiabilidade, em nossos resultados percebe-se que as curvas refletiram o padrão esperado mostrando que os *primers* de todas as espécies de FMA foram específicos. Segundo Tomaz; Santos; Santos (2016), a temperatura fica em torno de 70 a 90 °C para a realizar a dissociação da fita dupla de DNA.

Arruda (2020) reportou algumas evidências de correlação entre as análises microscópicas analisando a intensidade de colonização micorrízica pelo método de Trouvelot (1986) e a qPCR, principalmente para *Acalouspora colombiana* e *Dentiscutata heterogama*. Por outro lado, algumas espécies não exibiram correlação elevada entre os métodos, como *R. clarum*. Os autores descrevem essa diferença por causa da heterogeneidade na inoculação das raízes, tipo de planta, experiência do avaliador e o conjunto de *primers* utilizado.

A análise de correlação realizada entre qPCR, número de glomerosporos do solo-inóculo e colonização micorrízica de FMA não foi significativa. Embora a quantidade de glomerosporos tenha sido maior em *A. longula*, a abundância por qPCR foi maior em *R. clarum*, fato que também é verificado na colonização radicular. Visto que no solo diferentes estruturas dos FMA podem ser encontradas, e.g. micélio externo, além de esporos, que apresentam variação no número de núcleos ao longo do desenvolvimento (MARLEAU *et al.*, 2011), o equacionamento desta correlação ainda precisa ser melhorado. Adicionalmente, deve-se considerar que fatores como número e tamanho de núcleos encontrados nas diferentes estruturas dos FMA, tanto dentro como entre as espécies, variam bastante (KOKKORIS *et al.*, 2020) e podem influenciar na análise de correlação.

Por exemplo, um único esporo pode comportar centenas ou até mesmo milhares de núcleos, com variação entre família, gênero ou espécie (MARLEAU *et al.*, 2011), tal fato reflete em variação no conteúdo de DNA, como reportado para espécies de família Gigasporaceae (HOSNY; GIANINAZZI-PEARSON; DULIEU, 1998; BÉCARD *et al.*, 1993). Realizando a quantificação de núcleos por análise de imagens, Silva *et al.* (2015) mencionaram variação de 155 a 1215 no número de núcleos para *E. etunicata* e de 87 a 1657 para *G. albida*. Esta variação intraespecífica pode ser decorrente também do diâmetro do esporo, visto que Marleau *et al.* (2011) demonstraram que esporos de *R. irregularis* de menor diâmetro (31-40 μm) apresentavam cerca de 50 núcleos, enquanto os de maior diâmetro (94-103 μm) possuíam aproximadamente 220 núcleos. Desta forma, estudos devem buscar melhor entendimento e equalização destas variáveis, de forma a estabelecer protocolos para monitoramento dos FMA em campo e na análise quantitativa de inoculantes.

5.2 CULTIVO INDOOR DE TOMATE CEREJA ASSOCIADO A FMA

A luz afeta diretamente o crescimento e desenvolvimento das culturas vegetais, incluindo formação de raízes, morfologia da folha, produção de flores e frutos e resistência a fatores abióticos. Diversos estudos demonstram a influência da luz vermelho e azul sobre a fotossíntese (SONGSAENG *et al.*, 2022), em que a energia luminosa gera ATP e NADPH para serem utilizados na fixação de carbono, ativação de pigmentos e cloroplasto (TAIZ *et al.*, 2017). Por outro lado, apesar de vários

estudos reportarem a associação dos micro-organismos no sistema radicular, existe uma lacuna na exploração sobre o papel do espectro de luz sobre a simbiose micorrízica (HRISTOZKOVA *et al.*, 2017).

O comprimento das luzes nesse experimento influenciou diretamente no desenvolvimento do tomate-cereja, em que é evidente a diferença nas variáveis analisadas. O sistema LED vermelha/azul proporcionou maior crescimento vegetativo de tomate-cereja, principalmente à altura, espaçamento entrenó e características das folhas (número, comprimento e largura). Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Hristozkova *et al.* (2017), em que a luz azul e vermelha proporcionou maior altura do tomate em relação a luz fluorescente branca. Porém, resultados discrepantes foram encontrados por Izzo *et al.* (2020) em mudas (aos 16 dias) de outra espécie de tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. 'Piennolo'), relatando que não houve diferença no espaçamento entrenó e na área foliar independente da luz utilizada (fluorescente branca e LED vermelha e azul). Isto sugere que as espécies vegetais e o tempo de exposição devem ser considerados no entendimento dos resultados

Recentemente, Songsaeng *et al.* (2022) demonstraram que as luzes vermelha/azul podem proporcionar maior peso seco e fresco da parte aérea em relação à luz fluorescente branca, e que não houve diferença significativa para altura da planta e área foliar. Salienta-se que resultados conflitantes do efeito do espectro de luz sobre o tomateiro são reportados (LIU *et al.*, 2011; NANYA *et al.*, 2012; WOLLAEGER; RUNKLE, 2014), demonstrando que proporções de luz vermelha e azul são responsáveis por tais diferenças nas variáveis morfoagronômicas em tomateiro. Além desses, Izzo *et al.* (2020) constataram que após 16 dias sob luz branca a altura das mudas de tomate era maior do que sob luz azul e vermelha. Isso pode indicar que, inicialmente, as plantas tendem a responder por um determinado tipo de luz. Visto que nosso experimento foi colhido após 114 dias, nossos resultados indicam que o uso de sistema LED vermelha/azul com fotoperíodo de 12h mostrou-se adequado para incrementar o desenvolvimento vegetativo do tomateiro-cereja.

Em contraste, a quantidade de botões florais foi maior sob luz fluorescente branca, sugerindo retardo da fase reprodutiva do tomate cereja com o uso de luz vermelha/azul. Embora *Ageratum houstonianum* também tenha apresentado maior número de botões florais sob luz fluorescente, a exemplo do nosso resultado, em

Tagetes erecta e *Salvia splendens* mais botões florais foram encontrados sob luz vermelha e azul (HEO; LEE; PAEK, 2006). Em mirtilo a luz vermelha e azul também propiciou maior floração em relação a luz fluorescente, demonstrando a influencia direta da luz azul sobre os botões florais (CHO *et al.*, 2018). O aumento da quantidade de botões florais pode ocorrer quando se utiliza luz LED suplementar, demonstrando que a intensidade da luz desempenha um papel na indução floral e pode melhorar o rendimento de forma sustentável (WANG *et al.*, 2020).

Além disso, constatamos que a inoculação com FMA pode influenciar no desenvolvimento do tomate cereja, especialmente com o uso de *A. longula*, que proporcionou maior altura e número de folhas. Resultado semelhante foi encontrado por Hosamani (2023), em que as plantas de tomate inoculadas por *Rhizoglyphus fasciculatum* possuíam maior número de folhas (2x) em relação as plantas não micorrizadas. Por outro lado, o uso de mix de FMA não proporcionou o incremento esperado nas variáveis de crescimento do tomateiro, sendo similar ao controle. Testando vários genótipos de tomate, Felföldi *et al.* (2022) demonstrou que o uso inoculante comercial Symbivit constituído por mix a base de *R. irregularis*, *E. etunicata*, *C. claroideum*, *Funneliformis mosseae* e *F. geosporum* produziu resultados variados, ou seja, alguns genótipos apresentavam o mesmo número de folha que o controle (sem FMA). Este resultado reforça a importância de selecionar combinações favoráveis às condições de cultivo, assim como, um melhor entendimento das interações que podem ocorrer entre as espécies de FMA presentes no sistema radicular.

A área foliar é afetada diretamente pelas condições de cultivo, nesse trabalho constatamos que plantas de tomate-cereja micorrizadas por *A. longula* apresentavam maior área foliar sob luz vermelha/azul diferindo dos tratamentos controle e mix de FMA, porém sob luz branca esta diferença inexistente. Por outro lado, o aumento na intensidade de luz azul e vermelha, na proporção 1:1, no cultivo com tomate-cereja trouxe redução na altura e área foliar (FAN *et al.*, 2013). Recentemente, Songsaeng *et al.* (2022) demonstraram que o uso de luz vermelha e azul na intensidade de 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ diminui a área foliar em relação as demais intensidade de luz vermelha e azul (100 a 500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), como também a fluorescente. Indicando mais uma vez que a intensidade utilizada foi ideal para propor uma área foliar maior e por

consequência aumento da área fotossintética. Apesar de que não houve diferença significativa para as clorofilas a e b em nosso estudo, corroborando com outros estudos (HERNÁNDEZ *et al.*, 2016).

Da mesma forma que a área foliar, a matéria seca da parte aérea do tomate cereja aumentou significativamente com a inoculação com *A. longula*; adicionalmente, o cultivo sob luz vermelha/azul resultou em maior matéria fresca da parte aérea em plantas micorrizadas por este fungo. Ao contrário, Wang *et al.* (2022) não observaram promoção do crescimento de tomate cereja com a inoculação de FMA (*Funnelliformis mosseae*, *R. intraradices*, *Glomus versiforme* e uma mistura igual dos três FMA) em cultivo com diferentes proporções de turfa e areia.

Por outro lado, estudos relatam a influência da luz nos parâmetros morfoagronômicos das plantas, dentre estes, a matéria fresca e seca da parte aérea e radicular, que diferiu sob luz fluorescente branca e LED vermelha/azul, sendo esses efeitos potencializados pela inoculação com *Entrophospora clarioidea* (= *Clarioideoglomus clarioideum*) (HRISTOZKOVA *et al.*, 2017). Similarmente, em cultivo *indoor* de tomate cereja sob LED-V/A, a aplicação de *A. longula* promoveu maior acúmulo de matéria fresca da parte aérea, mas este benefício da simbiose não ocorreu com o uso de mix de FMA, indicando que combinações mais favoráveis devem ser selecionadas sob este tipo de cultivo.

Em nosso estudo não detectamos influência do fator luz de forma isolada sobre a matéria seca de tomateiro, embora Nanya *et al.* (2012) tenham demonstrado que a massa seca do tomate tenha sido influenciada pela luz e sua intensidade, obtendo maior valor com o uso de luz vermelha e azul. Da mesma forma, Hernández *et al.* (2016) obtiveram maior matéria seca das plantas em mudas cultivadas sob proporções azul e vermelho em relação à luz fluorescente branca, principalmente nas intensidades 30B:70R e 50B:50R. Os resultados distintos encontrados podem ser decorrentes do uso combinado ou monocromático de luz, visto que uso de LED monocromático pode trazer aumento na matéria seca do tomateiro, como observado com espectro azul por Liu *et al.* (2011) e vermelho por Wollaeger; Runkle (2014).

Nossos resultados demonstram que sistema LED vermelho/azul favoreceu o desenvolvimento de tomate cereja micorrizado por *A. longula* de forma mais

acentuada do que com a aplicação de mix de FMA e controle, embora o NG e COL tenha sido menor com esta espécie.

Alguns trabalhos atribuem a ausência de benefício dos FMA no crescimento vegetativo do tomateiro à baixa colonização micorrízica, ou seja, menor que 25% (BANLA *et al.*, 2015; SMITH; SMITH; JAKOBSEN., 2004). No presente estudo, o percentual de colonização micorrízica nas raízes de tomateiro por *A. longula* foi inferior a 20%, entretanto maior benefício no crescimento vegetativo foi obtido com este fungo em relação ao mix de FMA, que apresentou colonização radicular superior a 50%. Os valores superiores a 50% podem ser decorrentes da habilidade de cada espécie de FMA em explorar o sistema radicular, que pode, inclusive ter dinâmica de colonização distinta, sem o estabelecimento de troca efetiva para beneficiar o desenvolvimento do tomate cereja.

Observa-se que o espectro de luz influencia os FMA de forma diversa, pois sob FB o tratamento com o mix de FMA teve maior esporulação e colonização micorrízica comparada a LED-V/A, mas tal resultado não foi constatado para o tratamento com *A. longula*. Ressalta-se ainda que a indiferença ao tipo de luz utilizada (fluorescente branca; vermelho e azul; vermelho e verde) também foi observada, a exemplo de *Entrophospora claroidea*, que teve colonização micorrízica maior que 64% nos diferentes espectros de luz (HRISTOZKOVA *et al.*, 2017).

Visto que o tratamento mix de FMA era composto por *E. etunicata*, *G. albida* e *R. clarum*, a análise da colonização micorrízica utilizando métodos visuais não possibilitaram distinguir quais espécies podem ter sido mais influenciadas pela luz FB. Para algumas espécies de *Gigaspora* a luz monocromática azul e compostos estimularam a ramificação de hifas (NAGAHASHI; DOUDS, 2003). Estímulo no crescimento das hifas de *G. margarita* e *Glomus* spp. também foi encontrado com o uso de luz vermelha e azul ou somente a luz vermelha (ISHII *et al.*, 2003). Posteriormente, em experimento com raízes de milho e capim-bahia foi reportado que a luz monocromática vermelha inibia a formação de esporos de *G. margarita*, enquanto o uso conjunto da luz vermelha e azul estimulava (FREIRE CRUZ, 2016). As diferenças mencionadas podem ser atribuídas a vários fatores, como teor de umidade do solo, sua composição, material de cobertura e tamanho das partículas (TESTER; MORRIS, 1987). Neste sentido, futuros estudos devem buscar entender

melhor esta relação, utilizando inoculantes mono-específicos em cultivo sob diferentes substratos e espectros de luz, visto que a espécie vegetal associada pode modular a colonização micorrízica e formação de propágulos, dentre estes, os glomerosporos.

6 CONCLUSÕES

Em cultivo em vaso com substrato, a relação entre o teor de ácido graxo e a propagação dos FMA não é totalmente esclarecida. Embora tenha sido observada uma discreta correlação entre o teor de ácido graxo e a colonização micorrízica.

Os *primers* desenhados nesse estudo *Acaulospora longula*, *Rhizoglyphus clarum* e *Gigaspora albida*, são específicos e permitem a detecção destes táxons no solo inóculo pela análise de qPCR.

A ausência de correlação entre a quantificação de glomerosporos e por qPCR indica que a quantidade diferencial de outros propágulos no solo de *R. clarus* e *A. longula*, bem como pelo número de cópias dos genes alvos utilizados para identificação destas espécies, devem ser considerados na análise.

O uso de sorgo (*S. bicolor*) em cultivo em vaso com substrato a base de areia e vermiculita favorece a esporulação de *A. longula*, constituindo em inoculante viável para promover o desenvolvimento vegetativo de tomate cereja em cultivo *indoor*.

O cultivo *indoor* do tomate-cereja é favorecido no desenvolvimento vegetativo pelo uso de sistema LED vermelho/azul, sob fotoperíodo de 12h, recomendando-se a inoculação com *A. longula*, que favorece os parâmetros morfoagronômicos, com menor colonização micorrízica, indicando sinergia entre a luz e a presença de FMA.

A combinação de luz vermelha e azul, juntamente com a inoculação de *A. longula*, revelou-se altamente vantajosa, resultando não apenas em um desenvolvimento robusto da planta, mas também em um notável aumento da biomassa fresca e uma considerável expansão da área foliar.

Os resultados deste estudo ressaltam a importância do espectro de luz no cultivo *indoor* e sua influência sobre FMA para promoção de crescimento vigoroso de tomate cereja. Essa abordagem pode ser crucial para avançarmos em busca de sistemas agrícolas mais sustentáveis e eficientes.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAHI, R.; LIHAN, S.; EDWARD, R. Isolation of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi and selection of host plant for inoculum production. **Int J Biosci**, v. 5, p. 116-122, 2014. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20153100722>. Acesso em: 07 jun. 2022.
- ALVARENGA, M. A. R.; MEO, P. C. T.; SHIRAHIGE, F. H. Cultivares de tomate de mesa. In ALVARENGA, M. A. R. (Org.). **Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. Lavras: Ed. Universitária de Lavras, v. 1, p. 39-62, 2013.
- AMAGLO, N. K. *et al.* Profiling selected phytochemicals and nutrients in different tissues of the multipurpose tree *Moringa oleifera* L., grown in Ghana. **Food Chemistry**, v. 122, n. 4, p. 1047-1054, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.073>
- ARAÚJO, Raianne da Cruz Lopes de. **Manejo com coberturas vegetais em área para cultivo de mangueira interfere na comunidade e atividade micorrízica do solo?**. 2019. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal), Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Petrolina -PE, 2019. Disponível em: <http://www.producaovegetal.univasf.edu.br/Arquivos/raianne.pdf>. Acesso em: 29 out. 2021.
- AMANI MACHIANI, M. *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi and changes in primary and secondary metabolites. **Plants**, v. 11, n. 17, p. 2183, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11172183>
- ARRUDA, Bruna. **Soil microbiome manipulation and its effect on the soil-plant interface**. Tese (doctorate on soil and Plant Nutrition). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura, Piracicaba, 2020. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.11.2020.tde-18032020-172550>
- BAINARD, L. D. *et al.* Spatial and temporal structuring of arbuscular mycorrhizal communities is differentially influenced by abiotic factors and host crop in a semi-arid prairie agroecosystem. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 88, n. 2, p. 333-344, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/1574-6941.12300>
- BANLA, E. M.; BANITO, A.; SOGBEDJI, J. M. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the production of tomato in Togo. **International Journal of Biological and Chemical Sciences**, v. 9, n. 3, p. 1270-1276, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i3.12>
- BARBARA, D. **Aromas e sabores da boa lembrança**- Tomate. Editora Senac Rio 3 ed. Rio de Janeiro -RJ, 2005. 148p.
- BÉCARD, G.; PFEFFER, P. E. Status of nuclear division in arbuscular mycorrhizal fungi during in vitro development. **Protoplasma**, v. 174, p. 62-68, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01404043>

BEGUM, N. *et al.* Improved drought tolerance by AMF inoculation in maize (*Zea mays*) involves physiological and biochemical implications. **Plants**, v. 8, n. 12, p. 579, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants8120579>

BERBARA, R. L.L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. III-Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: FERNANDES, M.S. (ed.) **Nutrição mineral de plantas**, SBCS, Viçosa -MG, p. 74-85, 2006. Disponível em: http://www.ufrj.br/amfoods/arquivos/arq_publicacao/20_ARQ.pdf. Acesso em: 30 set. 2021.

BITTERLICH, M.; FRANKEN, P.; GRAEFE, J. Atmospheric drought and low light impede mycorrhizal effects on leaf photosynthesis—a glasshouse study on tomato under naturally fluctuating environmental conditions. **Mycorrhiza**, v. 29, p. 13-28, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-018-0872-6>

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian journal of biochemistry and physiology**, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959. DOI: <https://doi.org/10.1139/o59-099>

BODENHAUSEN, N. *et al.* Relative qPCR to quantify colonization of plant roots by arbuscular mycorrhizal fungi. **Mycorrhiza**, v. 31, p. 137–148, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-020-01014-1>

BONA, E. *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting pseudomonads improve yield, quality and nutritional value of tomato: a field study. **Mycorrhiza**, v. 27, p. 1-11, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-016-0727-y>

BUSTIN, S. A. *et al.* The MIQE Guidelines: Minimum Information for Publication of Quantitative Real-Time PCR Experiments. **Clinical Chemistry**, 55(4), 611–622. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1373/clinchem.2008.112797>

BRAVO, A. *et al.* Arbuscular mycorrhiza-specific enzymes FatM and RAM 2 fine-tune lipid biosynthesis to promote development of arbuscular mycorrhiza. **New Phytologist**, v. 214, n. 4, p. 1631-1645, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.14533>

BRUNDRETT, M. C.; TEDERSOO, L. Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. **New Phytologist**, v. 220, p.1108–1115, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.14976>

BUENO, V. H. P. *et al.* New records of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) predation by Brazilian Hemipteran predatory bugs. **Journal of Applied Entomology**, v. 137, n. 1-2, p. 29-34, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/jen.12017>

CARDOSO, E. J. B. N. *et al.* Micorrizas arbusculares na aquisição de nutrientes pelas plantas. In: SIQUEIRA, J.O. *et al.* **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: Editora UFLA, 2010.

CARNEIRO, R. F. V., *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi as indicators of the recovery of degraded areas in northeastern Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 648, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902012000400005>

CAROLE, D. F. M. *et al.* Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and biostimulants on biomass production and phytochemical composition of *Moringa oleifera*.

International Journal Of All Research Writings, v. 1, n. 2, p. 46-54, 2019.

Disponível em: <https://www.academia.edu/download/60543454/IJARW102320190909-26515-8qnb6r.pdf>

. Acesso em: 12 abr. 2022.

CARILLO, P. *et al.* Biostimulatory action of arbuscular mycorrhizal fungi enhances productivity, functional and sensory quality in 'Piennolo del Vesuvio' Cherry tomato landraces. **Agronomy**, v. 10, n. 6, p. 911, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.3390/agronomy10060911>

CAMPAGNOL, R. *et al.* **Cultivo de minitomates em ambiente protegido**. Curitiba:

SENAR-PER, p. 60, 2016. Disponível em: [https://www.sistemafaep.org.br/wp-](https://www.sistemafaep.org.br/wp-content/uploads/2021/11/PR.0327-Cultivo-Mini-tomates-Ambientes-)

[content/uploads/2021/11/PR.0327-Cultivo-Mini-tomates-Ambientes-](https://www.sistemafaep.org.br/wp-content/uploads/2021/11/PR.0327-Cultivo-Mini-tomates-Ambientes-)

[Protegidos_web.pdf](https://www.sistemafaep.org.br/wp-content/uploads/2021/11/PR.0327-Cultivo-Mini-tomates-Ambientes-). Acesso em: 29 fev. 2022.

CECATO, U. *et al.* Sistema radicular: componente esquecido das pastagens. In

Simpósio sobre manejo estratégico da pastagem. V. 2, Viçosa: DZO/UFV, p. 159-207. 2004.

CHAIYASEN, A. *et al.* Influence of host plants and soil diluents on arbuscular mycorrhizal fungus propagation for on-farm inoculum production using leaf litter compost and agrowastes. **Biological Agriculture & Horticulture**, v. 33, n. 1, p. 52-62, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/01448765.2016.1187670>

CHO, H. Y. *et al.* Plant morphological characteristics for year-round production and its fruit quality in response to different light wavelengths in blueberry. In: **XIII**

International Symposium on Plant Bioregulators in Fruit Production 1206. 2017.

p. 201-210. DOI: <https://doi.org/10.1080/01448765.2016.1187670>

COCETTA, G. *et al.* Light use efficiency for vegetables production in protected and indoor environments. **The European Physical Journal Plus**, v. 132, p. 1-15, 2017.

DOI: <https://doi.org/10.1140/epjp/i2017-11298-x>

COELHO, Ieda Ribeiro. **Produção de inóculo micorrízico: otimização em substrato com adubos orgânicos**. Dissertação (Mestrado em Biologia de Fungos).

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Recife -PE, 2012. Disponível em:

<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/25337>. Acesso em: 15 fev 2023.

CONWAY, M. gsheets: Download Google Sheets Using Just the URL_. R package version 0.4.5, 2020. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=gsheets>.

Acesso em: 19 ago. 2023.

CORONA RAMÍREZ, A. *et al.* Quantification of arbuscular mycorrhizal fungi root colonization in wheat, tomato, and leek using absolute qPCR. **Mycorrhiza**, p. 1-11,

2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-023-01122-8>

DALPÉ, Y., SÉGUIN, S. M. Microwave-assisted technology for the clearing and staining of arbuscular mycorrhizal fungi in roots. **Mycorrhiza**, v.23, n.4, p. 333-340,

mai. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-012-0472-9>

DA SILVA, N. C. *et al.* Avaliação de híbridos de tomate cereja cultivados em vasos e com diferentes conduções de hastes. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, p. 23, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i12.10819>

DAVISON, J. *et al.* Global assessment of arbuscular mycorrhizal fungus diversity reveals very low endemism. **Science**, v. 349, n. 6251, p. 970-973, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aab1161>

DE AZEVEDO, V. F.; ABOUD, A. C. de S.; DO CARMO, M. G. F. Row spacing and pruning regimes on organically grown cherry tomato. **Horticultura brasileira**, v. 28, p. 389-394, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362010000400002>

DE MENDIBURU, F. *_agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research_*. R package version 1.3-6, 2023. Disponível em: https://CRAN.R-project.org/package=_agricolae.

DINNO, A. *_dunn.test: Dunn's Test of Multiple Comparisons Using Rank Sums_*. R package version 1.3.5, 2017. Disponível em: https://CRAN.R-project.org/package=_dunn.test.

DOUDS, J.R. *et al.* On-farm production of inoculum of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi and assessment of diluents of compost for inoculum production. **Bioresource technology**, v. 101, n. 7, p. 2326-2330, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.071>

DORAK, M. **Real-time PCR**. 1st ed. Taylor & Francis. 2006. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780203967317>

DORADO, G. *et al.* Polymerase Chain Reaction (PCR). **Reference Module in Biomedical Sciences**, p. 473-492. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.08997-2>

DUC, N. H.; CSINTALAN, Z.; POSTA, K. Arbuscular mycorrhizal fungi mitigate negative effects of combined drought and heat stress on tomato plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 132, p. 297-307, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.09.011>

EMBRAPA. Agência de Informação Embrapa, 2022. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 10 nov. 2021.

FALKER-AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA. **Medidor Eletrônico de Teor de Clorofila: Dados Técnicos clorofiLOG CFL1030**. 2009. Disponível em: https://www.falker.com.br/download?product=cfl1030&file=MAN_CFL1030_D.pdf. Acesso em: 27 set. 2021.

FAN, X. *et al.* Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. **Scientia horticulturae**, v. 153, p. 50-55, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.01.017>

FELFÖLDI, Z. *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi and fertilization influence yield, growth and root colonization of different tomato genotype. **Plants**, v. 11, n. 13, p. 1743, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11131743>

FERNÁNDEZ, I. *et al.* Defense related phytohormones regulation in arbuscular mycorrhizal symbioses depends on the partner genotypes. **Journal of Chemical Ecology**, v. 40, p. 791-803, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10886-014-0473-6>

FERREIRA E.B, CAVALCANTI P.P, NOGUEIRA D.A _ExpDes.pt: **Pacote Experimental Designs** (Português). R package version 1.2.2, 2021. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>. Acesso em: 19 ago. 2023.

FREIRE CRUZ, A. Effect of light-emitting diodes on arbuscular mycorrhizal fungi associated with bahiagrass (*Paspalum notatum* Flüggé) and millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br]. **Bioagro**, v. 28, n. 3, p. 163-170, 2016. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85749314003>. Acesso em: 15 ago. 2023.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de Olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3 ed., Viçosa: UFV, 2012. 421 p.

FUKUDA, N. Advanced light control technologies in protected horticulture: A review of morphological and physiological responses in plants to light quality and its application. **CJournal of Developments in Sustainable Agriculture**, v. 8, n. 1, p. 32-40, 2013. DOI: <https://doi.org/10.11178/jdsa.8.32>

FOLLI-PEREIRA, M. da S. *et al.* Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1663-1679, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000600001>

GAI, J. *et al.* Infectivity and community composition of arbuscular mycorrhizal fungi from different soil depths in intensively managed agricultural ecosystems. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, p. 1200-1211, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11368-015-1060-3>

GATAHI, D. M. Challenges and opportunities in tomato production chain and sustainable standards. **International Journal of Horticultural Science and Technology**, v. 7, n. 3, p. 235-262, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.22059/ijhst.2020.300818.361>

GAUR, A.; ADHOLEYA, A. Arbuscular-mycorrhizal inoculation of five tropical fodder crops and inoculum production in marginal soil amended with organic matter. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, p. 214-218, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0457-5>

GEHRING, C. A. Growth responses to arbuscular mycorrhizae by rain forest seedlings vary with light intensity and tree species. **Plant Ecology**, v. 167, p. 127-139, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1023989610773>

GENRE, A. *et al.* Unique and common traits in mycorrhizal symbioses. **Nature Reviews Microbiology**, v. 18, n. 11, p. 649-660, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41579-020-0402-3>

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**, v. 46, n. 2, p. 235-244, 1963. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0)

GERSZBERG, A. *et al.* Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in the service of biotechnology. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)**, v. 120, p. 881-902, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11240-014-0664-4>

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New phytologist**, v. 84, p. 489-500, mar. 1980. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x>

GONÇALVES, D. C. *et al.* Cultivo do tomate cereja sob sistema hidropônico: Influência do turno de rega. **Uniciências**, v. 22, n. 1, p. 20-23, 2018. <https://doi.org/10.17921/1415-5141.2018v22n1p20-23>

GONZALÍAS, Y. R.; LASSO, E. R. Desarrollo de un sistema de iluminación artificial LED para cultivos en interiores-Vertical Farming (VF). **Informador técnico**, v. 80, n. 2, p. 111-120, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.23850/22565035.480>

GRYNDLER, M. *et al.* Influence of soil organic matter decomposition on arbuscular mycorrhizal fungi in terms of asymbiotic hyphal growth and root colonization. **Mycorrhiza**, v. 19, p. 255-266, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-008-0217-y>

HART, M. *et al.* Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi improves the nutritional value of tomatoes. **Mycorrhiza**, v. 25, p. 359-376, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-014-0617-0>

HART, M. M.; READER, R. J.; KLIRONOMOS, J. N. Life-history strategies of arbuscular mycorrhizal fungi in relation to their successional dynamics. **Mycologia**, v. 93, n. 6, p. 1186-1194, 2001. DOI: <https://www.jstor.org/stable/3761678>

HASAN, M. MD. *et al.* An overview of LEDs' effects on the production of bioactive compounds and crop quality. **Molecules**, v. 22, n. 9, p. 1420, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules22091420>

HELLER, W. P.; CARRARA, J. E. Multiplex qPCR assays to distinguish individual species of arbuscular mycorrhizal fungi from roots and soil. **Mycorrhiza**, v. 32, n. 2, p. 155-164, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-022-01069-2>

HEO, J. W.; LEE, C. W.; PAEK, K. Y. Influence of mixed LED radiation on the growth of annual plants. **Journal of Plant Biology**, v. 49, p. 286-290, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03031157>

HERNÁNDEZ, R. *et al.* Tomato seedling physiological responses under different percentages of blue and red photon flux ratios using LEDs and cool white fluorescent lamps. **Scientia Horticulturae**, v. 213, p. 270-280, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.005>

HERRMANN, L.; LESUEUR, D. Challenges of formulation and quality of biofertilizers for successful inoculation. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 97, n. 20, p. 8859-8873, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-013-5228-8>

HILDEBRANDT, U. *et al.* The bacterium *Paenibacillus validus* stimulates growth of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* up to the formation of fertile spores. **FEMS Microbiology Letters**, v. 254, n. 2, p. 258-267, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2005.00027.x>

HOFFMANN, L. V.; LUCENA, V. S. **Para entender Micorrizas Arbusculares**. Embrapa Algodão, Documentos, 156, Campina Grande-PB, 1.ed, 2006. 22p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/276480/1/DOC156.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2021.

HOLANDA, Romário Felipe de. **Crescimento inicial de Moringa oleifera Lam.(Moringa) em plantios homogêneos com diferentes adubações**. 2019. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Macaíba-RN, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/37326/1/Monografia_Rom%C3%A1rio_Moringa%20oleifera.pdf. Acesso em: 29 set. 2021.

HOSAMANI, P.A. Effect of arbuscular mycorrhizal interactions on growth and chlorophyll content of *Lycopersicon esculentum* mill. **Life sciences leaflets**, v. 156, p. 1-6, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.020>

HOSNY, M.; GIANINAZZI-PEARSON, V.; DULIEU, H.. Nuclear DNA content of 11 fungal species in Glomales. **Genome**, v. 41, n. 3, p. 422-428, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1139/g98-038>

HRISTOZKOVA, M. *et al.* LED spectral composition effects on mycorrhizal symbiosis formation with tomato plants. **Applied Soil Ecology**, v. 120, p. 189-196, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.08.010>

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola-janeiro**. Produção de tomate. 2019. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2415/epaq.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2022.

IJDO, M.; CRANENBROUCK, S.; DECLERCK, S. Methods for large-scale production of AM fungi: past, present, and future. **Mycorrhiza**, v. 21, p. 1-16, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-010-0337-z>

ISHII, T. Y. *et al.* H. Improvement of axenic culture of arbuscular mycorrhizal fungi. *In: International Congress on Mycorrhizae*, Montreal-Canada. p. 696, 2003.

IZZO, L. G. *et al.* The role of monochromatic red and blue light in tomato early photomorphogenesis and photosynthetic traits. **Environmental and Experimental**

Botany, v. 179, p. 104195, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104195>

IZZO, L. G. *et al.* Spectral effects of blue and red light on growth, anatomy, and physiology of lettuce. **Physiologia Plantarum**, v. 172, n. 4, p. 2191-2202, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppl.13395>

JANOUSHKOVÁ, M.; ČAKLOVÁ, P. Molecular quantification of arbuscular mycorrhizal fungal root colonization. **Arbuscular Mycorrhizal Fungi: Methods and Protocols**, p. 73-91, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0603-2_7

JARSTFER, A. G.; SYLVIA, D. M. Inoculum production and inoculation strategies for vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Microbial Ecology. Application in Agricultural and Environmental Management**. Marcel Dekker, Inc. New York, p. 349-369. 1992. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.2.c18>

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, 48(9), 692, 1964. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10333>

JIANG, Y. *et al.* Plants transfer lipids to sustain colonization by mutualistic mycorrhizal and parasitic fungi. **Science**, v. 356, n. 6343, p. 1172-1175, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aam9970>

JUNIOR, Francisco Pereira de Brito. **PRODUÇÃO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) REUTILIZANDO SUBSTRATOS SOB CULTIVO PROTEGIDO NO MUNICÍPIO DE IRANDUBA-AM**. 2012. 60f. Dissertação (Pós-Graduação em Agronomia Tropical). Universidade Federal do Amazonas. Manaus-AM, 2012. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/80343/1/BritoJr-prod-tomate.pdf>. Acesso em: 29 set. 2023.

KAMEOKA, H. *et al.* Stimulation of asymbiotic sporulation in arbuscular mycorrhizal fungi by fatty acids. **Nature Microbiology**, v. 4, n. 10, p. 1654-1660, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41564-019-0485-7>

KAUSHISH, S.; KUMAR, A.; AGGARWAL, A. Influence of hosts and substrates on mass multiplication of *Glomus mosseae*. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 13, p. 2971-2977, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR09.481>

KHALLOUFI, M. *et al.* The interaction between foliar GA3 application and arbuscular mycorrhizal fungi inoculation improves growth in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants by modifying the hormonal balance. **Journal of plant physiology**, v. 214, p. 134-144, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.04.012>

KOKKINOS, P. A. *et al.* Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) for the detection of Salmonella in food. **Food Analytical Methods**, v. 7, p. 512-526, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1089%2Ffpd.2018.2445>

KOKKORIS, V. *et al.* Nuclear dynamics in the arbuscular mycorrhizal fungi. **Trends in Plant Science**, v. 25, n. 8, p. 765-778, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.05.002>

KONG, Y.; NEMALI, K. Blue and far-red light affect area and number of individual leaves to influence vegetative growth and pigment synthesis in lettuce. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 667407, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.667407>

KUBO, Gustavo Tomio Magalhães. **Lâminas de irrigação e doses de biocarvão no crescimento, produção e qualidade do tomate cereja**. 2022. 60f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande-PB, 2022. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/27520>. Acesso em: 29 set. 2023.

LABONOVA, K.; SINEUX, M.; ZEKRI, O. Correlation between the microscopy and qPCR methods (SYBR Green) to detect and quantify *Rhizophagus irregularis* in grapevine roots. **Vitis**, v. 57, n. 3, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5073/vitis.2018.57.111-117>

LANFRANCO, L. *et al.* Molecular approaches to investigate biodiversity in mycorrhizal fungi. **Mycorrhiza manual**, p. 353-372, 1998. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-60268-9_22

LIU, X.Y. *et al.* Effect of different light quality of LED on growth and photosynthetic character in cherry tomato seedling. **Acta Hort.** 907, 325–330, 2011. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.907.53>

LÜ, L. H.; *et al.* Relationship between arbuscular mycorrhizas and plant growth: improvement or depression?. **Root Biology**, p. 451-464, 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-75910-4_18

LUCENA-AGUILAR, G. *et al.* DNA source selection for downstream applications based on DNA quality indicators analysis. **Biopreservation and biobanking**, v. 14, n. 4, p. 264-270, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1089/bio.2015.0064>

LUGINBUEHL, L. H. *et al.* Fatty acids in arbuscular mycorrhizal fungi are synthesized by the host plant. **Science**, v. 356, n. 6343, p. 1175-1178, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aan0081>

MACHADO, Jairlanna Maria Silva. **Avaliação de substratos combinados para a produção de mudas de tomate cereja**. 2016. 40f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Agronomia) – Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha -MA, 2016. Disponível em: <https://monografias.ufma.br/jspui/handle/123456789/1391>. Acesso em: 30 set. 2023.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. **Cultivo de sorgo**. Ecofisiologia. Embrapa Milho e Sorgo Sistemas de Produção, 4, ed., 2 ISSN 1679-

012X Versão Eletrônica, 2008. 7p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/35247/1/Ecofisiologia.pdf>. Acesso em: 23 mai 2023.

MAIA, L. C. *et al.* Species diversity of Glomeromycota in Brazilian biomes. **Sydowia**, v. 72, p. 181-205, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.12905/0380.sydowia72-2020-0181>

MAJID, M. *et al.* Evaluation of hydroponic systems for the cultivation of Lettuce (*Lactuca sativa* L., var. Longifolia) and comparison with protected soil-based cultivation. **Agricultural Water Management**, v. 245, p. 106572, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106572>

MASSA, G. D. *et al.* Plant productivity in response to LED lighting. **HortScience**, v. 43, n. 7, p. 1951-1956, 2008. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1951>

MARSCHNER, P.; TIMONEN, S. Interactions between plant species and mycorrhizal colonization on the bacterial community composition in the rhizosphere. **Applied soil ecology**, v. 28, n. 1, p. 23-36, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2004.06.007>

MARLEAU, J. *et al.* Spore development and nuclear inheritance in arbuscular mycorrhizal fungi. **BMC evolutionary biology**, v. 11, n. 1, p. 1-11, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2148-11-51>

MCGONIGLE, T.P. *et al.* A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, 115, 495–501, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1990.tb00476.x>

MEDEIROS, Adler Santana de. **Produção de inoculante micorrízico e aplicação em plantas usadas na recuperação de áreas degradadas do Projeto de Integração do Rio São Francisco**. 2021. 86f. Dissertação (em Agronomia - Produção Vegetal). Petrolina-PE, 2021. Disponível em: <http://www.producaovegetal.univasf.edu.br/Arquivos/adler.pdf>. Acesso em: 21 mai 2023.

MILLNER, P.D.; MULBRY, W.W.; REYNOLDS, S.L.; PATTERSON, C.A. A taxonspecific oligonucleotide probe for temperate zone soil isolates of *Glomus mosseae*. **Mycorrhiza**, Berlin, v.8, n.1, p.19-27, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1007/s005720050206>

MOLLAVALI, M. *et al.* Flavonol glucoside and antioxidant enzyme biosynthesis affected by mycorrhizal fungi in various cultivars of onion (*Allium cepa* L.). **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 64, n. 1, p. 71-77, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04791>

MONTEIRO, S. S. *et al.* Maturação fisiológica de tomate cereja. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v.8, n.3, p.05-09, 2018. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/REBAGRO/article/view/6265/5245>. Acesso em: 29 jun 2023.

MORGANTE, C.V; BLAWID, R. **Análise da expressão gênica pela técnica de PCR quantitativa em tempo real: princípios e fundamentos**. Petrolina: Embrapa

Semiárido, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1066218/analise-da-expressao-genica-pela-tecnica-de-pcr-quantitativa-em-tempo-real-principios-e-fundamentos>. Acesso em: 01 mar 2024.

MULLIS, K.; FALOONA, F.; SCHARF, S.; SAIKI, R.; HORN, G.; ERLICH, H. Specific enzymatic amplification of DNA in vitro: the polymerase chain reaction. **Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology**, 51(Pt 1), 263–273. 1986. DOI: <https://doi.org/10.1101/sqb.1986.051.01.032>

MUNEER, S. *et al.* Influence of green, red and blue light emitting diodes on multiprotein complex proteins and photosynthetic activity under different light intensities in lettuce leaves (*Lactuca sativa* L.). **International journal of molecular sciences**, v. 15, n. 3, p. 4657-4670, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms15034657>

NAGAHASHI, G.; DAVID, D. D. "Action spectrum for the induction of hyphal branches of an arbuscular mycorrhizal fungus: exposure sites versus branching sites." **Mycological research** 107.9, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1017/s0953756203008232>

NAKMEE, P. S.; TECHAPINYAWAT, S.; NGAMPRASIT, S. Comparative potentials of native arbuscular mycorrhizal fungi to improve nutrient uptake and biomass of *Sorghum bicolor* Linn. **Agriculture and Natural Resources**, v. 50, n. 3, p. 173-178, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anres.2016.06.004>

NANYA, K. *et al.* Effects of blue and red light on stem elongation and flowering of tomato seedlings. **Acta Hort.** 956,264–266, 2012. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.29>

NEO, D. C. J. *et al.* Shaping and tuning lighting conditions in controlled environment agriculture: A review. **ACS Agricultural Science & Technology**, v. 2, n. 1, p. 3-16, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsagscitech.1c00241>

NHUT, D. T. *et al.* Sugar-free micropropagation of *Eucalyptus citriodora* using light-emitting diodes (LEDs) and film-rockwool culture system. **Environment Control in Biology (Japan)**, 2002. Disponível em: <https://agris.fao.org/search/en/providers/122558/records/647242c62c1d629bc979218d>. Acesso em: 25 out. 2023.

NIEMI, K. *et al.* Light sources with different spectra affect root and mycorrhiza formation in Scots pine in vitro. **Tree Physiology**, v. 25, n. 1, p. 123-128, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/25.1.123>

OISETH, S.; JONES, L.; MAZA, E. Reação em Cadeia da Polimerase (PCR). **Lecturi**, 2 ago. 2022. Disponível em: <https://www.lecturio.com/pt/concepts/reacao-em-cadeia-da-polimerase-pcr/>. Acesso em: 09 fev. 2024.

NOGUCHI, A.; AMAKI, W. Effects of light quality on the growth and essential oil production in Mexican mint. In: **VIII International Symposium on Light in Horticulture 1134**. p. 239-244., 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1134.32>

PASKOVIĆ, I. *et al.* Fruit quality and volatile compound composition of processing tomato as affected by fertilisation practices and arbuscular mycorrhizal fungi application. **Food Chemistry**, v. 359, p. 129961, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129961>

SIENA, A.D.D. *et al.* Princípios da PCR convencional. *In*: PEREIRA, T. C (Org). **Introdução às técnicas de PCR convencional, em tempo real e digital**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, p. 232, 2018. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5684127/mod_folder/content/0/Introducao%20as%20tecnicas%20de%20PCR%20-%20Cap.2.pdf?forcedownload=1. Acesso em: 05 jul 2023.

PETERSON, R. A. Finding Optimal Normalizing Transformations via bestNormalize. **The R Journal**, 13:1, 310-329, 2021. DOI: <https://doi.org/10.32614/RJ-2021-041>

PFEFFER, P. E. *et al.* Carbon uptake and the metabolism and transport of lipids in an arbuscular mycorrhiza. **Plant Physiology**, v. 120, n. 2, p. 587-598, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.120.2.587>

POZO DE LA HOZ, J. *et al.* Mycorrhiza-induced resistance against foliar pathogens is uncoupled of nutritional effects under different light intensities. **Journal of Fungi**, v. 7, n. 6, p. 402, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390%2Fjof7060402>

R CORE TEAM. (2021). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**. <https://www.r-project.org/>

RAJTOR, M.; PIOTROWSKA-SEGET, Z. Prospects for arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) to assist in phytoremediation of soil hydrocarbon contaminants. **Chemosphere**, v. 162, p. 105-116, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.07.071>

REDDY, P. P. **Protected cultivation**. In REDDY, P. P. Sustainable Crop Protection under Protected Cultivation. Springer Singapore, 2016. P. 1-11. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-981-287-952-3>

REDECKER, D.; KODNER, R.; GRAHAM, L. E. Glomalean fungi from the Ordovician. **Science**, v. 289, n. 5486, p. 1920-1921, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.289.5486.1920>

REQUENA, N. *et al.* Plant signals and fungal perception during arbuscular mycorrhiza establishment. **Phytochemistry**, v. 68, n. 1, p. 33-40, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.09.036>

RESZCZYŃSKA, E.; HANAKA, A. Lipids composition in plant membranes. **Cell Biochemistry and Biophysics**, v. 78, n. 4, p. 401-414, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007%2Fs12013-020-00947-w>

ROCHA, P.S.G da *et al.* DIFERENTES INTENSIDADES LUMINOSAS COM LEDS NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE TOMATE. In CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA - CONTECC'2018. Maceió – AL, 2018. **Anais eletrônicos**. Maceió: IFES, 2018. Disponível em:

https://www.confea.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/agronomia/101_dilclnpsdmdt.pdf . Acesso em: 30 ago 2023.

SAINI, R. K.; SHETTY, N. P.; GIRIDHAR, P. GC-FID/MS analysis of fatty acids in Indian cultivars of *Moringa oleifera*: potential sources of PUFA. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 91, n. 6, p. 1029-1034, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2439-9>

SALOMON, M. J. *et al.* Global evaluation of commercial arbuscular mycorrhizal inoculants under greenhouse and field conditions. **Applied Soil Ecology**, v. 169, p. 104225, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104225>

SAGGIN JÚNIOR, O. J. *et al.* **Inoculação de mudas de espécies florestais com fungos micorrízicos arbusculares: avanços na produção e legislação.** Seropédia: Embrapa Agrobiologia, 2022. 50 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao>. Acesso em: 15 mai 2023.

SANTANA, A. S. de. **Produção de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares.** Tese (doutorado em Biologia dos Fungos). Universidade Federal de Pernambuco, Recife -PE, p. 67, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/25638> . Acesso em: 03 mai 2023.

SARR, P. S. *et al.* Sorgoleone production enhances mycorrhizal association and reduces soil nitrification in sorghum. **Rhizosphere**, v. 17, p. 100283, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100283>

SAXENA, B.; SHUKLA, K.; GIRI, B. Arbuscular mycorrhizal fungi and tolerance of salt stress in plants. **Arbuscular mycorrhizas and stress tolerance of plants**, p. 67-97, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-4115-0_4

SHI, Y. *et al.* Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on the phytoremediation of PAH-contaminated soil: A meta-analysis. **Chemosphere**, p. 136033, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosfera.2022.136033>

SIDOROV, R. A. *et al.* Palmitic acid in higher plant lipids. In PORTO, L.F. (ed) **Palmitic Acid: Occurrence, Biochemistry and Health Effects.** Nova Science Publishers, Incorporated, p. 125-144, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Reggie-Lee/publication/277313341_Fatty_Acids_in_Vascular_Health/links/556758a408aeccd7773787fd/Fatty-Acids-in-Vascular-Health.pdf#page=139. Acesso em: 18 out. 2021.

SILVA, E. M. *et al.* Water availability and formation of propagules of arbuscular mycorrhizal fungi associated with sorghum. **Applied Soil Ecology**, v. 94, p. 15-20, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.05.004>

SILVA, F. S. B. da; YANO-MELO, A. M.; MAIA, L. C. Production and infectivity of inoculum of arbuscular mycorrhizal fungi multiplied in a substrate supplemented with Tris-HCl buffer. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 38, p. 752-755, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-83822007000400030>

- SILVEIRA, S. V. da *et al.* Combinação entre turfa vermelha e areia na obtenção de substrato-inóculo do fungo micorrízico arbuscular *Glomus clarum*. **Ciência Rural**, v. 43, p. 419-425, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013005000002>
- SMITH, Cindy J.; OSBORN, A. Mark. Advantages and limitations of quantitative PCR (Q-PCR)-based approaches in microbial ecology. **FEMS microbiology ecology**, v. 67, n. 1, p. 6-20, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2008.00629.x>
- SMITH, H. Light quality, photoperception, and plant strategy. **Annual review of plant physiology**, v. 33, n. 1, p. 481-518, 1982. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.33.060182.002405>
- SMITH, S. E.; GIANINAZZI-PEARSON, V. Phosphate uptake and arbuscular activity in mycorrhizal *Allium cepa* L.: effects of photon irradiance and phosphate nutrition. **Functional Plant Biology**, v. 17, n. 2, p. 177-188, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1071/PP9900177>
- SMITH, S. E.; SMITH, F. A.; JAKOBSEN, I. Functional diversity in arbuscular mycorrhizal (AM) symbioses: the contribution of the mycorrhizal P uptake pathway is not correlated with mycorrhizal responses in growth or total P uptake. **New phytologist**, v. 162, n. 2, p. 511-524, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01039.x>
- SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. Academic press, 2010. 800p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=qLciOJaG0C4C&printsec=frontcover&hl=pt-BR>. Acesso em: 19 fev. 2022.
- SOKA, G.; RITCHIE, M. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and ecosystem processes: Prospects for future research in tropical soils. **Open Journal of Ecology**, v. 4, p. 11-22, 2014. DOI: <https://doi.org/10.4236/oje.2014.41002>
- SOUZILLOVSKAIA, N. A. *et al.* Global patterns of plant root colonization intensity by mycorrhizal fungi explained by climate and soil chemistry. **Global Ecology and Biogeography**, v. 24, n. 3, p. 371-382, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/geb.12272>
- SOUZA, F. A.; SCHLEMPER, T. R.; STÜRMER, S. L. A importância da tecnologia de inoculação de fungos micorrízicos para a sustentabilidade na olericultura. In: LOPES, C. A.; PEDROSO, M. T. M. (Ed.). **Sustentabilidade e horticultura no Brasil: da retórica à prática**. Brasília, DF: Embrapa, 2017.
- SOUZA, F.A. de *et al.* Classificação e taxonomia de fungos micorrízicos arbusculares e sua diversidade e ocorrência no Brasil. In: SIQUEIRA, J.O. *et al.* **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, v. 30, p. 15-73, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/306146007_Classificacao_e_taxonomia_de_Fungos_Micorrizicos_Arbusculares_e_sua_diversidade_e_ocorrencia_no_Brasil . Acesso em: 19 mar 2023.
- SONGSAENG, A. *et al.* Application of Light-Emitting Diodes with Plant Growth-Promoting Rhizobacteria and Arbuscular Mycorrhiza Fungi for Tomato Seedling Production. **Agronomy**, v. 12, n. 10, p. 2458, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12102458>

SUBRAMANIAN, K. S.; SANTHANAKRISHNAN, P.; BALASUBRAMANIAN, P. Responses of field grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal colonization under varying intensities of drought stress. **Scientia horticulturae**, v. 107, n. 3, p. 245-253, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.07.006>

SUGIURA, Y. *et al.* Myristate can be used as a carbon and energy source for the asymbiotic growth of arbuscular mycorrhizal fungi. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 41, p. 25779-25788, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2006948117>

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, Porto Alegre -RS, 2017.

TANAKA, S. *et al.* Asymbiotic mass production of the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizoglyphus clarum*. **Communications Biology**, v. 5, n. 1, p. 43, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1038/s42003-021-02967-5>

TEDERSOO, L. *et al.* High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. **Fungal diversity**, v. 90, p. 135-159, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13225-018-0401-0>

TESTER, M.; MORRIS, C. The penetration of light through soil. **Plant, Cell & Environment**, v. 10, n. 4, p. 281-286, 1987. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1987.tb01607.x>

TISSERANT, E. *et al.* Genome of an arbuscular mycorrhizal fungus provides insight into the oldest plant symbiosis. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 50, p. 20117-20122, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1313452110>

THONAR, C.; ERB, A.; JANSA, J. Real-time PCR to quantify composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities—marker design, verification, calibration and field validation. **Molecular ecology resources**, v. 12, n. 2, p. 219-232, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2011.03086.x>

TOMAZ, P. R. X.; SANTOS, J. R.; SANTOS, P. C. J. L. Aspectos da aplicabilidade da análise da curva de melting. **RBAC**, v. 48, n. 1, p. 19-23, 2016. Disponível em: <https://docplayer.com.br/65214225-Aspectos-da-aplicabilidade-da-analise-da-curva-de-melting.html> .Acesso em: 24 set 2023.

UNTERGASSER, A. *et al.* Primer3Plus, an enhanced web interface to Primer3. **Nucleic Acids Research** 35: W71–W74, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1093/nar/gkm306>

VAN GEEL, M. *et al.* Evaluation of six *primer* pairs targeting the nuclear rRNA operon for characterization of arbuscular mycorrhizal fungal (AMF) communities using 454 pyrosequencing. **Journal of Microbiological Methods**, v. 106, p. 93-100, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2014.08.006>

VANHERCKE, T. *et al.* Up-regulation of lipid biosynthesis increases the oil content in leaves of *Sorghum bicolor*. **Plant Biotechnology Journal**, v. 17, n. 1, p. 220-232, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/pbi.12959>

VARELA-CERVERO, S. *et al.* The composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities differs among the roots, spores and extraradical mycelia associated with five Mediterranean plant species. **Environmental microbiology**, v. 17, n. 8, p. 2882-2895, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/1462-2920.12810>

VILA, V. V. *et al.* Microbiota do solo na tolerância de doenças em plantas: Uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. e25910817161-e25910817161, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i8.17161>

VITALE, E. *et al.* Manipulation of light quality is an effective tool to regulate photosynthetic capacity and fruit antioxidant properties of *Solanum lycopersicum* L. cv. 'Microtom' in a controlled environment. **PeerJ**, v. 10, p. e13677, 2022. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.13677>

VOŘÍŠKOVÁ, A. *et al.* Real-time PCR quantification of arbuscular mycorrhizal fungi: does the use of nuclear or mitochondrial markers make a difference?. **Mycorrhiza**, v. 27, p. 577-585, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-017-0777-9>

VOSÁTKA, M.; ALBRECHTOVÁ, J.; PATTEN, R. The international market development for mycorrhizal technology. **Mycorrhiza**. 3ed. Springer Berlin Heidelberg, 2008. p. 419-438. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-78826-3_21

WAKIL, W.; BRUST, G. E.; PERRING, T. M. Tomato and management of associated arthropod pests: past, present, and future. **Sustainable management of arthropod pests of tomato**, p. 3-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802441-6.00001-2>

WANG, L. *et al.* Nutrients regulate the effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth and reproduction of cherry tomato. **Frontiers in Microbiology**, v. 13, p. 843010, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.843010>

WANG, R. *et al.* Evaluating the effect of light intensity on flower development uniformity in strawberry (*Fragaria× ananassa*) under early induction conditions in forcing culture. **HortScience**, v. 55, n. 5, p. 670-675, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14917-20>

WEI T, SIMKO, V (2021). R package 'corrplot': Visualization of a Correlation Matrix. (Version 0.92), <https://github.com/taiyun/corrplot>.

WEWER, V.; BRANDS, M.; DÖRMANN, P. Fatty acid synthesis and lipid metabolism in the obligate biotrophic fungus *Rhizophagus irregularis* during mycorrhization of *Lotus japonicus*. **The Plant Journal**, v. 79, n. 3, p. 398-412, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/tpj.12566>

WICKHAM, H (2016). ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. **Springer-Verlag New York**. ISBN 978-3-319-24277-4, <http://ggplot2.org>.

WHITE, T. J. *et al.* Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. *In*: INNIS, M.A. *et al.* (Eds.) **PCR protocols: a guide to methods and applications**, v. 18, n. 1, p. 315-322, 1990. Disponível em: <https://msafungi.org/wp-content/uploads/2019/03/February-2013-Inoculum.pdf>. Acesso em: 29 out. 2023.

WIJAYAWARDENE, N. N. *et al.* Outline of Fungi and fungus-like taxa. **Mycosphere Online: Journal of Fungal Biology**, v. 11, n. 1, p. 1060-1456, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5943/mycosphere/11/1/8>

WOLLAEGER, H.M., RUNKLE, E.S. Growth of impatiens, Petunia, Salvia, and tomatoseedlings under blue, green, and red light-emitting diodes. **Hortscience** 49,734–740, 2014. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.6.734>

WU, S. *et al.* Soil organic matter dynamics mediated by arbuscular mycorrhizal fungi— an updated conceptual framework. **New Phytologist**, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.19178>

XIAOYING, L. *et al.* Regulation of chloroplast ultrastructure, cross-section anatomy of leaves, and morphology of stomata of cherry tomato by different light irradiations of light-emitting diodes. **HortScience**, v. 46, n. 2, p. 217-221, 2011. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.2.217>

YE, J. *et al.* Primer-BLAST: A tool to design target-specific *primers* for polymerase chain reaction. **BMC Bioinformatics**, 13: 134. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2105-13-134>

YAAKOB, M. A. *et al.* Influence of nitrogen and phosphorus on microalgal growth, biomass, lipid, and fatty acid production: an overview. **Cells**, v. 10, n. 2, p. 393, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/células10020393>

YOUSEF, A. F. *et al.* Effects of light spectrum on morpho-physiological traits of grafted tomato seedlings. **Plos one**, v. 16, n. 5, p. e0250210, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250210>

ZHENG, Y. *et al.* Differential responses of arbuscular mycorrhizal fungi to nitrogen addition in a near pristine Tibetan alpine meadow. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 89, n. 3, p. 594-605, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/1574-6941.12361>

ZHOU, R. *et al.* Drought stress had a predominant effect over heat stress on three tomato cultivars subjected to combined stress. **BMC plant biology**, v. 17, p. 1-13, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-017-0974-x>

APÊNDICES

Apêndice Tabela 1. Caracterização do perfil de ácido graxo em cada órgão das espécies vegetais, segundo a literatura.

Hospedeiro	Órgão do hospedeiro	Ácido graxo	Referências
<i>M. oleifera</i>	Folha	C16:0 - 16,93 ± 1,46 %; C18:3 - 49,85 ± 9,4 %;	Saini; Shetty; Giridhar, 2014; Queiroga <i>et al.</i> , 2022
	Raiz	C16:0 - 26,00%; C18:1 - 37,30%;	Amaglo <i>et al.</i> , 2010
<i>S. bicolor</i>	Folha	C16:0 - 68,14 ± 11,04%; C18:1- 6,38 ± 3,89 %; C18:3 -16,05 ±3,64%;	Ryu <i>et al.</i> , 2016
	Raiz	C18:2 - 46,1 ±1,2%; C16:0 - 24,8 ±1,9%;	Peixoto; Cambraia, 2009
<i>U. brizantha</i>	Folha	C18:3 - 21,1 a 46,1% C18:2 - 23,5 a 25,6% C16:0 -21 a 36,7%	De Albuquerque Fernandes, 2007
	Raiz	C18:1-15±7 % C16:0 -29 ± 6 % C20:0 -7± 2 %	Texeira, 2022

Legenda: C16:0- Ácido palmítico; C18:1 – Ác. oléico; C18:2 –Ác. linoleico; C18:3 – Ác. linolênico; C20:0 - Ácido Araquidônico.

FONTE: BARBOSA, MXS (2023).

Referências

AMAGLO, N. K. *et al.* Profiling selected phytochemicals and nutrients in different tissues of the multipurpose tree *Moringa oleifera* L., grown in Ghana. **Food Chemistry**, v. 122, n. 4, p. 1047-1054, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.073>

BURNETT, M.C.; e LOHMAR, R.L. Fatty Acids of Sorghum Leaf and Stem. **Agricultural and food chemistry**. 1959. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf60100a012>

DE ALBUQUERQUE FERNANDES, Sérgio Augusto et al. Perfil de ácidos graxos em alimentos de clima tropical utilizados nas dietas para ruminantes. **Boletim de Indústria Animal**, v. 64, n. 1, p. 19-27, 2007. Disponível em: <http://bia.iz.sp.gov.br/index.php/bia/article/view/1250>. Acesso em: 16 set. 2021.

PEIXOTO, P. H. P.; CAMBRAIA, J. COMPOSIÇÃO DE ÁCIDOS GRAXOS EM RAÍZES DE SORGO SOB ESTRESSE DE ALUMÍNIO. **Bragantia, Campinas**, V.68, 2009. Disponível

em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/8CmpMxPNtr46WmVDpgPL7Sc/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 05 set. 2021.

QUEIROGA, V. de P.; FIGUEIREDO-NETO, A.; ALBUQUERQUE, E. M. B. Moringa (Moringa oleífera LAM): Sistema de produção e utilização. **Campina Grande: AREPB**, 178p, 2022. Disponível em: https://issuu.com/abarriguda/docs/livro_moringa. Acesso em: 05 set. 2021.

RYU, J. *et al.* Chemical and genetic diversity of high-seed-yield sorghum (*Sorghum bicolor* M.) germplasms. **Genet Mol Res**, v. 15, p. gmr. 15038677, 2016. DOI: <https://doi.org/10.4238/gmr.15038677>

SAINI, R. K.; SHETTY, N. P.; GIRIDHAR, P. GC-FID/MS analysis of fatty acids in Indian cultivars of Moringa oleífera: potential sources of PUFA. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 91, n. 6, p. 1029-1034, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2439-9>

TEIXEIRA, Danilo Silva. **Efeito da seca natural e induzida sobre remodelação de ácidos graxos de plantas nativas e exóticas de Cerrado**. 2022. 52f. Dissertação (mestrado em Sistemas de Produção) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/235520>. Acesso em: 24 jun. 2023.

Apêndice Tabela 2. Teor de lipídios (%) na parte aérea e no sistema radicular dos hospedeiros em função de diferentes Fungos micorrízicos arbusculares.

HOSPEDEIRO	Parte aérea				Raiz			
	AL	CE	GA	RC	AL	CE	GA	RC
<i>Moringa oleífera</i>	7,46	7,09	8,31	8,17	1,19	1,11	1,14	1,02
<i>Sorghum bicolor</i>	4,27	4,73	4,21	4,22	1,50	1,94	1,66	1,58
<i>Urochloa brizantha</i>	3,75	4,00	3,35	3,75	4,22	4,05	3,39	5,11

Legenda: AL- *Acaulospora longula*; CE – *Entrophospora etunicata*; GA – *Gigaspora albida*; e RC- *Rhizoglyphus clarum*.

FONTE: BARBOSA, MXS (2023).

Apêndice Tabela 3. Conteúdo de lipídios totais na raiz dos hospedeiros.

Planta	Conteúdo	
	Folha	Raiz
<i>M. oleífera</i>	28,78	12,73
<i>S. bicolor</i>	79,57	24,34
<i>U. brizantha</i>	47,11	74,41

FONTE: BARBOSA, MXS (2023).

Apêndice Tabela 4. Esporulação de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) associados a brachiaria (*U. brizantha*), moringa (*M. oleifera*) e sorgo (*S. bicolor*).

HOSPEDEIRO	Número de glomerospas (esp./g)			
	AL	EE	GA	RC
<i>Moringa oleifera</i>	17,28	12,22	4,59	9,44
<i>Sorghum bicolor</i>	74,70	3,96	7,39	9,21
<i>Urochloa brizantha</i>	16,60	3,53	2,23	2,26

Legenda: AL- *Acaulospora longula*; EE – *Entrophospora etunicata*; GA – *Gigaspora albida*; e RC- *Rhizoglosum clarum*.

FONTE: BARBOSA, MXS (2023).

Apêndice Figura 1. Passo a passo da realização da análise de lipídios totais durante a execução do experimento.



Legenda: A - As raízes são lavadas após a coleta e posteriormente pesadas, sendo então direcionadas para secagem em estufa de circulação forçada de ar a 45 °C por 72 horas; B - As amostras secas são processadas em moinho de facas do tipo Willye R-TE-650/1; C - Após a adição dos ingredientes (amostra seca + soluções) e agitação, ocorre a separação das fases; D - Filtragem da camada inferior (clorofórmio + lipídios extraídos) utilizando papéis filtro comuns; E - As amostras são deixadas sobre a bancada para evaporação do clorofórmio; F - Os lipídios totais são obtidos após a etapa de evaporação do clorofórmio, aferidos em balança analítica; G - Transferência dos lipídios para o microtubo; H - A amostra final, contendo os lipídios totais, é destinada ao armazenamento em freezer.

FONTE: BARBOSA, MXS (2023).

Apêndice Figura 2. Cultivo indoor, sala de crescimento do laboratório de Biotecnologia da Embrapa Semiárido em Petrolina – PE, 2023.



Legenda: A- sala de crescimento com a luz fluorescente branca; B- Sala de crescimento com a luz vermelha e azul; C- Desenvolvimento do tomate-cereja sob a luz florescente branca, com 33 dias após o transplante de mudas; D- Desenvolvimento do tomate cereja sob luz vermelha e azul, com 106 dias após o transplante das mudas.

FONTE: BARBOSA, MXS (2023).

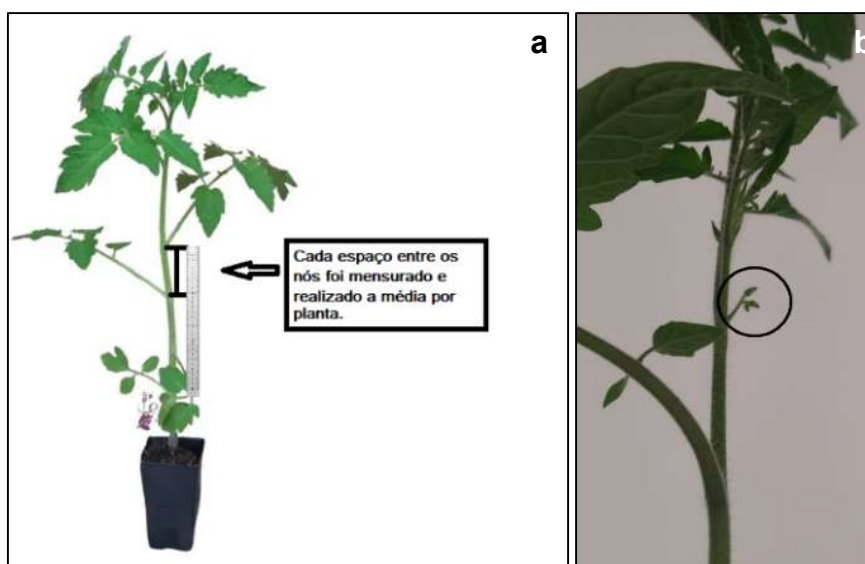
ANEXOS

ANEXO A- Método da análise quinzenal, para monitorar o comprimento e a largura das folhas, em plantas de tomate-cereja em sala de crescimento.



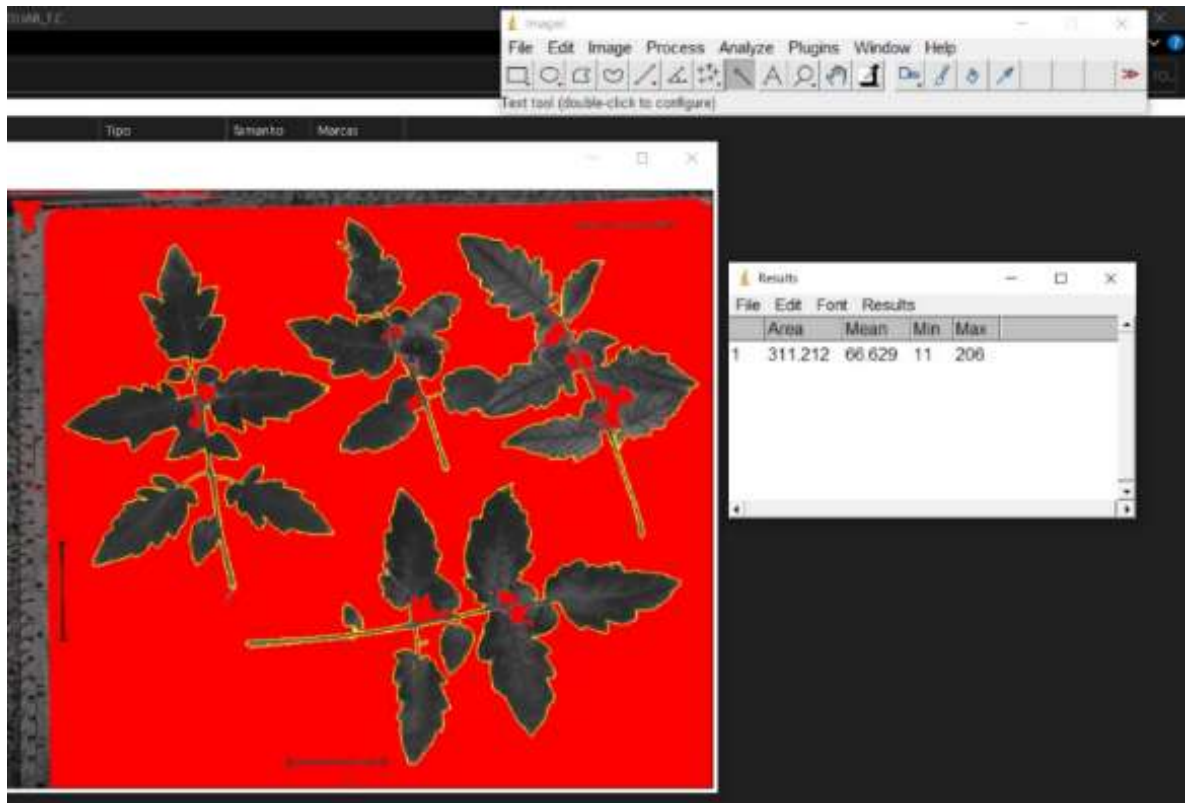
FONTE: GratisPNG - <https://www.gratispng.com/png-0b5g6i/>

ANEXO B- Método para espaçamento entrenós e da contagem de botão floral por planta.



FONTE: a) Vita Oliva Garden; b) BARBOSA, MXS (2023).

ANEXO C- Análise da área foliar realizada por meio do programa ImageJ em plantas de tomate-cereja.



FONTE: Programa ImageJ.