

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

LACY ANTONIA DOS SANTOS

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES, SUBSTRATO, FÓSFORO E MANEJO DA
IRRIGAÇÃO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Cedrela fissilis* Vell.**

**Alfenas/MG
2020**

LACY ANTONIA DOS SANTOS

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES, SUBSTRATO, FÓSFORO E MANEJO DA
IRRIGAÇÃO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Cedrela fissilis* Vell.**

Dissertação de mestrado apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Título de mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas/UNIFAL-MG.
Orientador: Prof^o. Dr. Romero Francisco Vieira Carneiro
Coorientador: Dr^a. Kamila Rezende Dázio de Souza

**Alfenas/MG
2020**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Central – Campus Sede

Santos, Lacy Antonia dos
S237f Fungos micorrízicos arbusculares, substrato, fósforo e manejo da
irrigação na produção de mudas de *Cedrela fissilis* Vell / Lacy Antonia
dos Santos. – Alfenas, MG, 2020.
93 f.: il. –

Orientador: Romero Francisco Vieira Carneiro.
Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade
Federal de Alfenas, 2020.
Bibliografia.

1. Micorriza. 2. Simbiose - Micorriza. 3. Fungos do solo. 4. Fisiologia
vegetal. 5. Fungos do solo. 6. Fisiologia vegetal. I. Carneiro, Romero
Francisco Vieira. II. Título.

CDD- 581

LACY ANTÔNIA DOS SANTOS

FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES, SUBSTRATO, FÓSFORO E MANEJO DA
IRRIGAÇÃO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Cedrela fissilis*

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Ciências Ambientais.

Aprovada em: 20 de agosto de 2020

Prof. Dr. Romero Francisco Vieira Carneiro
Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. Fabrício José Pereira
Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. José Lavres Júnior
Instituição: Universidade de São Paulo



Documento assinado eletronicamente por **Romero Francisco Vieira Carneiro, Professor do Magistério Superior**, em 20/08/2020, às 15:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fabrício Jose Pereira, Professor do Magistério Superior**, em 20/08/2020, às 17:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **José Lavres Junior, Usuário Externo**, em 24/08/2020, às 16:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 0363584 e o código CRC D2B86908.

Dedicatória

Aos meus pais Marcos Antonio dos Santos e
Irene Lorca Lopes dos Santos pelo amor
incondicional.

AGRADECIMENTOS

Inicio meus agradecimentos falando de Deus, pois em sua benevolência permitiu-me concretizasse o sonho de concluir o mestrado em Ciências Ambientais, e no decorrer destes anos de estudo conviver com pessoas tão especiais.

“E aprendi que se depende sempre
De tanta, muita, diferente gente
Toda pessoa sempre é as marcas
Das lições diárias de outras tantas pessoas

E é tão bonito quando a gente entende
Que a gente é tanta gente onde quer que a gente vá
E é tão bonito quando a gente sente
Que nunca está sozinho por mais que pense estar

É tão bonito quando a gente pisa firme
Nessas linhas que estão nas palmas de nossas mãos
É tão bonito quando a gente vai à vida
Nos caminhos onde bate, bem mais forte o coração

E aprendi ...”

Gonzaguinha - "Caminhos do Coração"

Agradeço a meus pais, Marcos Antonio dos Santos e Irene Lorca Lopes dos Santos, meus exemplos honestidade para sempre e sempre, por tudo que sou hoje, por cada oração, por todo carinho e amor demonstrados.

Agradeço meus avós maternos Francisco Lopes (*in memoriam*) e Antonia Lorca Perez Lopes (*in memoriam*), e avós paternos José Manuel dos Santos (*in memoriam*) e Francisca Quetti dos Santos (*in memoriam*) a quem procurei sempre me espelhar pelas demonstrações de amor ao próximo e humildade.

Agradeço minha irmã Ilize Francisca dos Santos, meu cunhado Marcos Donizete da Silva e meus sobrinhos Marcos Antonio dos Santos Silva e Isabela dos Santos Silva, pelas horas de lazer e pelas lições de companheirismo.

Agradeço o orientador deste trabalho o professor Dr. Romero Francisco Vieira Carneiro, pelos ensinamentos, por colaborar participando em todas as etapas do

experimento desta pesquisa e pelo e insetivo para a realização deste e de todos os outros trabalhos durante o decorrer deste mestrado, sempre com paciência e determinação.

Agradeço a coorientadora deste trabalho a Dr^a. Kamila Rezende Dázio de Souza, pelos ensinamentos, instruções e pelo apoio principalmente durante a realização das análises fisiológicas e estatísticas deste trabalho sempre ensinado com carinho e dedicação. Agradeço ainda imensamente por te compartilhado sua história de vida tão valiosa comigo.

Agradeço ao coordenador do Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL) o Prof^o Dr. Thiago Souza pelas instruções, partilha de conhecimento e pela colaboração na coleta de dados referente às análises fisiológicas desta pesquisa.

Agradeço a todos os professores do Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL), pelo zelo e dedicação ao ensinar.

Agradeço ao laboratório do Instituto de Ciência e Tecnologia da UNIFAL, pela oportunidade de realizar grande parte das análises deste experimento e a todos os funcionários pela dedicação.

Agradeço a secretária do PPGCA da UNIFAL, Denise da Costa Oliveira, pelo incentivo e segurança a mim transmitida durante o ingresso e permanência no mestrado.

Agradeço a secretária do PPGCA da UNIFAL Viviane Macedo Borges, que sucedeu o trabalho na secretária do programa pelo apoio e esclarecimentos durante o decorrer do mestrado.

Agradeço a Fundação Jardim Botânico de Poços de Caldas – MG, em especial a todos os funcionários e membros do Laboratório de Manejo Vegetal e Cultivo *in Vitro* por proporcionar a estrutura necessária para cultivo das mudas e realização da parte prática do experimento.

Agradeço a engenheira ambiental Isis Alves por colaborar em todas as etapas as etapas deste experimento com determinação e empenho e pelo incentivo constante durante o período de redação deste trabalho.

Agradeço a engenheira florestal Daniele Nogueira Reis, por colaborar com a parte prática do experimento relacionada às etapas de plantio e desenvolvimento das mudas.

Agradeço ao engenheiro ambiental Marco Aurélio Perbone Souza também por ter colaborado na parte prática do experimento relacionada as etapas de plantio e início do desenvolvimento das mudas.

Agradeço ao engenheiro ambiental Andre Teixeria da Silva Hucke também por ter colaborado na parte prática do experimento relacionada as etapas de plantio e início do desenvolvimento das mudas.

Agradeço a agrônoma Mariela Regina da Silva Penna pelo compartilhamento de ideias e conhecimentos importantes para o início da fase de plantio e para as análises microbiológicas do experimento.

Agradeço a meu companheiro de todas as horas Stefano Cervelin Tesolin por todo carinho, compreensão e por me auxiliar em minhas tarefas diárias com tanta dedicação.

Agradeço a todos os meus professores desde minha alfabetização até minha formação profissional no ensino superior por terem despertado em mim o desejo em lecionar e por dedicarem a vida a educação.

Agradeço aos meus colegas de profissão, professores, parceiros na caminhada pela educação e aos queridos alunos pelas demonstrações de afeto.

Agradeço a família Orlandi em especial João Luis Carneiro Orlandi, Eliane Cristina Tardelli Orlandi, Sr. Affonso Orlandi e Sra. Marlene Carneiro Orlandi, obrigado por sempre acreditar em meu potencial, me incentivando a progredir pessoalmente e profissionalmente.

Agradeço as minhas amigas de todas as horas Denise Franco Ribeiro, Tatiana de Paula Barbosa, Vanessa Cristina Vieira Escremin, Daiara Cristina da Silva, Luana Cristina Andrezzi, Michele Cristina Araujo, Tamires de Moraes e Tamires de Godoy, pelas companhias acolhedoras e risadas que tornaram os meus dias mais leves e divertidos perante as dificuldades impostas pela vida.

Deus nos concede a cada dia uma página em branco no livro da vida onde escrevemos a nossa própria história.

"O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001".

Nunca desistir

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

RESUMO

Cedrela fissilis Vell. é uma espécie de importância ecológica e econômica no Brasil, e atualmente é considerada vulnerável à extinção, sendo de suma importância o desenvolvimento de tecnologias que busquem maior eficiência no processo de produção de mudas. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), pertencentes ao filo Glomeromycotina, formam associações simbióticas obrigatórias nas raízes da maioria das plantas vasculares. Hipotetizou-se que estas associações são alternativas promissoras para influenciar os processos fisiológicos das plantas e, com isso, beneficiar a produtividade das mesmas. Assim, no artigo um (1), objetivou-se avaliar o efeito da utilização de substrato inóculo contendo fungos micorrízicos arbusculares das espécies *Acaulospora longula* (Al) e *Claroideoglobus etunicatum* (Ce) juntamente com substrato orgânico comercial sobre o crescimento e fisiologia de mudas de *C. fissilis*. No artigo dois (2), objetivou-se avaliar o efeito da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares das espécies *Acaulospora longula* e *Claroideoglobus etunicatum*, de diferentes doses de fósforo e manejos da irrigação sobre o crescimento e respostas fisiológicas de mudas de *C. fissilis*. Os parâmetros avaliados incluíram: biomassa seca, trocas gasosas, teor de clorofila (índice SPAD), desempenho fotossintético, número de esporos e porcentagem de colonização de raiz. Os resultados encontrados no primeiro experimento demonstraram que a inoculação de Al e Ce em *C. fissilis* associada ao substrato orgânico de casca de pinus aumentou a condutância estomática e a transpiração, acarretando em maior teor de clorofila, entretanto a assimilação do carbono e o acúmulo de biomassa não variaram em função dos tratamentos. A ausência de substrato orgânico resultou em menores valores de condutância estomática e transpiração. O aumento da porcentagem de substrato inóculo (na mistura inóculo: composto orgânico) levou ao aumento no número de esporos e na porcentagem de colonização micorrízica de raiz. No segundo experimento os resultados corroboraram a hipótese de que na produção de mudas de *C. fissilis* o acúmulo de biomassa seca e parâmetros fisiológicos são influenciados pelos fatores inoculação com FMAs, doses de P e frequência de irrigação de maneira não concomitante. Os efeitos variaram em função da espécie de FMA inoculada. A melhor combinação para produção de mudas com maior biomassa e maior sinergismo entre planta-microrganismo ocorreu na inoculação com Ce na dose 30 mg dm⁻³ de P repondo água 1x por semana. Os benefícios da inoculação com FMAs se correlacionaram com maior eficiência do fotossistema II e conteúdo de clorofila nas mudas inoculadas.

Palavras chave: Dependência micorrízica. Simbiose micorrízica. Parâmetros fisiológicos.

Pigmentos fotossintetizantes.

ABSTRACT

Cedrela fissilis Vell. is a tree species of ecological and economic importance in Brazil. It is currently vulnerable to extinction, being of paramount importance the development of technologies that seek greater efficiency in the process of seedling production. The arbuscular mycorrhizal fungi (FMAs), phylum Glomeromycotina, form obligatory symbiotic associations with the roots of the majority of vascular plants. It was hypothesized that these associations are promising alternatives to influence the physiological processes of plants, and thereby benefit their productivity. Thus, in article one (1), the objective was to evaluate the effect of using an inoculum substrate containing arbuscular mycorrhizal fungi of the species *Acaulospora longula* (Al) and *Claroideoglossum etunicatum* (Ce) altogether with a commercial organic substrate on the growth and physiology of *C. fissilis* seedlings. In article two (2), the objective was to evaluate the effect of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi of the species *Acaulospora longula* and *Claroideoglossum etunicatum*, phosphorus doses and different irrigation management on the growth and physiological responses of *C. fissilis* seedlings. The parameters evaluated included: dry biomass, gas exchange, chlorophyll content (SPAD index), photosynthetic performance, number of spores, and percentage of root colonization. The results found in the first experiment demonstrated that the inoculation of Al and Ce in *C. fissilis* associated with the organic substrate composed of pine bark increased physiological parameters such as stomatal conductance and transpiration, resulting in an even higher chlorophyll content, however assimilation of carbon and the accumulation of biomass did not vary according to the treatments. The absence of organic substrate results in lower values for the variables stomatal conductance and transpiration. The increase in the percentage of inoculum substrate (in the inoculum: organic compound mixture) led to an increase in the number of spores and the percentage of root mycorrhizal colonization. In the second experiment, the results corroborated the hypothesis that in the production of *C. fissilis* seedlings the accumulation of dry biomass and physiological parameters are influenced by inoculation with FMAs, doses of P, and frequency of irrigation, although the effects vary according to the species of AMF inoculated. The best combination for producing seedlings with greater biomass and greater synergism between plant-microorganism occurred in the inoculation with Ce at the dose of 30 mg dm⁻³ of P replenishing water 1x a week. The benefits of inoculation with FMAs correlated with greater efficiency of photosystem II and chlorophyll content in the inoculated seedlings.

Keywords: Mycorrhizal dependence. Mycorrhizal symbiosis. Physiological parameters.

Photosynthetic pigments.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

ARTIGO 1: FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM DIFERENTES PROPORÇÕES ENTRE OS SUBSTRATOS ÍNOCULOS E ORGÂNICO COMERCIAL SOB *Cedrela fissilis* Vell.

Figura 1: Trocas gasosas..... 56

Figura 2: Índice SPAD..... 57

Figura 3: Porcentagem de colonização micorrízica em raízes e Contagem de esporos no substrato..... 59

ARTIGO 2: FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES, DOSES DE FÓSFORO E MANEJO DA IRRIGAÇÃO NO CRESCIMENTO E FISIOLOGIA DE *Cedrela fissilis* Vell.

Figura 1: Biomassa seca total de mudas de *Cedrela fissilis*..... 76

Figura 2: Trocas gasosas..... 79

Figura 3: Índice SPAD..... 80

Figura 4: Desempenho fotossintético..... 81

Figura 5: Porcentagem de colonização micorrízica em raízes e Número de esporos no substrato..... 82

Figura 6: Dependência micorrízica de mudas de *Cedrela fissilis*..... 83

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 2: FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES, DOSES DE FÓSFORO E MANEJO DA IRRIGAÇÃO NO CRESCIMENTO E FISIOLOGIA DE *Cedrela fissilis* Vell.

Tabela 1: Correlação de Pearson..... 85

LISTA DE ABREVIÇÕES E SIGLAS

Al - *Acaulospora longula*

Ce - *Claroideoglobus etunicatum*

CT - Controle

FJBPC - Fundação Jardim Botânico de Poços de Caldas

FMAs - Fungos micorrízicos arbusculares

P - Fósforo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA <i>Cedrela fissilis</i>	21
2.2 EXTRATIVISMO E A IMPORTÂNCIA DA PRODUÇÃO MUDAS DE <i>C. fissilis</i> E DOS FMAS PARA O ENRIQUECIMENTO DA FLORA.....	23
2.3 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMAs).....	24
2.4 RELAÇÃO ENTRE OS FMAS E PRODUÇÃO DE MUDAS.....	26
2.5 RELAÇÃO ENTRE FMAS E A DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO NO MEIO.....	27
2.6 RELAÇÃO ENTRE FMAS E A DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO MEIO.....	28
2.7 INTERFERÊNCIA DA INOCULAÇÃO DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NA FISIOLOGIA DAS PLANTAS.....	30
2.8 EFICIÊNCIA DO USO DO FÓSFORO PELAS PLANTAS E SUA DISPONIBILIDADE NO AMBIENTE.....	31
2.9 EFICIÊNCIA DO USO DOS SUBSTRATOS ORGÂNICOS FLORESTAIS COMO FONTE DE NUTRIENTES NA PRODUÇÃO DE MUDAS.....	32
3 JUSTIFICATIVA	34
4 OBJETIVO	35
4.1 OBJETIVO GERAL.....	35
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	35
REFERÊNCIAS	36
ARTIGO 1: FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM DIFERENTES PROPORÇÕES ENTRE OS SUBSTRATOS ÍNOCULOS E ORGÂNICO COMERCIAL SOB <i>Cedrela fissilis</i>	48
RESUMO	48
ARTICLE 1: ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN DIFFERENT PROPORTIONS BETWEEN THE INTELLECTUAL AND COMMERCIAL ORGANIC SUBSTRATES UNDER <i>Cedrela fissilis</i>	49
ABSTRACT	49
1 INTRODUÇÃO	50
2 MATERIAL E MÉTODOS	51
2.1 OBTENÇÃO DOS FMAS E PREPARO DO SUBSTRATO DE CULTIVO.....	51
2.2 MATERIAL VEGETAL E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	52
2.3 ANÁLISES DE TROCAS GASOSAS E CONTEÚDO RELATIVO DE CLOROFILA....	53

2.4 DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE ESPOROS DE FMA.....	54
2.5 PORCENTAGEM DE COLONIZAÇÃO DAS RAÍZES POR FMAS.....	54
2.6 DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA SECA DAS MUDAS.....	54
2.7 ANÁLISE DE DADOS.....	55
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
3.1 TROCAS GASOSAS E CONTEÚDO RELATIVO DE CLOROFILA.....	55
3.2 QUANTIDADE DE ESPOROS E PORCENTAGEM DE COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA.....	58
4 CONCLUSÃO.....	62
REFERENCIAS.....	63
ARTIGO 2: FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES, DOSES DE FÓSFORO E MANEJO DE IRRIGAÇÃO NA FISIOLOGIA DE <i>Cedrela fissilis</i>.....	68
RESUMO.....	68
ARTICLE 2: ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI ASSOCIATED WITH THE PHOSPHORUS AND IRRIGATION MANAGEMENT IN THE PHYSIOLOGY OF <i>Cedrela fissilis</i>.....	69
ABSTRACT.....	69
1 INTRODUÇÃO.....	70
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	72
2.1 OBTENÇÃO DOS FMAS E PREPARO DO SUBSTRATO DE CULTIVO.....	72
2.2 PREPARO DO MATERIAL VEGETAL E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	72
2.3 ANÁLISES DE TROCAS GASOSAS, CONTEÚDO RELATIVO DE CLOROFILA E DESEMPENHO FOTOSSINTÉTICO.....	74
2.4 DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE ESPOROS DE FMAS.....	75
2.5 PORCENTAGEM DE COLONIZAÇÃO E DEPENDÊNCIA MICORRÍZICA.....	75
2.6 ANÁLISE DE DADOS.....	76
3 RESULTADOS.....	76
3.1 BIOMASSA SECA DAS MUDAS.....	76
3.2 TROCAS GASOSAS E CONTEÚDO RELATIVO DE CLOROFILA.....	78
3.3 DESEMPENHO FOTOSSINTÉTICO.....	81
3.4 COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA, QUANTIDADE DE ESPOROS E DEPENDÊNCIA MICORRÍZICA.....	82
4 DISCUSSÃO.....	86
5 CONCLUSÃO.....	89
AGRADECIMENTOS.....	90

1 INTRODUÇÃO

Cedrela fissilis Vell., representante da família Meliaceae, denominada popularmente de cedro-rosa, é uma espécie nativa da flora brasileira, com grande importância econômica por sua utilização em marcenarias, construção naval e aeronáutica (ARAGÃO *et al.*, 2017; FLORES *et al.*, 2018; XAVIER *et al.*, 2003). Apresenta ampla distribuição geográfica na América do Sul e Central, principalmente no sul e sudeste do Brasil, com grande ocorrência na Mata Atlântica e em outros países como Paraguai, Bolívia e Peru (SIQUEIRA; HIGUCHI; SILVA, 2019).

Durante muitos anos a exploração da *C. fissilis* foi realizada de maneira extrativista, existindo poucas informações técnicas acerca dos processos tanto de produção de mudas quanto o manejo das plantas em plantios diversos, e assim restringindo o progresso da seu cultivo (CUSATIS *et al.*, 2013; XAVIER *et al.*, 2003). Além disso, a monocultura aliada a incidência da broca do cedro causada pela *Hypsipyla grandella*, acarretaram grandes dificuldades para o estabelecimento da planta, onerando significativamente os custos para o seu cultivo (CARVALHO, 1994; ZANETTI *et al.*, 2017). Diante disso, a espécie *C. fissilis* foi caracterizada como sendo vulnerável à extinção (MARTINELLI; MORAES, 2013).

Neste sentido, há necessidade de aprimoramento do processo produção de mudas de cedro rosa com uso de novas tecnologias para atender às demandas de melhorias no manejo desta planta. A silvicultura brasileira, seja no âmbito da comercialização de mudas ou de programas de desenvolvimento florestal, depende da qualidade das mudas produzidas. A simbiose entre FMAs e raízes de plantas pode colaborar com a produção de mudas de maior vigor, uma vez que esta intensifica a absorção de nutrientes, em especial o fósforo, possibilitando sua otimização no processo produtivo (HAILEMARIAM *et al.*, 2018; RODRIGUES; BARROSO; FIGUEIREDO, 2018; SAMARÃO *et al.*, 2011; SCHIAVO *et al.*, 2018). É importante destacar também a importância da inoculação com FMAs quanto ao aproveitamento eficiente da água (ABDEL-SALAM; ALATAR; EL-SHEIKH, 2018; BARROS *et al.*, 2018; RONGA *et al.*, 2019). É possível utilizar o benefício promovido pelos FMAs em mitigar o estresse hídrico na produção de mudas, para encontrar manejos mais eficientes para as reposições das lâminas de irrigação previamente definidas.

As associações simbióticas entre espécies florestais e fungos podem exercer caráter mutualístico, neutralístico ou ainda parasítico (ANTONIOLLI; KAMINSKI, 1991). Em muitos casos, as relações mutualísticas como as micorrizas são alternativas

promissoras para aumentar a produtividade vegetal devido às alterações estruturais e fisiológicas promovidas na maioria das plantas superiores (FARIA *et al.*, 2017). Os fungos micorrízicos arbusculares compreendem os fungos do filo *Glomeromycota* (TEDERSOO *et al.*, 2018). Estes organismos são biotróficos e formam associações simbióticas mutualísticas em raízes de plantas (SOUZA *et al.*, 2010). *C. fissilis* responde à associação micorrízica arbuscular em suas raízes, com efeitos positivos no crescimento da espécie, favorecendo seu estabelecimento no ambiente natural (SILVA, 2009). A colonização micorrízica em raízes bem como a formação de esporos no solo pelos FMAs, frequentemente refletem em maior absorção de nutrientes minerais e água sugerindo o uso mais eficientes de recursos por plantas inoculadas (KILPELAINEN *et al.*, 2019). Com isso, são observadas respostas como aumento da biomassa seca e altura nas plantas colonizadas em comparação com as plantas não colonizadas (CAVALCANTE *et al.*, 2001; RONGA *et al.*, 2019).

Os sistemas de produção de mudas apresentam diversos fatores que podem ser considerados críticos para um desenvolvimento satisfatório das plantas (DELARMELINA *et al.*, 2014; KRATZ *et al.*, 2013). Os substratos empregados em viveiros são considerados de extrema importância para alcançar mudas de qualidade (OLIVEIRA; LIMA; LIMA, 2014). A utilização de substratos de origem orgânica propicia nutrientes, aumenta a capacidade de retenção de água, redução na densidade e aumento da porosidade, características importantes ao desenvolvimento (CALDEIRA *et al.*; 2008). Os FMAs formam hifas que envolvem e aumentam o volume de solo explorado pelas raízes transportando água e nutrientes para o interior da planta, favorecendo o seu desenvolvimento (FOLLI-PEREIRA *et al.*, 2012; NADEEM *et al.*, 2014). Assim, o emprego da inoculação micorrízica contribui com a otimização do uso de insumos externos, representando uma estratégia com consequências positivas nos aspectos econômicos e ambientais (CARNEIRO *et al.*, 2011, NADEEM *et al.*, 2014).

Alguns estudos têm demonstrado que a adição de fósforo no substrato, em doses sub-ótimas, influencia positivamente o estabelecimento da simbiose entre fungos e plantas, contribuindo para a obtenção de mudas com maior qualidade. A adubação fosfatada é importante para incrementar o desenvolvimento de plantas inoculadas por FMAs, contudo as respostas sobre o crescimento e nutrição das plantas inoculadas tendem a ocorrer em menores doses de P (HAILEMARIAM *et al.*, 2018; SAMARÃO *et al.*, 2011; SCHIAVO *et al.*, 2018). Assim, a dependência da planta por fósforo é maior na ausência ou ineficiência dos FMAs (ANJOS *et al.*, 2005; NOGUEIRA; CARDOSO, 2000).

Outra questão a ser considerada no processo de produção de mudas florestais é a disponibilidade de água, associada ao manejo ideal da irrigação. A quantidade de água necessária é ainda dependente de características relacionadas às espécies e ao ambiente de cultivo (SANTOS; RITIELLI, 2018). Os FMAs intensificam a absorção de água em condições de déficit hídrico, quando a simbiose estabelecida é eficiente, atuando no incremento de biomassa vegetal (CAVALCANTE *et al.*, 2001; FARIAS *et al.*, 2008; FOLLI-PEREIRA *et al.*, 2012).

Neste contexto, visando à otimização de recursos no processo produtivo tais como utilização de substrato orgânico comercial, da adubação fosfatada e do manejo de irrigação, este trabalho teve como objetivos: 1) analisar o efeito da inoculação com os fungos micorrízicos arbusculares das espécies *Acaulospora longula* e *Claroideoglobus etunicatum* em composição com substrato orgânico no crescimento e fisiologia de *C. fissilis* em fase de produção de mudas; e 2) analisar o efeito da inoculação com os fungos micorrízicos arbusculares *Acaulospora longula* e *Claroideoglobus etunicatum*, associadas à doses de fósforo e diferentes manejos de reposição da lâmina de irrigação nas respostas em crescimento e fisiológicas de *C. fissilis* em fase de produção de mudas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo apresenta o referencial teórico sobre *Cedrela fissilis* Vell. e o efeito da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares:

Iniciamente são abordados os conceitos básicos a cerca do assunto, posteriormente no decorrer de alguns dos tópicos um apontamento de trabalhos relacionados ao assunto e uma discussão de suas relações com esta pesquisa. Este capítulo esta dividido nas seguintes seções destinadas a abordar:

- Caracterização da *Cedrela fissilis*;
- Extrativismo e a importância da produção mudas de *C. Fissilis* e dos FMAs para o enriquecimento da flora;
- Fungos micorrízicos arbusculares;
- Relação entre os FMAs e produção de mudas;
- Relação entre FMAs e a disponibilidade de fósforo no meio;
- Relação entre FMAs e a disponibilidade hídrica do meio;
- Interferência da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares na fisiologia das plantas;
- Eficiência do uso do fósforo pelas plantas e sua disponibilidade no ambiente;
- Eficiência do uso dos substratos orgânicos florestais como fonte de nutrientes na produção de mudas.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA *Cedrela fissilis*

As espécies do gênero *Cedrela* apresentam uma grande distribuição em florestas tropicais brasileiras, *Cedrela fissilis* é uma meliácea nativa do bioma Mata Atlântica, cuja madeira apresenta alto valor ecológico e econômico (ARAGÃO *et al.*, 2017). O cedro produz uma das madeiras mais apreciadas no comércio brasileiro e também internacional. Com a madeira de coloração castanho-avermelhada e de fácil manuseio possibilita o uso diversificado desta espécie (CARVALHO, 1994).

O *cedro-rosa* (*Cedrela fissilis* Vell.) ocorre desde o Estado do Pará até o Rio Grande do Sul e pertence ao grupo das espécies secundárias tardias, possui grande valor madeireiro, pode ser empregada em projetos de arborização urbana e é considerada uma espécie importante na fabricação do mel por abelhas (GANDARA, 2009; LORENZI, 2000).

De modo geral a floração e a frutificação se iniciam entre dez e quinze anos após o plantio, sendo em diferentes períodos nos locais de ocorrência (CARVALHO, 1994). Os frutos de *C. fissilis* são secos e as sementes aladas anemocóricas, sempre dispersando suas sementes na estação seca seguinte à floração (FRANKIE; BAKER; OPLER; 1974). Os frutos são capsulares de cor bege a castanho-avermelhada com a presença de um pequeno núcleo seminal e produzem em média 30 e 100 sementes. As suas sementes têm baixa longevidade e não apresentam dormência, de modo que a propagação destas espécies é favorecida logo após o amadurecimento dos frutos (AMARAL; NAKAGAWA, 1989; CARVALHO, 1994).

As flores maduras de *C. fissilis* são morfológicamente bissexuais, mas funcionalmente unissexuais, são pentâmeras e isômeras, as sépalas são lobadas e parcialmente livres. As características das sépalas e pétalas são muito semelhantes em flores masculinas e femininas não sendo observadas diferenças marcantes entre elas (GOUVÊA; DORNELAS; RODRIGUEZ, 2008).

A germinação das sementes de *C. fissilis* pode ocorrer à sombra, porém é sempre intensificada sob incidência de luz direta, já que as plântulas em sub-bosque com a abertura de clareiras incrementam a taxa de desenvolvimento. É comum plântulas desta espécie se desenvolverem em clareiras, localidades com elevada luminosidade, assim como nas bordas das florestas (GADARA, 2009).

De uma maneira geral as espécies de cedro apresentam tronco rígido e ereto e casca de cor que pode variar de cinza a castanho-claro, com textura áspera e preenchida com escamas planas separadas dispostas entre fendas acentuadas. É uma das espécies estruturantes do dossel, podendo atingir de 20 a 35 metros de altura, seu tronco apresenta de 60 a 90 cm de diâmetro. Por isso, vem sendo largamente empregada em projetos de reflorestamentos heterogêneos de áreas degradadas para fins de conservação, devido ao rápido crescimento e facilidade de obtenção de sementes (LELES *et al.*, 2006; LORENZI, 2000).

C. fissilis apresenta alternância em suas características, sendo umbrófila na fase vegetativa, e passível de cultivo em condições de menor intensidade luminosa na fase adulta, sendo adequada ao plantio misto (INOUE, 1977). Em relação ao ritmo fenológico *C. fissilis*, apresenta comportamento sazonal e é considerada uma espécie decídua já que as árvores perdem completamente as folhas no período mais seco do ano e brotam intensamente no início das chuvas e a floração ocorre logo após o amadurecimento das folhas (ANDREACCIL; BOTOSSO; GALVÃO, 2017; SANTOS; TAKAKI, 2005). Com um

padrão bianual de floração e frutificação, após o amadurecimento dos frutos, na estação seca, ocorre sua abertura e a dispersão das sementes aladas (FERRAZ *et al.*, 1999; SANTOS; TAKAKI, 2005).

2.2 PERSPECTIVAS PARA O USO DA INOCULAÇÃO COM FMAS PARA O ENRIQUECIMENTO DA FLORA

A preservação da biodiversidade dos ecossistemas tropicais é uma das principais preocupações da sociedade atual. No decorrer do tempo o potencial genético de várias espécies nativas foi comprometido pela devastação florestal, provocando extinção de importantes espécies vegetais e colocando em risco a sobrevivência dos ecossistemas naturais (FLORES *et al.*, 2018).

Com o desmatamento e o extrativismo para a utilização dos recursos madeireiros, os recursos genéticos para estabelecimento de protocolos de manejos florestais sustentáveis vêm sendo extintos (FEARNSIDE, 2005). Neste sentido, os estudos relacionados às espécies nativas incluindo *C. fissilis* adquirem importância fundamental, uma vez que a extração destas espécies tem ocorrido por superexploração, com grandes derrubadas em habitat natural para uso da madeira que apresenta elevada qualidade e alto valor econômico (MUELLNER *et al.*, 2003; MUELLNER *et al.*, 2010; PAIVA; BUONO; DELGADO, 2006; RUIZ FILHO *et al.*, 2004).

Essa rápida redução das florestas naturais visando o uso da madeira na construção civil, geração de energia e disponibilização de áreas maiores para cultivos agrícolas, levaram a uma rápida degradação ambiental (ARRAES; MARIANO; SIMONASSI, 2012). Juntamente com as perdas de recursos ambientais, diversos aspectos econômicos e sociais como a geração de riqueza, a distribuição de renda, a migração e a disponibilidade de emprego têm sido afetados (SPAROVEK, 2011).

A ausência de informações a respeito da nutrição mineral e produção de mudas das espécies florestais é observada quando se inicia as pesquisas para trabalhos de enriquecimento da flora (CECONI *et al.*, 2006). O plantio de mudas de espécies florestais tem custo elevado e é imprescindível para garantir a sustentabilidade dos ecossistemas. Neste sentido, estudos relacionados sobre a introdução de técnicas que viabilizem o plantio e que sejam alternativas para regeneração natural para o enriquecimento da flora e de áreas em restauração são muito relevantes (SUGANUMA *et al.*, 2008).

Atualmente se observa a crescente necessidade na produção de mudas de espécies florestais nativas, incluindo de *C. fissilis*, para o enriquecimento da flora e fins comerciais (CUSATIS *et al.*, 2018). Informações sobre ecologia e o crescimento também são fundamentais na produção de mudas *C. fissilis* já que atualmente a utilização de sua madeira é restrita pela carência de informações quanto ao seu manejo (CUSATIS *et al.*, 2013). O estabelecimento e desenvolvimento de espécies arbóreas no campo é frequentemente limitado em função da falta de nutrientes essenciais disponíveis, fato que amplia as expectativas quanto ao uso dos FMAs como uma biotecnologia associada à melhoria das condições de nutrição das plantas (CHEN *et al.*, 2017; HOYESTED *et al.*, 2018). A inoculação com FMAs para recuperação de solos degradados pode ser benéfica nos casos em que não houver fungos nativos eficientes ou que a concentração de fósforo no solo for baixa e, no processo de sucessão vegetal, pode favorecer o estabelecimento de espécies de plantas próprias de etapas sucessionais intermediárias e avançadas, acelerando a recuperação para uma cobertura vegetal clímax (CAPRONI *et al.*, 2007).

De modo geral, a associação entre FMAs e as raízes das plantas colabora com a sobrevivência das plantas pela capacidade de interferir positivamente no crescimento e na nutrição de espécies vegetais. Isso ocorre por meio do aumento na fixação de carbono na biomassa vegetal acima do solo, sendo um importante meio para a preservação ambiental e recuperação de áreas de floresta e matas ciliares (BRAGHIROLI *et al.*, 2012). Considerando que as florestas tropicais apresentam grande biodiversidade, sendo chamadas de “hostspots”, os FMAs têm papel fundamental na manutenção, equilíbrio e funcionamento das comunidades vegetais e ecossistemas (MARINHO *et al.*, 2018). No caso da produção de mudas de espécies florestais como a *C. fissilis*, o estabelecimento de protocolos como a inoculação com FMAs pode garantir o passo inicial para que a planta tenha sucesso em etapas posteriores como o crescimento a campo.

2.3 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMAs)

Os fungos micorrízicos arbusculares estabelecem associações simbióticas mutualísticas com raízes da grande maioria das plantas vasculares terrestres. Os FMAs compreendem um pequeno grupo de fungos considerados altamente evoluídos (ROSENDAHL; TAYLOR, 1997; SOUZA *et al.*, 2010). Atualmente os FMAs são classificados como pertencentes ao filo *Glomeromycota* com 317 espécies reconhecidas em três classes: Archaeosporomycetes, Glomeromycetes e Paraglomeromycetes, cinco

ordens: Archaeosporales, Diversisporales, Gigasporales, Glomerales e Paraglomerales, 16 famílias e 42 gêneros (TEDERSOO *et al.*, 2018).

Os FMAs produzem três tipos de propágulos responsáveis pela colonização da planta hospedeira e estabelecimento da micorriza, compreendendo os esporos assexuados, a rede de hifas presente no solo e estruturas fúngicas contidas em fragmentos de raízes no solo (SMITH; READ, 2008). O início da simbiose ocorre pelos propágulos dos fungos que se desenvolvem na rizosfera e formam uma grande quantidade de hifas infectivas que permitem maior contato entre a raiz e o solo. As células corticais da raiz são capazes de permitir uma segunda penetração fúngica e formação de arbúsculos nas camadas mais internas. O ciclo de vida dos fungos se completa com a formação de vesículas e esporos que, posteriormente, podem germinar e colonizar novas plantas (SOUZA *et al.*, 2006).

Nesta associação simbiótica as plantas fornecem abrigo e substâncias essenciais como carboidratos, vitaminas e aminoácidos necessárias à sobrevivência dos fungos, os quais disponibilizam nutrientes minerais, em especial o fósforo e nitrogênio, às plantas (CHEN *et al.*, 2017; COELHO *et al.*, 2012; HOYESTED *et al.*, 2018). A inoculação com propágulos de FMAs das espécies *Claroideoglomus etunicatum* e *Acaulospora longula* tem sido relacionada com a maior absorção de nutrientes e com a promoção do crescimento vegetal em uma variedade de espécies de plantas dentre as quais: cedro-australiano (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*) (SILVA *et al.*, 2017), braúna (*Schinopsis brasiliensis*) (OLIVEIRA *et al.*, 2015) pereiro (*Aspidosperma pyriforme*), juazeiro (*Ziziphus joazeiro*) e imbiruçu (*Pseudobombax simplicifolium*) (OLIVEIRA *et al.*, 2017) e em híbridos de meloeiro (Juazeiro e Mandacaru) (MELO *et al.*, 2017).

Entretanto, as relações simbióticas existentes entre FMAs e plantas podem ser complexas e envolver uma comunidade de fungos, onde a colonização em uma planta pode estar ocorrendo por mais de uma espécie de FMA (CLAPP *et al.*, 1995). As comunidades de FMAs presentes no solo podem ainda sofrer modificações pela mudança no uso do solo e, conseqüentemente, em função das alterações nas comunidades vegetais (FERREIRA *et al.*, 2012). Destaca-se ainda, que a eficiência da simbiose depende da compatibilidade entre a espécie de FMAs e a espécie vegetal hospedeira, sempre associada às condições edafoclimáticas do meio externo (CARDOSO *et al.*, 2010; MIRANDA, MELLO e KUPPER, 2018).

2.4 RELAÇÃO ENTRE OS FMAS E PRODUÇÃO DE MUDAS

As relações simbióticas entre FMAs e raízes de plantas apresentam importante função biológica que favorece uma grande quantidade de espécies de fungos e de plantas, sendo essenciais no processo de ciclagem de nutrientes e na manutenção da qualidade do solo (RHODES; GERDEMANN, 1975; SMITH; ANDERSON; SIMIT, 2015). Os FMAs atuam na manutenção da estrutura do solo, pois agregam partículas e, através de suas hifas, envolvem e aumentam o volume de solo explorado pelas raízes. Com isso, há maior transporte de água e nutrientes para o interior da planta (CARDOSO; ANDREOTE, 2016; FOLLI-PEREIRA *et al.*, 2012; NADEEM *et al.*, 2014).

A eficiência desta relação depende da espécie de FMAs inoculada, da espécie de planta, das características químicas e físicas do ambiente e dos fatores climáticos (NUNES *et al.*, 2013). Contudo o sucesso da inoculação frequentemente depende das espécies de FMAs utilizadas, associadas a fatores como o tipo de solo onde é realizado o plantio e às variações das condições ambientais (BALOTA; MACHINESKI; STENZEL, 2010; NADEEM *et al.*, 2014). Com isso, o manejo adequado dos FMAs contribui para aumentar a produtividade em diferentes condições de solos e de manejo (ARNALDO FILHO; NOGUEIRA, 2007). Ademais, os FMAs contribuem para que as plantas possam tolerar condições ambientais adversas, sobretudo por proporcionar a esta maior tolerância aos estresses abióticos.

A inoculação com diversas espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) cada vez mais é empregada como uma tecnologia para a produção de mudas de qualidade, permitindo melhor desenvolvimento de plantas como videira (ANZANELLO *et al.*, 2011), mirtilo (FARIAS *et al.*, 2014), cafeeiro (FRANÇA *et al.*, 2014) e teca (RODRIGUES; BARROSO; FIQUEIREDO, 2018). De forma geral, a inoculação com FMAs tem otimizado a produção de mudas de diferentes espécies arbóreas, sejam estas pioneiras, secundárias ou tardias, servindo ao processo de enriquecimento das florestas nativas ou também para o reflorestamento (PASQUALINI; UHLMANN; STURMER, 2007). A inoculação por FMAs tende a aumentar os níveis de nutrientes minerais como P^+ , K^+ e Ca^{2+} , de carboidratos solúveis nas folhas e raízes, além de ocasionar alterações no conteúdo de hormônios vegetais e na taxa fotossintética das mudas (JAHROMI *et al.*, 2007; WU; XIA, 2006). Neste sentido, a inoculação com FMAs é uma alternativa eficiente para desenvolvimento de mudas após plantio em campo (OLIVEIRA; SILVA; RIOS, 2015; RODRIGUES; BARROSO; FIQUEIREDO, 2018).

Diante dos benefícios do uso de FMAs na produção de mudas, o emprego da inoculação tem permitido a obtenção de mudas de alta qualidade em diferentes espécies vegetais. A utilização de diversos substratos como fonte de nutrientes juntamente com FMAs apresentou bons resultados em estudos envolvendo plântulas de mamoeiro (*Carica papaya* L.) (ALMEIDA *et al.*, 2014), formação de mudas de cafeeiro (Catuaí Amarelo) (TRISTÃO; ANDRADE; SILVEIRA, 2006), e na produção de mudas de saguaraji (*Colubrina glandulosa*) (CAMARA *et al.*, 2017).

2.5 RELAÇÃO ENTRE FMAS E A DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO NO MEIO

Os compostos fosfatados são utilizados como fonte de energia nos processos biológicos apresentando grande importância no desempenho de muitas funções vitais nos organismos vivos (DOMINGOS *et al.*, 2003). Em regiões de clima tropical é comum a aplicação em larga escala de adubos fosfatados para a nutrição das plantas já que a quantidade natural de fósforo em formas disponíveis no solo é muito baixa (BELTRÁN; SILVEIRA; PASSOS, 1998). Desta maneira, também no processo de produção de mudas, a adubação fosfatada é muito utilizada (CECONI *et al.*, 2006; FREITAS *et al.*, 2017).

A relação entre FMAs e o fósforo sobre o desenvolvimento de plantas é demonstrado em diversos estudos com: araucária (*Araucaria angustifolia*) (SOUZA; CARDOSO, 2002), embaúba (*Cecropia pachystachya* Trec) (CARNEIRO; SIQUEIRA; DAVIDE, 2004), cajueiro-anão-precoce (*Anacardium occidentale*, L.) (WEBER *et al.*, 2004), gabioba (*Campomanesia cambessedeanae*), baru (*Dipterix alata*), jatobá (*Hymenaea courbaril*), ingá (*Inga laurina*), caroba (*Jacaranda cuspidifolia*) e chichá (*Sterculia striata*) (LACERDA *et al.*, 2011) e cedro-australiano (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*) (SILVA *et al.*, 2017).

A concentração de fosfato no solo tende a influenciar o crescimento do micélio externo dos FMAs. Assim, em baixas doses de P os FMAs tendem a ter maior desenvolvimento do micélio e, conseqüentemente, da superfície disponível para absorção, melhorando o estado nutricional da planta (NOGUEIRA; CARDOSO, 2000; SILVA *et al.*, 2017). Quando a concentração de P no substrato é baixa pode ocorrer otimização do seu uso quando as plantas forem inoculadas com FMAs, já quando se tem maiores concentrações de P no substrato, ao contrário, poderá ocorrer inibição na atividade dos FMAs (BARBIERI *et al.*, 2011; FRANÇA *et al.*, 2014). Em geral, observa-se ainda um considerável aumento de matéria seca quando existe simbiose entre raízes e

FMA, o que tem proporcionado produção de mudas com maior vigor (CARNEIRO *et al.*, 2011; HAILEMARIAM *et al.*, 2018; SCHIAVO *et al.*, 2018).

Algumas espécies de plantas, em determinados ambientes de cultivo, apresentam maior compatibilidade com certas espécies de FMA, o que reflete no crescimento e na maior capacidade em se estabelecerem no ambiente. Com essas espécies mais eficientes de FMA, há maior absorção de fósforo disponível no substrato, o que pode representar economia na utilização de fósforo no sistema produtivo (ROCHA *et al.*, 2006; SCHIAVO *et al.*, 2018)

2.6 RELAÇÃO ENTRE FMAs E A DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO MEIO

A água tem fundamental importância para a manutenção da vida no planeta, sua universalidade como solvente gera a vida, sendo o único líquido que atende a todas as características necessárias ao surgimento dos seres vivos (POHORRILE; PRATT, 2012). Nas células a água exerce importante função no crescimento, sendo fundamental para a manutenção da turgescência (SANTOS; CARLESSO, 1998). A manutenção do turgor permite a continuidade no crescimento sendo de fundamental importância para a divisão, alongamento e diferenciação celular; processos que são intensamente afetados pelo déficit hídrico quando ocorre perda turgescência (TEZARA *et al.*, 2002). Além disso, o movimento da água pelo continuum solo-planta-atmosfera está relacionado com a absorção de nutrientes pela planta e a manutenção das trocas gasosas foliares nos vegetais, permitindo que haja a fixação do carbono e acúmulo de biomassa (COSTA *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2014). A disponibilidade correta de água é de fundamental importância para garantir o crescimento e o desenvolvimento de mudas.

A ocorrência de déficit hídrico afeta o crescimento e o desenvolvimento das culturas em todo o mundo (SANTOS; CARLESSO, 1998). O déficit hídrico limita as funções fisiológicas e também morfológicas, culminando em perdas na produção ou até mesmo morte da planta. Assim, para lidar com o déficit hídrico, as plantas desenvolvem respostas morfo-anatômicas e fisiológicas que as permitam sobreviver (SANTOS; CARLESSO, 1998). Dentre essas respostas, a maior eficiência no uso da água indica que os ajustes fisiológicos permitem à planta manter a produção de biomassa com menor perda de água por meio da transpiração (MEDRANO *et al.*, 2007).

Os estômatos são estruturas responsáveis por realizar as trocas gasosas entre a planta e o ambiente (MANABE *et al.*, 2014). A redução da condutância estomática e das

trocas gasosas decorrentes de períodos de déficit hídrico são estratégias para reduzir a perda excessiva de água via transpiração (ALBUQUERQUE *et al.*, 2013). Contudo objetivando o aperfeiçoamento da produção vegetal com maiores valores nas taxas fotossintéticas é extremamente necessário manter o status hídrico das plantas (PAIVA *et al.*, 2005). A tolerância da planta ao déficit hídrico é mecanismo de resistência para possibilitar a produção vegetal em condições de escassez de água, e a resposta da planta ao déficit hídrico depende de vários fatores incluindo a intensidade e a duração do déficit hídrico, do tempo de desenvolvimento da cultura e de fatores específicos da própria espécie vegetal (SANTOS; CARLESSO, 1998).

As plantas inoculadas por FMAs em sua grande maioria resistem melhor a solos com baixa disponibilidade de água (ABDEL-SALAM; ALATAR; EL-SHEIKH, 2018; MORATELLI *et al.*, 2007;). Assim os FMAs são capazes de proteger as plantas contra o estresse causado por fatores ambientais, através do aperfeiçoamento da absorção de água e da capacidade fotossintética (RONGA *et al.*, 2019; ZHU; SONG; XU, 2010). Na fase de produção de mudas a inoculação com FMAs assume importância, principalmente em substratos de baixa fertilidade e sujeitos a estresse hídrico (CARNEIRO; SIQUEIRA; DAVIDE, 2004).

A simbiose com FMAs pode aumentar respostas de plantas ao déficit hídrico envolvendo alterações em diversos mecanismos, evidenciando o aumento da resistência das plantas inoculadas em razão da ampliação da superfície de absorção mediada pelas hifas dos fungos (ALLEN, 1982; AUGÉ *et al.*, 2003), a alteração nas quantidades de hormônios acarretando mudanças na condutância estomática (AUGÉ *et al.*, 2008) e os efeitos sobre as folhas com alterações na condutância estomática e redução do potencial osmótico (AUGÉ; TOLER; SAXTON, 2015).

Deste modo, as plantas inoculadas respondem ao déficit hídrico por meio de uma estratégia de conservação da água, mas permitindo o aumento da atividade fotossintética, por meio da regulação osmótica e o turgor nas células das folhas é mantido, não ocorrendo perda e induzindo resistência às condições de seca (GARCÍA *et al.*, 2011). Os FMAs intensificam a absorção de água atuando no incremento de biomassa vegetal (FOLLI-PEREIRA *et al.*, 2012), promovendo melhorias no metabolismo fotossintético e contribuindo na construção de maior área foliar pelas plantas (BARROS *et al.*, 2018). O desempenho fotossintético de plantas é intensificado em plantas inoculadas com FMAs, uma vez que a inoculação micorrízica tende a favorecer a concentração de pigmentos

responsáveis pela fotossíntese nas folhas das plantas (KONRAD *et al.*, 2014; LIU *et al.*, 2015; TRISTÃO; ANDRADE; SILVEIRA, 2006; ZHU *et al.*, 2014).

2.7 INTERFERÊNCIA DA INOCULAÇÃO DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NA FISIOLOGIA DAS PLANTAS

As plantas micorrizadas apresentam incremento da atividade fotossintética quando comparadas a plantas não micorrizadas (HERRMANN; OELMÜLLER; BUSCOT, 2004; ZHU; SONG; XU, 2010). A inoculação com FMAs tende a contribuir com o processo de fotossíntese pela manutenção da concentração de clorofila nas folhas e com o aumento do potencial hídrico influenciando de forma positiva a sobrevivência e o desenvolvimento das plantas (HERRMANN; OELMÜLLER; BUSCOT, 2004; SANNAZZARO *et al.*, 2006; SHENG *et al.*, 2008).

Os estômatos são estruturas responsáveis por controlar as trocas gasosas entre a parte interna das folhas e o meio ambiente. As associações simbióticas de plantas com FMAs tendem a influenciar a fisiologia das plantas pela hidratação e fixação de carbono, otimizando a fotossíntese e o acúmulo de biomassa na planta (AUGÉ *et al.*, 2015). O monitoramento da captação de CO₂ pelas plantas inoculadas por FMAs demonstra ainda que as taxas fotossintéticas sob condições de saturação de luz aumentam consideravelmente com a infecção, o que se deve à redução na resistência estomática e também na resistência do mesófilo à absorção de CO₂ (ALLEN *et al.*, 1981).

As clorofilas a e b e os carotenóides, localizados nas membranas dos tilacóides dos cloroplastos, são pigmentos responsáveis pela captação da energia radiante do sol que é utilizada no processo fotossintético e convertida em energia química (GREEN; DURNFORD, 1996). Em condições em que ocorre déficit hídrico, é possível que ocorra diminuição na eficiência da fotossíntese (GONÇALVES *et al.*, 2010). No entanto, as plantas inoculadas por FMAs tendem a apresentar maior conteúdo de pigmentos fotossintéticos como clorofila a e b, açúcares e proteína solúvel nas folhas (LATEF; CHAOXING, 2011).

Assim, pode-se dizer que a associação entre espécies de plantas e FMAs tende a otimizar processos fisiológicos importantes como a taxa de transpiração, a condutância estomática e a fotossíntese líquida principalmente em condições de estresse hídrico (MORTE *et al.*, 2000). Contudo o grau de benefício depende das espécies de fungos e plantas envolvidas (MIRANDA; MELLO; KUPPER, 2018; TAWARAYA, 2003;). A maior

eficiência fotossintética em plantas inoculadas com FMAs se relaciona a maior assimilação de CO₂ e otimização da etapa de carboxilação (CHEN *et al.*, 2017).

Quando se avalia a influência da inoculação com FMAs na produção de mudas é possível observar ainda como resultado final dos benefícios desta simbiose, um aumento na produção de massa seca, já que com o aumento significativo do volume de solo explorado pelas raízes das plantas melhora-se não somente a absorção de água mas também de nutrientes (CRUZ *et al.*, 2019; RODRIGUES *et al.*, 2018).

2.8 EFICIÊNCIA DO USO DO FÓSFORO PELAS PLANTAS E SUA DISPONIBILIDADE NO AMBIENTE

O fósforo, também denominado de ácido ortofosfórico, sendo este seu principal constituinte juntamente com os pirofosfatos, é um macronutriente essencial ao desenvolvimento das plantas com grande importância agrônômica e para os ecossistemas. Como processos naturais em solos, o intemperismo em rochas libera gradualmente os nutrientes essenciais às plantas, primeiramente a partir dos minerais primários, em seguida dos minerais secundários até agregarem-se a compostos orgânicos do solo; em um processo lento (SANTOS; GATIBONILL; KAMINSKIL, 2008).

Os processos fisiológicos dos vegetais de modo geral dependem do fósforo, molécula que atua nos sistemas de armazenamento, transferência de energia e estruturação de importantes macromoléculas, como ácidos nucléicos, fosfolípidios e trifosfato de adenosina (ATP). O ATP faz parte de todo o desenvolvimento vegetal acumulando energia necessária para respiração das plantas e formação de novas células principalmente no início do desenvolvimento e formação do sistema radicular (FERNÁNDEZ, 2007). O fósforo atua ainda nos tecidos foliares aumentando a transferência de açúcares sintetizados no cloroplasto para o citoplasma e posteriormente para o floema (SANTOS *et al.*, 2012).

Em solos tropicais, a disponibilidade de fósforo é considerada fator limitante da produtividade das culturas, devido seu alto poder de adsorção e fixação em particulados do solo. Os países de alto potencial agrícola como o Brasil apresentam a necessidade de aplicação de altas doses de fertilizantes para garantir a produção e rentabilidade das culturas (SILVA; IGNÁCIO; SILVA, 2017), pois, como mencionado anteriormente, os processos de liberação do P natural dos solos são lentos. De modo geral, os solos que apresentam baixa concentração de fósforo, tendem a ocasionar alterações do

metabolismo fotossintético, comprometendo o crescimento e características fisiológicas mesmo sob condições hídricas adequadas (SILVA *et al.*, 2010). Neste sentido, é importante adicionar quantidades adequadas de fósforo em cada fase do ciclo de desenvolvimento da planta, visando favorecer a manutenção e viabilidade da produção, já que com ao longo do tempo a disponibilidade deste nutriente na planta e no solo tendem a diminuir (SANTOS *et al.*, 2002). Contudo, as plantas que são inoculadas por FMAs tendem a sobressair, apresentando maior biomassa em pequenas doses de P em comparação com plantas não inoculadas. Isso indica o efeito benéfico dos FMAs sobre a absorção de P, entretanto os benefícios da inoculação podem diminuir com o aumento das doses de P (CARNEIRO *et al.*, 2010; SCABORA; MALTONI; CASSIOLATO, 2010).

2.9 EFICIÊNCIA DO USO DOS SUBSTRATOS ORGÂNICOS FLORESTAIS COMO FONTE DE NUTRIENTES NA PRODUÇÃO DE MUDAS

Dentre os diversos fatores determinantes para o desenvolvimento inicial de mudas, a escolha do substrato exerce papel primordial nesta etapa (FREITAS *et al.*, 2013). Os substratos empregados em viveiros têm a finalidade de proporcionar qualidade das mudas, tornando-as mais produtivas, resistentes a patógenos e ao stress hídrico, além de reduzir o tempo de crescimento, colaborando com a redução de custos na produção (OLIVEIRA; LIMA; LIMA, 2014). Entretanto, a produção de mudas ocorre com a utilização de substratos com teores nutricionais muitas vezes inadequados, apontando a necessidade de adequações nos viveiros (CECONI *et al.*, 2006; FREITAS *et al.*, 2017).

De acordo com Kratz *et al.* (2013), o processo de produção de mudas atualmente tem substituído a terra de subsolo por componentes orgânicos. Estes, por sua vez, fornecem uma gama mais variada de nutrientes para o crescimento de várias culturas, contribuindo para redução da necessidade de introdução de fertilizantes sintéticos com alta solubilidade (LEAL *et al.*, 2007). Os substratos comerciais apresentam diferentes propriedades químicas, físicas e biológicas que variam de acordo com os seus constituintes (CALDEIRA *et al.*, 2000; FERRAZ; CENTURION; BEUTLER; 2005).

Assim, os substratos utilizados na produção de mudas devem apresentar características favoráveis ao desenvolvimento das mudas. Estas características incluem ausência de patógenos, quantidade superior de nutrientes essenciais, pH adequado, boa textura e estrutura (SILVA; PEIXOTO; JUNQUEIRA, 2001). A vermiculita, por exemplo, é

considerada importante componente em razão da melhoria que proporciona das condições físicas do substrato (FREITAS *et al.*, 2013).

Considera-se ainda que os substratos orgânicos que utilizam em sua formulação resíduos provenientes da produção florestal e do processamento industrial da madeira sejam uma alternativa promissora e ambientalmente correta (MAEDA *et al.*, 2007). Entre os diversos componentes de misturas para substratos considerados ecologicamente corretos, podemos dar importância aqueles que têm a casca de pinus como constituinte principal. Os compostos orgânicos formulados a partir de materiais renováveis são considerados fontes de nutrientes, além de ser uma solução para destinação dos resíduos e para a redução dos altos custos de insumos necessários para produção de mudas (TRAZZI *et al.*, 2013).

O maior vigor de mudas de espécies florestais depende do sucesso da germinação de sementes, da formação das raízes e da parte aérea no início do desenvolvimento, sendo diretamente relacionadas às características físicas do substrato incluindo a macroporosidade que se relaciona a aeração e drenagem, e a microporosidade relacionada a retenção de água e nutrientes (CALDEIRA *et al.*, 2000; GUERRINI; TRIGUEIRO, 2004; KRATZ *et al.*, 2013). A utilização de componentes de origem orgânica nos substratos para produção de mudas contribui com aumento da capacidade de retenção de água e nutrientes, redução na densidade e aumento da porosidade, características que proporcionam maior desenvolvimento vegetal (CALDEIRA *et al.*, 2008).

3 JUSTIFICATIVA

Cedrela fissilis é uma espécie de importância ecológica e econômica no Brasil. Ao longo dos anos a exploração indiscriminada de sua madeira, pelo seu alto valor comercial, levou a espécie a ser incluída na lista de espécies vulneráveis a extinção, evidenciando a necessidade de se estabelecer protocolos de produção de mudas mais eficientes, para as diversas finalidades de estabelecimento desta espécie. As associações simbióticas mutualísticas entre os vegetais superiores e os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) permitem maior eficiência no estabelecimento das plantas, por otimizar o seu crescimento e tolerância às condições ambientais adversas como déficit hídrico e nutricional. Assim, a inoculação com FMAs contribui com a redução do uso de insumos externos como os substratos orgânicos diversos, fertilizante fosfatado e uso da água; nos processos produtivos. Neste contexto, propõe-se neste estudo analisar os efeitos da inoculação de FMAs das espécies *Acaulospora longula* e *Claroideoglossum etunicatum*, associada à utilização de substrato orgânico comercial, à adição de fósforo e à diferentes manejos de reposição da irrigação no crescimento e fisiologia de *C. fissilis* na fase de produção de mudas.

4 OBJETIVO

Os objetivos gerais e específicos são apresentados abaixo.

4.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo teve como objetivo analisar o efeito da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares das espécies *Acaulospora longula* e *Claroideoglossum etunicatum* associadas à utilização de substrato orgânico comercial, a adição de fósforo e a manejos de irrigação sobre o crescimento e fisiologia de *Cedrela fissilis* em fase de produção de mudas.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analisar a interferência da inoculação das FMAs (*Acaulospora longula* e *Claroideoglossum etunicatum*), associada à utilização de substrato orgânico comercial nos parâmetros de crescimento e fisiológicos de *Cedrela fissilis*, tais como: biomassa seca, teor da clorofila (índice SPAD) e trocas gasosas.
- b) Analisar a interferência da inoculação das FMAs (*Acaulospora longula* e *Claroideoglossum etunicatum*), associada à adição de fósforo e a manejos de irrigação sobre parâmetros de crescimento e fisiológicos de *Cedrela fissilis*, tais como: biomassa seca, teor da clorofila (índice SPAD), trocas gasosas e desempenho fotossintético.
- c) Quantificar a colonização micorrízica e o número de esporos dos fungos micorrízicos arbusculares das espécies *Acaulospora longula* e *Claroideoglossum etunicatum*.
- d) Determinar a dependência micorrízica de *Cedrela fissilis* inoculadas (em fase de produção de mudas) com fungos micorrízicos arbusculares das espécies *Acaulospora longula* e *Claroideoglossum etunicatum*.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-SALAM, ALATAR, A.; EL-SHEIKH, M. A. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi alleviates harmful effects of drought stress on damask rose. **Saudi Journal of Biological Sciences**, Riad, v. 25, p.1772-1780, 2018.
- ALLEN, M. F. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizae on water movement through *Bouteloua gracilis* (H.B.K.) Lag Ex Steud. **New Phytologist**, Lancaster, v. 91, 191–196, 1982.
- ALLEN, M. F.; SMITH, W. K.; MOORE, T. S.; MOORE Jr, T. S.; CHRISTENSEN, A. Comparative water relations and photosynthesis of mycorrhizal and non-mycorrhizal *Bouteloua gracilis* (H.B.K.) ex Steud. **New Phytologist**, Lancaster, v. 88, p. 683-693, 1981.
- ALMEIDA, J. P. N.; LESSA, B. F. T.; PAIVA, E. P.; ARRAIS, I. G.; TOSTA, M. S.; MENDONÇA, V. Inoculação de fungo micorrízico e utilização de substratos comerciais para produção de plântulas de mamoeiro (*Carica papaya* L.) **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v.37, n.3, set. 2014.
- AMARAL, W. A. N.; NAKAGAWA, J. Dispersão, maturação e armazenamento de sementes de duas espécies do gênero *Cedrela*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE TECNOLOGIA DE SEMENTES FLORESTAIS, 2, 1989, Atibaia. **Anais**. São Paulo: SMA/SP e IF, p. 287, 1989.
- ANDREACCIL, F. BATOSSO, P. C.; GALVÃO, F. Fenologia Vegetativa e Crescimento de *Cedrela fissilis* na Floresta Atlântica, Paraná, Brasil. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 24, 2017.
- ANJOS, É. C. T.; CAVALCANTE, U. M. T.; SANTOS, V. F.; MAIA, L. C. Produção de mudas de maracujazeiro-doce micorrizadas em solo desinfestado e adubado com fósforo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.40, n.4, p.345-351, abr. 2005.
- ANTONIOLLI, Z. I.; KAMISNSKI, J. Micorrizas - Revisão Bibliográfica. **Ciência Rural**, Santa Maria v. 21, n. 3, p. 441-445, set./dez., 1991.
- ANZANELLO, R.; SOUZA, P. V. D.; CASAMALI, B. Fungos micorrízicos arbusculares em portaenxertos micropropagados de videira. **Bragantia**, Campinas, v.70, p.409-415, 2011.
- ARNALDO FILHO, C. A.; NOGUEIRA, M. A. Micorrizas Arbusculares em Plantas Tropicais: Café, Mandioca e Cana-de-açúcar. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. dos S. **Microbiologia e qualidade do solo**. Campinas -SP, Instituto Agrônomo, p.39-56, 2007.
- ARAGÃO, V. P. M.; REIS, R. S.; SILVEIRA, V.; SANTA-CATARINA, C. Putrescine promotes changes in the endogenous polyamine levels and proteomic profiles to regulate organogenesis in *Cedrela fissilis* Vellozo (Meliaceae). **Plant Cell Tissue and Organ Culture**, Berlim, 130, p. 495-505, 2017.

ARRAES, R. A.; MARIANO, F. Z.; SIMONASSI, A. G. Causas do Desmatamento no Brasil e seu Ordenamento no Contexto Mundial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba-SP, v. 50, n. 1, p. 119-140, jan./mar. 2012.

AUGÉ, R. M.; TOLER, H. D.; SAMS, C. E.; NASIM, G. Hydraulic conductance and water potential gradients in squash leaves showing mycorrhiza-induced increases in stomatal conductance. **Mycorrhiza**, Berlim, v.18, p.115-121, 2008.

AUGÉ, R. M.; MOORE, J. L.; CHO, K.; STUTZ, J. C.; SYLVIA, D. M.; AL-AGELY, A.; SAXTON, A. M. Relating dehydration resistance of mycorrhizal *Phaseolus vulgaris* to soil and root colonization by hyphae. **Journal of Plant Physiology**, Amsterdã, v.160, p.1147-1156, 2003.

AUGÉ, R. M.; TOLER, H. D.; SAXTON, A. M. Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: A meta-analysis. **Mycorrhiza**, Berlim, v.25, p.13-24, 2015.

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

BARBIERI, D. J.; BRAGA, L. F.; SOUSA, M. P.; ROQUE, C. G. Análise de crescimento de *Bixa orellana* L. sob efeito da inoculação micorrízica e adubação fosfatada, **Rev. Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v.13, n.2, p.129-138, 2011.

BARROS, V.; SANTOS, M.; RAMOS, D. G.; FALCÃO, H. M.; SANTOS, M. G. Arbuscular mycorrhizal fungi improve photosynthetic energy use efficiency and decrease foliar construction cost under recurrent water deficit in woody evergreen species. **Plant Physiology and Biochemistry**, Amsterdã, v. 127, p. 469-477, 2018.

BELTRÁN, R. R.; SILVEIRA, R. I.; PASSOS, M.J. Disponibilidade de fósforo para plantas de arroz avaliada por extratores químicos. **Scientia agrícola**, Piracicaba, v. 55, n.2, mai./ago. 1998.

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

BRAGHIROLI, F. L.; SGROTTI A. F.; PESCADOR, R.; UHLMANN, A.; STUMER, S. L. Fungos micorrízicos arbusculares na recuperação de florestas ciliares e fixação de carbono no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-Brasil, v. 36, n. 3, p. 733-743, mai./jun., 2012.

CALDEIRA MVW, SCHUMACHER MV, BARICHELO LR, VOGEL HLM, OLIVEIRA LS. Crescimento de mudas de *Eucalyptus saligna* Smith em função de diferentes doses de vermicomposto. **Revista Floresta**, Curitiba-Brasil, 2000.

CALDEIRA, M. V. W.; ROSA, G. N.; FENILLI, T. A. B.; HARBS, R. M. P. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. **Scientia Agraria**, Paraná-Brasil, v. 9, n. 1, p. 27-33, 2008.

- CAMARA, R.; FONSECA JÚNIOR, A. M.; SOUSA, A. C. O.; PEREIRA, M. G.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. Q. Influência do substrato e inoculação micorrízica na produção de mudas de *Colubrina glandulosa* Perkins. **Floresta**, Curitiba-Brasil, v. 47, n. 4, p.449 -458, out. / dez. 2017.
- CAPRONI, A. L.; FRANCO, A. A.; GRANHA, J. R. D. O.; SOUCHIE, E. L. Ocorrência de Fungos Micorrízicos Arbusculares em resíduo da mineração de bauxita revegetado com espécies arbóreas. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v.21, n.1, jan./mar 2007.
- CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ, 221 p., 2016.
- CARDOSO, E. J. B. N.; CARDOSO, I. M.; NOGUEIRA, M. A.; BARETTA, C. R. D. M.; PAULA, A. M. Micorrizas arbusculares na aquisição de nutrientes pelas plantas. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A. de; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, p. 153-214, 2010.
- CARNEIRO, M. A.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C. Fósforo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares no estabelecimento de mudas de embaúba (*Cecropia pachystachya* Trec). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 34, n. 3, p. 119-125, 2004.
- CARNEIRO, R. F. V.; MARTINS, M. A.; ARAUJO, A. S. F. ; NUNES, L. A. P. L. . Inoculação micorrízica arbuscular e adubação fosfatada no cultivo de forrageiras consorciadas. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 60, p. 1191-1202, 2011.
- CARNEIRO, R.F.V.; MARTINS, M. A., VÁSQUEZ, H. M., DETMANN, E. Doses de fósforo e inoculação micorrízica no cultivo de estilosantes em solo sob condições naturais. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 59, p. 415-426, 2010.
- CARVALHO, P. E. R. Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais potencialidades e uso da madeira. Colombo: **Embrapa/CNPF**; Brasília, DF: **Embrapa/SPI**, 1994. 640 p.
- CAVALCANTE, L. C. M.; MAIA, L. C.; NOGUEIRA, R. J. C.; SANTOS, V. F. Respostas Fisiológicas em mudas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims. f. *Flavicarpa* Deg) inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e submetida a estresse hídrico. **Acta Botanica Brasilica**, Brasília, v. 15, n. 3, p.379-390, 2001.
- CECONI, D. E.; POLETTO, I.; BRUN, E. J.; LOVATO, T. Crescimento de mudas de açoita-cavalo (*Luehea divaricata* Mart.) sob influência da adubação fosfatada. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 292-299, jul./set. 2006.
- CHEN, S., ZHAO, H., ZOU, C., LI, Y. S., CHEN, Y. F., WANG, Z. H., JIANG, Y.; ZHAO, P.; WANG, M.; AHAMMED, G. J. Combined inoculation with multiple arbuscular mycorrhizal fungi improves growth, nutrient uptake and photosynthesis in cucumber seedlings. **Frontiers in Microbiolgy**, Lausanne, v.8, 2516, 2017.
- CLAPP J. P., WOUNG, J. W. P., MERRYWEATHER J. W., FITTER, A. H. Diversity of fungal symbionts in arbuscular mycorrhizas from a natural community. **New Phytologist**, Lancaster, v. 130, p. 259-265, jun. 1995.

COELHO, I. R. et al. Uso de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) na promoção do crescimento de mudas de pinheira (*Annona squamosa* L., Annonaceae). **Acta Botanica Brasilica**, Brasília, v. 26, n. 4, p. 933-937, 2012.

COSTA, L. G.; MARIN, F. R.; NASSIF, D. S. P.; PINTO, H. M. S.; LOPES-ASSAD, M. L. R. C. Simulação do efeito do manejo da palha e do nitrogênio na produtividade da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.5, mai. 2014.

CRUZ, R. S.; ARAÚJO, F. H. V.; FRANÇA, A. C.; GRAZZIOTTI, P. H. Crescimento pós-plantio de cultivares de *Coffea arabica* inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares **Revista Craibeiras de Agroecologia**, Rio Largo, v. 4, n. 1, p. 8059, 2019.

CUSATIS, A. C.; MARTINEZ, D. T.; SILVA, L. D.; HIGA, A. R. Survival and growth of *Cedrela fissilis* (Vell.) in mixed species forest plantations. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.46, n. 119, p.357-366, 2018.

CUSATIS, A. C.; TRAZZI, P. A.; DOBNER JR, M. HIGA, A. R. Dendroecologia de *Cedrela fissilis* na Floresta Ombrófila Mista. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 33, n. 75, p. 287-297, jul./set. 2013.

DOMINGOS, J. B.; LONGHINOTTI, E.; FARUK, V. G. M. Química dos ésteres de fosfato. EVANS J. R & EDWARDS, E. Nutrient uptake and use in plant growth. In: NETECOSYSTEM EXCHANGE CRC WORKSHOP. **Canberra: Cooperative Research Centre for Greenhouse Accountig**, Australia, p. 75-81, abr. 2001.

FARIA, A. B. C.; MONTEIRO, P. H. R.; AUER, C. G.; ÂNGELO, A.C. Uso de ectomicorrizas na biorremediação florestal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 21-29, jan./mar., 2017.

FARIAS, D. H.; PINTO, M. A. B.; CARRA, B.; SCHUCH, M. W., SOUZA, P. V. D. Desenvolvimento de mudas de mirtilheiro inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.36, n.3, p. 655-663, jul./set., 2014.

FARIAS, S. G.; FREIRE, A. L.; SANTOS, D. R.; SILVA, R. B.; FREIRE. Respostas de plantas de moringa (*Moringa oleífera* Lam.) inoculadas com fungos micorrízicos e submetidas ao estresse hídrico. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 5, n. 3, p 36-46, set./dez. 2008.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. **Megadiversidade**, Brasil, v. 1, n. 1, p. 114-122, jul. 2005.

FERNÁNDEZ, M. T. Fósforo: amigo o inimigo. **Revista ICIDCA** - Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, Ciudad de La Habana, Cuba, v. XLI, n. 2, p 51-57, 2007.

FERRAZ, D. K.; ARTES, R.; MANTOVANI, W.; MAGALHÃES, L. M. 1999. Fenologia de árvores em fragmento de mata em São Paulo, SP. **Revista Brasileira de Biologia**, Brasil v. 59, n. 2, p. 305-317, mai. 1999.

FERRAZ, M. V.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. M. Caracterização física e química de alguns substratos comerciais. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 27, n. 2, p. 209-214, abr./jun., 2005.

FERREIRA, A. D.; CARNEIRO, M. A.; SAGGIN JUNIOR, O. J. Fungos micorrízicos arbusculares em um latossolo vermelho sob manejos e usos no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa - MG, v. 36, n. 1, p. 51-61, 2012.

FLORES, A. V.; ATAÍDE, G. M.; CASTRO, V. O.; BORGES, E. E.L.; PEREIRA, R. M. D. Physiological and biochemical alterations on the storage of *Cedrela fissilis* Vellozo seeds. **FLORESTA**, Curitiba-PR, v. 48, n. 1, p. 01-08, jan./mar. 2018.

FOLLI-PEREIRA, M, S.; MEIRA-HADDAD, L. S. A.; BAZZOLLI, D. M. S.; KASUYA, M. C. M. Micorriza arbuscular e tolerância das plantas ao estresse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 1663-1679, 2012.

FRANÇA, A. C.; CARVALHO, F. P.; FRANCO, M. H. R.; AVELAR, M.; SOUZA, B. P.; STURMER, S. Crescimento de mudas de cafeeiro inoculada com fungos micorrízicos arbusculares, **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife-PE v.9, n.4, p.506-511, 2014.

FRANKIE, G.W.; BAKER, H. G.; OPLER, P. A. A comparative phenological studies of trees in tropical wet and dry forest in the lowlands of Costa Rica. **Journal of Ecology**, Nova Jersey, v. 62, n. 3, p.881-919, 1974.

FREITAS, E. C. S.; PAIVA, H. N.; LEITE, H. G.; OLIVEIRA NETO, S. N. Crescimento e qualidade de mudas de *Cassia grandis* Linnaeus f. em resposta à abubação fosfatada. **Ciência Florestal**, v.27, n.2, Santa Maria, abr./jun. 2017.

FREITAS, G. A.; SILVA, R. R.; BARROS, H. B.; VAZ-DE-MELO, A.; ABRAHÃO, W. A. P. Produção de mudas de alface em função de diferentes combinações de substratos. **Revista Ciência Agronômica**, Ceará, v. 44, n. 1, p. 159-166, jan./mar, 2013.

GANDARA, F. B. Diversidade genética de populações de Cedro (*Cedrela fissilis* Vell. Meliaceae) no Centro-Sul do Brasil. Dissertação (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, 2009.

GARCÍA, A. N.; ÁRUAS, S. P. B.; MORTE, A.; BLANCO, M. J. S. Effects of nursery preconditioning through mycorrhizal inoculation and drought in *Arbutus unedo* L. plants. **Mycorrhiza**, Berlim, v. 21, p.53–64, 2011.

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

GOUVÊA, C. F.; DORNELAS, M. C.; RODRIGUES, A. P. Floral Development in the Tribe Cedreleae (Meliaceae, Sub-family Swietenioideae): *Cedrela* and *Toona*. **Annals of Botany**, Oxford, v. 101, n.1, p. 39–48, jan. 2008.

GREEN, B. R.; DURNFORD, D. G. The Chlorophyll-cartotenoid proteins of oxygenic photosynthesis. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 47, p. 685–714, 1996.

GUERRINI, I.A.; TRIGUEIRO, R.M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por bio sólidos e casca de arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1069-1076, 2004.

HAILEMARIAM, M.; BIRHANE, E.; GEBRESAMUEL, G.; GEBREKIRO, A.; DESTA, Y.; ALEMAYEHU, A.; MURUTS, H.; ARAYA, T.; NORNGROVE, L. Arbuscular mycorrhiza effects on *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. growth under varying soil water and phosphorus levels in Northern Ethiopia. **Agroforest Syst**, Berlim, 92, 485–498, 2018.

HERRMANN, S.; OELMULLER, R.; BUSCOT, F. Manipulation of the onset of ectomycorrhiza formation by indole-3-acetic acid, activated charcoal or relative humidity in the association between oak microcuttings and *Piloderma croceum* influence on plant development and photosynthesis. **Journal Plant Physiol.**, Amsterdã, v.161, p. 509-17, 2004.

HOYSTED, G. A.; KOWAL, J.; JACOB, A.; RIMINGTON, W. R.; DUCKETT, J. G.; PRESSEL, S. ORCHARD, S.; RYAN, M. H.; FIELD, K. J.; BIDARTONDO, M. I. A mycorrhizal revolution. **Current Opinion in Plant Biology**, Amsterdã, v. 44, p. 1–6, 2018.

INOUE, M. T. A Auto-ecologia do gênero *Cedrela*: efeitos na fisiologia do crescimento no estágio juvenil em função da intensidade luminosa. **Rev. Floresta**, Curitiba, v.7, n. 2, p. 58-61, 1997.

JAHROMI, F.; AROCAL, R.; PORCELI, R.; RUIZ-LOZANOL, J. M. Influence of Salinity on the In Vitro Development of *Glomus intraradices* and on the In Vivo Physiological and Molecular Responses of Mycorrhizal Lettuce Plants. **Microbial Ecology**, Berlim, v. 55, n.1, p. 45-53, 2007.

KILPELÄINEN, J. BARBERO-LÓPEZ A.; ADAMCZYK, B.; APHALO, P. J. LEHTO T. Morphological and ecophysiological root and leaf traits in ectomycorrhizal, arbuscular-mycorrhizal and non-mycorrhizal *Alnus incana* seedlings. **Plant Soil**, Berlim, v. 436, p. 283–297, 2019.

KONRAD, M. L. F., FURLANI, P. R., CASSIOLATO, A. M. R., & DA SILVEIRA, A. P. D. Resposta do cafeeiro á inoculação de fungos micorrízicos arbusculares, em Latossolo Vermelho de cerrado. **Bioscience, Journal**, Uberlandia, v. 30, n. 4, p. 933-941, 2014.

KRATZ, D.; WENDLING, I.; NOGUEIRA, C. A.; SOUZA, P. V. D. Substratos renováveis na produção de mudas de *Eucalyptus benthamii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 4, p. 607-621, out./dez., 2013.

LACERDA, P. SILVA, M. M. S.; CARNEIRO, M. A. C.; REIS, E. F.; SAGGIN JÚNIOR, J. Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada no crescimento inicial de seis espécies arbóreas do cerrado. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 3, p. 377-386, jul./set. 2011.

LATEF, A. A. H. A.; CHAOXING, H. Arbuscular mycorrhizal influence on growth, photosynthetic pigments, osmotic adjustment and oxidative stress in tomato plants

subjected to low temperature. **Acta Physiol Plant**, Berlim, v. 33, n. 4, p. 1217–1225, 2011.

LEAL, M. A.; GUERRA, J. G. M.; PEIXOTO, R. T. G.; ALMEIDA, D. L. Utilização de compostos orgânicos como substratos na produção de mudas de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 3, jul./set. 2007.

LELES, P. S. S., LISBOA, A. C., OLIVEIRA NETO, S. N., GRUGIKI, M. N., FERREIRA, M. A. Qualidade de mudas de quatro espécies florestais produzidas em diferentes tubetes. **Rev. Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, p. 69-78, 2006.

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

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 3.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2000. 368 p.

MAEDA, S.; DEDECEK, R. A.; AGOSTINI, R. B.; ANDRADE, G. C.; SILVA, H. D. Caracterização de substratos para produção de mudas de espécies florestais elaborados a partir de resíduos orgânicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 54, p. 97-104, jan./jun. 2007.

MANABE, P. M. S.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. A.; SEDIYAMA, T.; MANABE, A.; SILVA, A. F.; ROCHA, P. R. R.; GALONN, L. Características fisiológicas de feijoeiro em competição com plantas daninhas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 6, p. 1721-1728, nov./dez. 2014.

MARINHO, F.; SILVA, I. R.; OEHL, F.; LEONOR C. M. Checklist of arbuscular mycorrhizal fungi in tropical forests. **Sydowia**, Viena, v.70, p. 107–127, 2018.

MARTINELLI, G. e MORAES, M. A.; Livro Vermelho da Flora do Brasil. 1.ed, Rio de Janeiro: **CNCFLORA: Andrea Jakobsson**: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 1100p., 2013.

MEDRANO, H.; BOTA, J.; CIFRE, J.; FLEXAS, J.; RIBAS-CARBÓ, M.; GULIAS, J. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. **Investigaciones Geográficas**, San Vicente del Raspeig, n. 43, p. 63-84, 2007.

MELO, J. M. M.; MARINHO, L. B.; VARGENS, F. N.; SOUSA FILHO, J. R.; DEON, M. D. I.; MELO, A. M. Y. Crescimento de meloeiro submetido ao estresse hídrico com e sem micorrização no Vale do Submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.11, nº.2, p. 1261 - 1270, 2017.

MIRANDA, P.B.; MELLO, A.H.; KUPPER, K.C. Dependência micorrízica de portaenxertos de citros. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, vol.40, n.3, e-762, 2018.

MORATELLI, E. M.; COSTA, M. D.; LOVATO, P. E.; SANTOS, M.; PAULILO, M. T. S. Efeito da disponibilidade de água e de luz na colonização micorrízica e no crescimento de *Tabebuia avellanedae* Lorentz ex Griseb. (Bignoniaceae). **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.31, n.3, p.555-566, 2007.

MORTE, A.; LOVISOLO, C.; SCHUBERT, A. Effect of drought stress on growth and water relations of the mycorrhizal association *Helianthemum almeriense* – *Terfezia claveryi*. **Mycorrhiza**, Berlim, v. 10, n.3, p115–119, 2000.

MUELLNER, A. N.; PENNINGTON, T. D.; KOECKE, A. V.; RENNER, S. Biogeography of cedrela (meliaceae, sapindales) in central and south America. **American Journal of Botany**, America. v. 97, n. 3, p. 511–518, mar. 2010.

MUELLNER, A. N.; SAMUEL, R.; JOHNSON, S. A.; CHEEK, M.; PENNINGTON, T. D.; CHASE, M. W. Molecular phylogenetics of Meliaceae (Sapindales) based on nuclear and plastid DNA sequences. **American Journal of Botany**, America, v. 90, n.3, 471–480, mar. 2003.

NADEEM, S. M.; AHMAD, M.; ZAHIR, Z. A.; JAVAID, A.; ASHRAF, M. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. **Biotechnology advances**, New York, v. 32, n. 2, p. 429-448, 2014.

NOGUEIRA, M. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Produção de micélio externo por fungos micorrízicos arbusculares e crescimento da soja em função de doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p.329-338, 2000.

NUNES, J. C.; SOUZA P. V. D.; MARODIN, G. A. B.; FACHINELLO, J. C. Desenvolvimento de plântulas de pessegueiro 'Okinawa' inoculadas com micorrizas arbusculares isoladas de pomares de pessegueiros e de vinhedos. **Rev. Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal – SP, v. 35, n. 3, p. 845-852, set. 2013.

OLIVEIRA, E. C.; CARVALHO, J. A.; ALMEIDA, E. F. A.; REZENDE, F. C.; SANTOS, B. G.; MIMURA, S. N. Evapotranspiração da roseira cultivada em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.3, p.314–321, 2014.

OLIVEIRA, J. R. G.; RESENDE, G. M.; MELO, N. F.; YANO-MELO, A. M. Symbiotic compatibility between arbuscular mycorrhizal fungi (autoctone or exotic) and three native species of the Caatinga in different phosphorus levels. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 39, n. 1, p. 59-69, jan./mar. 2017.

OLIVEIRA, J. R. G.; SILVA, E. M.; RIOS, T. T.; MELO, N. F.; MELO, A. M. Y.M. Response of an endangered tree species from Caatinga to mycorrhization and phosphorus fertilization. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v.29, n.1, jan./mar. 2015.

OLIVEIRA, L. R.; LIMA, S. F.; LIMA, A. P. L. Crescimento de mudas de cedro-rosa em diferentes substratos. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 34, n. 79, p. 187-195, jul./set. 2014.

PAIVA, I. A. S.; BUONO, R. A.; DELGADO, M. N. Distribution and structural aspects of extrafloral nectaries in *Cedrela fissilis* (Meliaceae). **Rev. Flora**, Belo Horizonte, v. 202, p. 455–461, ago./nov. 2006.

PASQUALINI, D. P.; UHLMANN, A.; STURMER, S. L. Arbuscular mycorrhizal fungal communities influence growth and phosphorus concentration of woody plants species from the Atlantic rain forest in South Brazil. **Forest Ecology and Management**, Blumenau-SC, v. 245, n. 1-3, p. 148–155, jun. 2007.

POHORILLE A., PRATT, L. R. Is Water the Universal Solvent for Life? **Origins of Life and Evolution of Biospheres**, 42, p.405–409, 2012. **Química Nova**, Florianópolis, v. 26, n. 5, p.745-753, 2003.

RHODES, L. H.; GERDEMANN, J.W. Phosphate uptake zones of mycorrhizal and non-mycorrhizal onions. **New Phytol**, U.S.A, v. 75, p.555-561, mai. 1975.

ROCHA, F. S.; SAGGIN-JÚNIOR, O. J.; SILVA, E. M. R., LIMA, W. L. Dependência e resposta de mudas de cedro a fungos micorrízicos arbusculares. **Rev. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n.1, p.77-84, jan. 2006.

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

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

RONGA, D.; CARADONIA, F.; FRANCA, E.; MORCIA, C.; RIZZA, F.; BADECK, F-W.; GHIZZONI, R.; TERZI, V. Interaction of Tomato Genotypes and Arbuscular Mycorrhizal Fungi under Reduced Irrigation. **Horticulturae**, Basel, v.5, n. 79, 2019.

ROSENDAHL, S.; TAYLOR, J. W. Development of multiple genetic markers for studies of genetic variation in arbuscular mycorrhizal fungi using AFLP(TM). **Molecular Ecology**, Nova Jersey, v. 6, p.821- 829, 1997.

RUIZ FILHO, R. R.; SANTOS, A. F.; MEDEIROS, A. C. S.; JACCOUD FILHO, D. S. Fungos associados às sementes de cedro. **Summa Phytopathologica**, São Paulo, v.30, n.4, p.494-496, 2004.

SAMARÃO, S. S.; RODRIGUES, L. A.; MARTINS, M. A.; MANHÃES, T. N.; ALVIM, L. A. M. Desempenho de mudas de gravioleira inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares em solo não-esterilizado, com diferentes doses de fósforo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.33, n.1, jan./mar 2011.

SANNAZZARO, A. I.; RUIZ, A. O.; ALBERTRÓ, E. O.; MENÉNDEZ, A. B. Alleviation of salt stress in *Lotus glaber* by *Glomus intraradices*. **Plant and Soil**, Berlim, v.285, n.2, p.279–287, 2006.

SANTOS, D. L.; TAKAKI, M. Fenologia de *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae) na região rural de Itirapina, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 19, n. 3, p. 625-632, jul./set. 2005.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.2, mar./abr. 2008.

SANTOS, E. E.; RITIELLI, B. Sustentabilidade: agricultura irrigada e seus impactos ambientais. **Ciência & Tecnologia**, Piracicaba, v.2, n.1, p.64-74, ago.2018.

SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; NOVAIS, R. F.; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. C. S.; SILVA FILHO, J. L. S. Fontes, doses e formas de aplicação de fósforo para o algodoeiro no Cerrado da Bahia. **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v.59, n.4, jul./ago. 2012.

SANTOS, H. Q.; FONSECA, D. M.; CANTARUTTI, R. B.; ALVAREZ V., V. H.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Níveis críticas de fósforo no solo e na planta para gramíneas forrageiras tropicais, em diferentes idades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Brasil, v. 26, n. 1, p. 173-182, 2002.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.2, n.3, p.287-294, 1998.

SCABORA, M. H.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Crescimento, fosfatase ácida e micorrização de espécies arbóreas, em solo de cerrado degradado. **Revista Bragantia**, Campinas-SP, v. 69, n. 2, p. 445-451, 2010.

SCHIAVO, J. A.; AZEVEDO, L. S.; LIMA, M. F.; OLIVEIRA, N. S.; LOPES, V. R. Crescimento inicial de cana-de-açúcar inoculada com fungos micorrízicos arbusculares e fósforo. **Revista de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v. 41, n.2, p. 398-407, 2018.

SHENG, M.; TANG, M.; CHEN, H.; YANG, B.; ZHANG, F. & HUANG, Y. Influence of arbuscular mycorrhizae on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress. **Canadian Journal of Microbiology**, Canadá, v. 55, p.18:287-296, 2008.

SILVA, E. P.; FERREIRA, P. A.; FURTINI-NETO, A. E.; SOARES, C. R. F.S. Micorrizas arbusculares e fosfato no desenvolvimento de mudas de cedro-australiano. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1269-1281, out./dez., 2017.

SILVA, L.; MARCHIORI, P. E. R.; MACIEL, C. P.; MACHADO, E. C.; RIBEIRO, R. V. Fotossíntese, relações hídricas e crescimento de cafeeiros jovens em relação à disponibilidade de fósforo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 45, n. 9, set. 2010.

SILVA, M. R. R.; IGNACIO, L. A. P.; SILVA, G. A. Desenvolvimento de mudas de maracujá amarelo em função de diferentes doses de fósforo reativo. **Revista de Agronegócio – Reagro**, Jales, v.6, n.1, p.41-50, jan./jun. 2017.

SILVA, R. F.; ANTONIOLLI, Z. A.; LEAL, L.; SILVA, A. S. Ocorrência de fungos micorrízicos em espécies florestais na região central do estado do rio grande do sul. **Rev. Bras. Agrocência**, Pelotas, v. 15, n. 1-4, p. 65-70, jan./dez. 2009.

SILVA, R. P.; PEIXOTO, J. R.; JUNQUEIRA, N. T. V. Influência de diversos substratos no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro azedo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal – SP, v. 23, n. 2, p. 377-381, ago. 2001.

SIQUEIRA, S. F.; HIGUCHI, P. SILVA, A. C. Contemporary and future potential geographic distribution of *Cedrelinga fissilis* Vell. Under climate change scenarios. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.43 n.3, 2019.

SMITH, S. E.; ANDERSON, I. C.; SMITH, A. F. Mycorrhizal Associations and Phosphorus Acquisition: From Cells to Ecosystems. **Annual Plant Reviews**, v. 48, 409–439, 2015.

SMITH, S.E.; READ, D.J. Mycorrhizal symbiosis. **Academic Press**, Londres, 2008. 787p.

SOUZA, F. A.; STÜMER, S. L.; CARRENHO, R.; TRUFEM, S. F. B. Classificação e Taxonomia de Fungos Micorrízicos Arbusculares e sua diversidade e ocorrência no Brasil. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A. de; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: UFLA, p.15-74, 2010.

SOUZA, M. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Dependência micorrízica de *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE. sob doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 26, n. 4, p. 905-912, 2002.

SOUZA, V. C.; SILVA, R. A.; CARDOSO, G. D.; BARRETO, A. Estudos sobre fungos micorrízicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande- PB, v.10, n.3, p.612–618, 2006.

SPAROVEK, G.; BARRETO, A.; KLUG, I.; PAPP, L.; LINO, J. A revisão do Código Florestal brasileiro. **Novos estudos CEBRAP**, São Paulo, n. 89, p. 66-75, mar. 2011.

SUGANUMA, M. S.; BARBOSA, E. A.; CAVALHEIRO, A. L.; TOREZAN, J. M. D. Enriquecimento artificial da diversidade de espécies em reflorestamentos: análise preliminar de dois métodos, transferência de serapilheira e semeadura direta. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, Maringá, v. 30, n. 2, p. 151-158, 2008.

TAWARAYA, K. Arbuscular mycorrhizal dependency of different plant species and cultivars. **Soil Science and Plant Nutrition**, Chile, v.49, n.5, p. 655–668, 2003.

TEDERSOO, L. RAMÍREZ, S. S.; KÖLJALG, U.; BAHRAM M.; DORING, M.; SCHIGEL, D.; MAY, T.; RYBERG, M. ABARENKOV. High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. **Springer**, Berlim, v. 90, n. 1, p 135–159, 2018.

TEZARA, W.; MITCHELL, V.; DRISCOLL, S. P.; LOWLOR, D. W. Effects of water deficit and its interaction with CO₂ supply on the biochemistry and physiology of photosynthesis in sunflower. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.53, n.375, p.1781-1791, 2002.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; PASSOS, R. R.; GONÇALVES, E. O. Substratos de origem orgânica para a produção de mudas de teca (*Tectona grandis* Linn. F.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 401-409, jul./set., 2013

TRISTÃO, F. S. M.; ANDRADE, S. A. L.; SILVEIRA, A. P. D. S. Fungos micorrízicos arbusculares na formação de mudas de cafeeiro, em substratos com orgânicos comerciais. **Solo e nutrição de plantas**, Bragantina, v. 65, n. 4, p. 1678-4499, 2006.

WEBER, O. B. SOUZA, C. C. M.; GONDIN, D. M. F.; OLIVEIRA, F. N. S.; CRISÓSTOMO, L. A.; CAPRONI, A. L.; SAGGIN JÚNIOR, O. Inoculação de fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada em mudas de cajueiro-anão-precoce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 5, 2004.

WU, Q.; XIA, R. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. **Journal of Plant Physiology**, Amsterdã, v. 163, p.417-425, 2006.

XAVIER, A.; SANTOS, G. A.; OLIVEIRA, M. L. Enraizamento de miniestaca caulinar e foliar na propagação vegetativa de cedro-rosa (*Cedrela fissilis Vell.*). **Revista Árvore**, Minas Gerais, v.27, n.3, p. 351-356, 2003.

ZANETTI, R.; ABREU, C. S.; SILVEIRA, S. H. P.; ANDRADE, E, D. First report of *Hypsipyla grandella* (Lepidoptera: Pyralidae) on African mahogany. **Scientia Agricola**, São Paulo, v.74, n.6, p.492-494, nov. /dez. 2017.

ZHU, X. C.; SONG, F. B. , XU, H. W. Arbuscular mycorrhizae improves low temperature stress in maize via alterations in host water status and photosynthesis. **Plant and Soil**, Berlim, v.331 n. 1-2, p.129–137, 2010.

ZHU, X. Q.; WANG, C. Y.; CHEN, H.; TANG, M. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on photosynthesis, carbon content, and calorific value of black locust seedlings. **Photosynthetica**, Praga, v. 52, p. 247-252, 2014.

**ARTIGO 1: FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM DIFERENTES
PROPORÇÕES ENTRE OS SUBSTRATOS ÍNOCULOS E ORGÂNICO COMERCIAL
SOB *Cedrela fissilis* VELL.**

RESUMO

Cedrela fissilis Vell. (Meliaceae) popularmente denominada de cedro-rosa é uma espécie nativa do Brasil com grande importância econômica e ambiental, que atualmente é listada como vulnerável à extinção. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) podem contribuir com a maximização do uso de insumos, e assim buscou-se avaliar a melhor combinação entre substrato orgânico e substratos inóculos a base de terra e areia (1:1) com diferentes espécies de FMAs, nas respostas fisiológicas e crescimento das mudas em tubetes. O experimento foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) em esquema fatorial (3x4), sendo três condições de inoculação (*Acaulospora longula* - Ai; *Claroideoglossum etunicatum* - Ce e controle sem inoculação - CT) e quatro porcentagens de inclusão de substratos inóculos (25%, 50%, 75% e 100%) completadas por substrato florestal comercial (a base de casca de pinus) até 100% do volume dos tubetes, em três repetições. Avaliou-se as trocas gasosas (taxa fotossintética líquida, transpiração e condutância estomática), o teor de clorofila (índice SPAD), a biomassa seca, o número de esporos e a porcentagem de colonização micorrízica das raízes. A inoculação de *Acaulospora longula* e *Claroideoglossum etunicatum* em *Cedrela fissilis* Vell. associada ao substrato orgânico composto por casca de pinus promoveu aumentos em parâmetros fisiológicos como a condutância estomática e a transpiração, acarretando ainda maior teor de clorofila com a adição de 25 a 50% de substrato orgânico, entretanto a assimilação do carbono e o acúmulo de biomassa não variaram em função dos tratamentos. O aumento da porcentagem de substrato inóculo leva ao aumento no número de esporos e na porcentagem de colonização micorrízica das raízes. Embora tenha havido estímulos dos FMAs inoculados para determinados parâmetros fisiológicos, os mesmos ainda poderiam estar sendo limitados pelo tamanho do recipiente utilizado, a ponto de não reverter em aumentos de biomassa das mudas.

Palavras-chave: Simbiose, Fotossíntese, Teor de Clorofila, Condutância estomática.

**ARTICLE 1: ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN DIFFERENT PROPORTIONS
BETWEEN THE INTELLECTUAL AND COMMERCIAL ORGANIC SUBSTRATES
UNDER *Cedrela fissilis* Vell.**

ABSTRACT

Cedrela fissilis Vell. (Meliaceae) popularly called cedar-rose is a species native to Brazil with great economic and environmental importance, which is currently listed as vulnerable to extinction. Arbuscular mycorrhizal fungi (FMAs) can contribute to the maximization of the use of inputs, and so we tried to evaluate the best combination between organic substrate and inoculum substrates based on earth and sand (1: 1) with different species of AMF, in physiological responses and growth of seedlings in tubes. The experiment was conducted in a completely randomized design (DIC) in a factorial scheme (3x4), with three inoculation conditions (*Acaulospora longula* - Al; *Claroideoglossum etunicatum* - Ce and control without inoculation - CT) and four percentages of inclusion of inoculum substrates (25 %, 50%, 75% and 100%) completed by commercial forest substrate (based on pine bark) up to 100% of the tube volume, in three repetitions. Gas exchange (net photosynthetic rate, transpiration and stomatal conductance), chlorophyll content (SPAD index), dry biomass, number of spores and percentage of mycorrhizal colonization of the roots were evaluated. The inoculation of *Acaulospora longula* and *Claroideoglossum etunicatum* in *Cedrela fissilis* Vell. associated with the organic substrate composed of pine bark promoted increases in physiological parameters such as stomatal conductance and transpiration, resulting in an even higher chlorophyll content with the addition of 25 to 50% of organic substrate, however the assimilation of carbon and the accumulation of biomass did not vary depending on the treatments. The increase in the percentage of inoculum substrate leads to an increase in the number of spores and in the percentage of mycorrhizal colonization of the roots. Although there were stimuli from the inoculated FMAs for certain physiological parameters, they could still be limited by the size of the container used, to the point of not reverting to increases in seedling biomass.

Keywords: Symbiosis, Photosynthesis, Chlorophyll Content, Stomatal conductance.

1 INTRODUÇÃO

As espécies do gênero *Cedrela* produzem uma das madeiras mais apreciadas no comércio brasileiro e também internacional, com coloração castanho-avermelhada, de fácil manuseio e uso diversificado (CARVALHO, 1994). *Cedrela fissilis* Vell. (família Meliaceae), denominada popularmente de cedro-rosa é uma espécie nativa do Brasil com grande importância econômica e de grande utilização em marcenarias, construção naval e aeronáutica (XAVIER, SANTOS e OLIVEIRA, 2003; FLORES *et al.*, 2018). Sua exploração extrativista no decorrer dos últimos anos, aliada a sérios danos causados pela broca do cedro, a *Hypsipyla grandella* e demais pragas do gênero *Hypsipyla*, levaram a grandes prejuízos em seus cultivos (ZANETTI *et al.*, 2017); fatos que contribuíram para sua inclusão à lista de espécies nativas da flora brasileira vulneráveis à extinção (MARTINELLI e MORAES, 2013). Assim, destaca-se a importância do desenvolvimento de tecnologias que busquem maior eficiência no processo de produção de mudas da espécie para sua reinserção no ambiente (XAVIER, SANTOS e OLIVEIRA, 2003).

A produção de mudas de qualidade é importante para o sucesso da silvicultura. A busca por técnicas capazes de aprimorar o desenvolvimento de mudas como a utilização de substratos apropriados adquirem importância nos processos produtivos, e podem assegurar melhores condições de estabelecimento das mudas no campo (NAVROSKI *et al.*, 2016). Os substratos empregados em viveiros têm a finalidade de proporcionar o desenvolvimento de mudas mais resistentes a microrganismos, em função de adequado suprimento de água e nutrientes, proporcionando crescimento em menor tempo (OLIVEIRA, LIMA e LIMA, 2014). Além disso, a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) pode contribuir com a diminuição do uso de insumos no cultivo vegetal, sendo uma estratégia para melhorar a nutrição das espécies, sobretudo no que concerne à culturas que passam por uma fase de viveiro (CARNEIRO *et al.*, 2011, NADEEM *et al.*, 2014).

Os FMAs são organismos biotróficos e formam associações simbióticas mutualísticas em raízes de plantas, sendo considerada uma das simbioses mais importantes da natureza (SOUZA *et al.*, 2010; HOYESTED *et al.*, 2018). Atualmente, os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) compreendem o filo Glomeromycotina, (TEDERSOO *et al.*, 2018). A simbiose micorrízica destaca-se pela sua importância no desenvolvimento e na estruturação das comunidades vegetais (SIQUEIRA *et al.*, 2010; GERZ *et al.*, 2016).

Os FMAs atuam na manutenção e construção da estrutura do solo ou substrato de crescimento, pois promovem aderência entre as partículas e através de suas hifas envolvem e aumentam o volume de solo explorado pelas raízes, transportando água e nutrientes para o interior da planta favorecendo o seu desenvolvimento (FOLLI-PEREIRA *et al.*, 2012; NADEEM *et al.*, 2014; SMITH, ANDERSON, SMITH, 2015). Uma vez estabelecida à relação simbiótica, verifica-se aumentos expressivos na absorção de fósforo inorgânico solúvel e água pelas plantas, sendo estes uns dos principais benefícios proporcionados pelos FMAs (SMITH, ANDERSON, SMITH, 2015).

A inoculação com FMAs tem proporcionado ainda aumento nas trocas gasosas, no conteúdo de clorofila e na eficiência no uso da água em mudas, sendo estes importantes indicadores da sua eficiência no processo produtivo (KONRAD *et al.*, 2014; ZHU *et al.*, 2014; LIU *et al.*, 2015). No entanto, as respostas à inoculação têm variado de acordo com o FMA inoculado, a espécie vegetal e o ambiente de cultivo (FERREIRA *et al.*, 2012).

Neste contexto o objetivo deste trabalho foi avaliar as respostas fisiológicas e o crescimento de *C. fissilis* em fase produção de mudas em tubetes, a partir da inoculação de dois substratos inóculos obtidos com as espécies de FMAs: *Acaulospora longula* e *Claroideoglossum etunicatum*, e associados à substrato orgânico comercial.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 OBTENÇÃO DOS FMAS E PREPARO DO SUBSTRATO DE CULTIVO

O presente experimento foi desenvolvido no Laboratório de Manejo Vegetal e Cultivo in Vitro da Fundação Jardim Botânico no município de Poços de Caldas–MG, durante um período de cento e seis dias.

A primeira etapa do estudo foi a de multiplicação dos FMAs e conseqüentemente obtenção dos substratos inóculos. O período de multiplicação teve uma duração de quatro meses, sendo realizado em substrato composto por terra de barranco e areia nas proporções de 1:1. Este substrato foi autoclavado em dois ciclos de 1 hora, à temperatura de 200°C e à pressão de 0,5 atmosfera.

Utilizou-se como planta hospedeira *Sorghum bicolor* L., espécie pertencente à família das Poaceae. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) utilizados na multiplicação e obtenção dos substratos inóculos foram *Acaulospora longula* (URM FMA 07) e *Claroideoglossum etunicatum* (URM FMA 03).

Uma vez multiplicados os inóculos foram utilizados na etapa seguinte do estudo, e foram denominados de substrato inóculo Al (*Acaulospora longula*), substrato inóculo Ce (*Claroideoglossum etunicatum*) e CT (Controle). O inóculo Al apresentou a contagem de 15 esporos/ 50g de substrato e o inóculo Ce apresentou a contagem de 12 esporos/ 50g de substrato. Para o CT, misturou-se os substratos inóculos Al e Ce (1:1) e após completar as devidas porções (25%, 50%, 75% e 100%) com o substrato orgânico comercial, estas foram autoclavadas, não sendo observada posteriormente a existência de propágulos de FMAs.

O substrato orgânico comercial utilizado foi o *Multiplant*®, composto por 60% de casca de pínus, 15% de vermiculita e 10% de húmus e terra vegetal, apresentando umidade de 47%, pH 6,4, densidade de 314 kg/m³ e com granulometria <5 mm.

A composição química da mistura de terra e areia utilizada no experimento apresentou: pH: 5,9; matéria orgânica: 15 g/dm³, Ca: 15 mmolc/dm³; Mg: 2 mmolc/dm³; ; P melich I: 14 mg/dm³; K: 0,5 mmolc/dm³; H+Al: 19 mmolc/dm³, Al: 0 mmolc/dm³, H: 19 mmolc/dm³; B: 0,31 mg/dm³; Cu: 0,4 mg/dm³; Fe: 31 mg/dm³; Mn: 13 mg/dm³ e Zn: 0,8 mg/dm³.

2.2 MATERIAL VEGETAL E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

As sementes de *Cedrela fissilis* Vell foram coletadas no município de Poços de Caldas – MG, (21°42'58.1"S 46°35'31.5"W), no dia 31/07/2018, pela Fundação Jardim Botânico de Poços de Caldas (FJBPC), e estão registradas com o código de acesso nº 221 e código de aquisição nº 2212018. Na etapa que precedeu o plantio as sementes foram desinfestadas superficialmente pela imersão em álcool 96 % durante 2 minutos, em hipoclorito de sódio a 2 % por 5 minutos e lavadas em água destilada esterilizada.

A semeadura foi efetuada em tubetes cônicos de plástico rígido com capacidade de 120 mL, colocando-se em média três sementes por recipiente. Os tubetes foram pesados em balança de precisão de modo que todos os tubetes apresentaram massa entre 120 e 150 gramas. Após o estabelecimento das plântulas, foi efetuado o desbaste, mantendo-se apenas uma muda por vaso (a mais central).

Logo após a semeadura, foi realizada uma adubação preventiva com uma solução de 0,5 mg de boro (B); 1,5 mg de cobre (Cu); 3,0 mg de manganês (Mn); 5,0 mg de zinco (Zn) e 0,1 mg de molibdênio (Mo) por dm³ de substrato. As fontes dos reagentes utilizadas foram: H₃BO₃, CuCl₂, MnCl₂. 4H₂O, ZnSO₄.7H₂O, e H₂MoO₄.H₂O.

As mudas foram acondicionadas aleatoriamente em bandejas posicionadas em estrutura de madeira, suspensa a 80 cm do chão, com sistema de iluminação controlado por termostato (timer). O fotoperíodo experimental com luz artificial foi de 16 horas de luz/ 8 horas de escuro. Na estrutura foram utilizadas 10 lâmpadas fluorescentes de 32W/127V que estavam a 90 cm acima dos tubetes e separadas com uma distância de 45 cm da base da estrutura. As irrigações foram realizadas com um intervalo de dois dias..

O experimento foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) em esquema fatorial (3x4), sendo utilizadas três condições de inoculação (*Acaulospora longula* - Al; *Claroideoglossum etunicatum* - Ce e controle sem inoculação - CT) e quatro porcentagens de substrato inóculo (25%, 50%, 75% e 100%). As proporções de substrato inóculo foram completadas por substrato orgânico comercial (Sf) até 100% do volume do tubete. Cada tratamento contou com três repetições.

Aos 106 dias após a semeadura, as mudas de *C. fissilis* apresentaram até cinco folhas completamente expandidas. Foram realizadas as análises fisiológicas de trocas gasosas e conteúdo relativo de clorofila. O substrato de cultivo e porções de raízes foram devidamente coletados para a determinação do número de esporos e porcentagem de colonização micorrízica de raiz e, em seguida, a parte aérea foi coletada para obtenção da sua biomassa seca.

2.3 ANÁLISES DE TROCAS GASOSAS E CONTEÚDO RELATIVO DE CLOROFILA

As medidas de trocas gasosas foram realizadas através de um analisador de gás por infravermelho IRGA (LI-6400 XT, Cor, Lincoln, Nebraska, USA) em folíolos da primeira folha composta completamente expandida do ápice para a base. Os parâmetros avaliados foram: taxa fotossintética líquida (P_n - $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) e condutância estomática (g_s - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Utilizou-se fonte artificial de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em câmara fechada fixada em $1700 \mu\text{mol}$ de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de acordo com uma curva de luz realizada nas plantas do estudo. A taxa de assimilação de CO_2 na câmara foi medida com base na concentração ambiente de CO_2 (aproximadamente 390 ppm).

O conteúdo relativo de clorofila foi determinado pelo índice SPAD, por meio de um clorofilômetro portátil (SPAD 502, Konica Minolta, Osaka, Japan). Obteve-se a média de nove leituras em três folíolos da primeira folha completamente expandida do ápice para a base, por repetição.

As medições referentes às trocas gasosas e índice relativo de clorofila foram realizadas no período da manhã, entre 09h00min e 12h00min.

2.4 DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE ESPOROS DE FMAS

Para a quantificação dos esporos de FMAs foram coletadas amostras de solo em cada um dos tubetes e empregadas as técnicas do método de Gerdemann e Nicolson (1963). Realizou-se a coleta e de 50 mL de solo úmido, transferido para um béquer de 2.000 mL a ser submetido ao processo de decantação e peneiramento úmido adicionando 1L de água potável, misturando com um bastão de vidro até formar uma suspensão de solo dispensada na sequencia de peneiras de 750, 250, 100 e 45 μm , o material retido na peneira de 45 μm foi centrifugado, em tubos de 50 mL por 3 minutos a 3000 RPM, o sobrenadante foi descartado e com a adição de solução de sacarose 50% conduzindo para segunda centrifugação por 2 minutos a 2000 RPM. O sobrenadante de cada tubo foi dispensado, em separado, em peneira (malha 45 μm) e o material foi lavado para retirar o excesso de sacarose e conduzido para contagem de esporos na Placa de Petri em microscópio.

2.5 PORCENTAGEM DE COLONIZAÇÃO DAS RAÍZES POR FMAS

Para análise da porcentagem de colonização dos FMAs nas raízes das mudas, seguindo o método descrito por Giovannetti e Mosse (1980), foram coletadas amostras de um grama de raízes de todos tubetes separadamente nas porções: superiores, medianas e terminais. Posteriormente as amostras foram colocadas em álcool 50%, até o momento da análise laboratorial. As amostras de raízes foram colocadas em becker de 50 mL, individuais para cada amostra, imersas em solução de KOH 10% e aquecidas em banho maria a temperatura de 60 à 90°C de 15 a 30 minutos e posteriormente lavadas em água por duas vezes seguidas. Posteriormente para coloração as mesmas raízes foram colocadas em béquers de 50 mL contendo solução de azul de tripano 5%, e aquecidas em banho-maria por (60 à 90°C de 15 a 30 minutos). A amostra foram colocadas em placa de Petri de 8,5 cm de diametro contendo um *grid* de linhas de 1,27 cm para cálculo da porcentagem de colonização.

2.6 DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA SECA DAS MUDAS

A biomassa seca foi determinada após a secagem da parte aérea das mudas que foram acondicionadas em saco de papel e secas em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C, por 48h, até peso constante.

2.7 ANÁLISE DE DADOS

Para análise de dados, estes foram testados quanto à normalidade e, em seguida, foram submetidos à análise de variância – ANAVA e utilizou-se o teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$) para comparação das médias dos inóculos e análise de regressão para as porcentagens de inclusão dos substratos inóculos. Considerou-se somente as regressões significativas ($p \leq 0,05$), que ocorreram para o índice SPAD, número de esporos e taxa de colonização micorrízica de raiz.

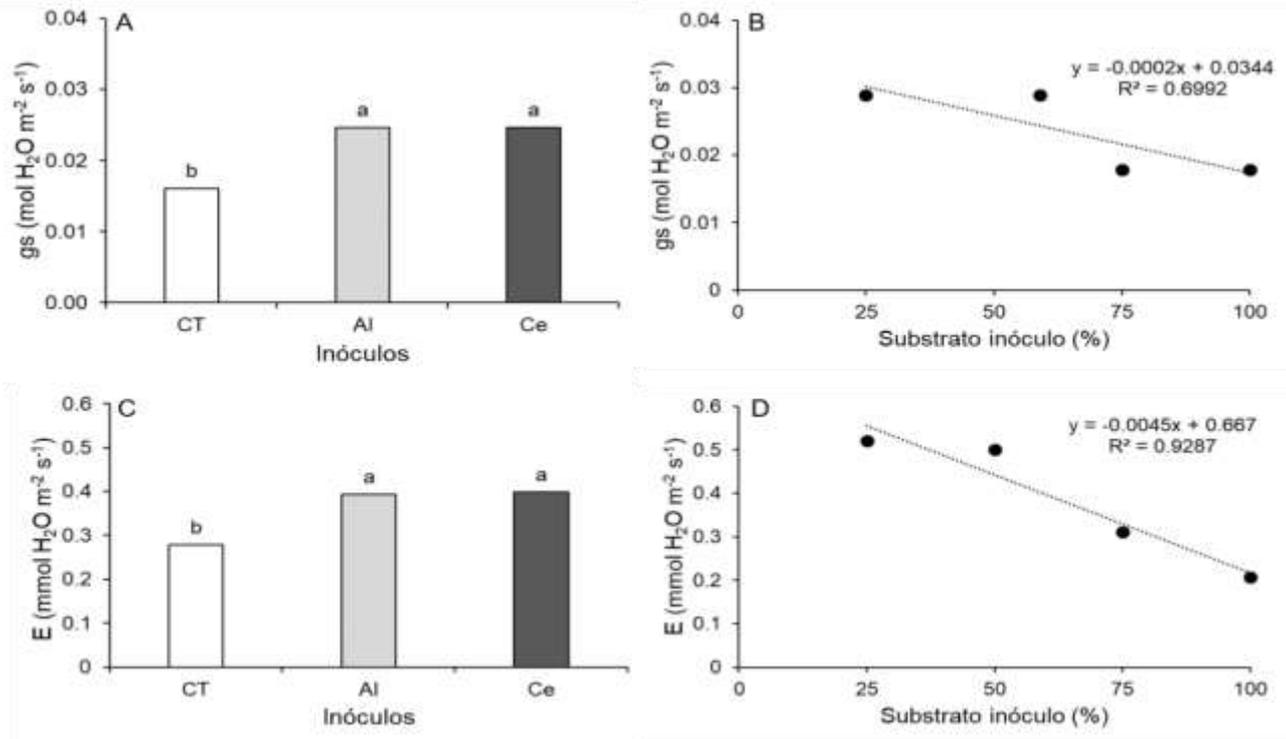
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 TROCAS GASOSAS E CONTEÚDO RELATIVO DE CLOROFILA

Verificou-se interação entre os fatores Inoculação e porcentagem de inclusão de substrato inóculo somente para o índice SPAD. Para os demais resultados que incluem condutância estomática e transpiração os fatores foram estudados isoladamente. A taxa fotossintética líquida de *C. fissilis* não foi influenciada pela inoculação ($p = 0,1192$) nem pelos níveis de inclusão do substrato inóculo ($p = 0,4250$), de acordo com o teste de Scott-Knott ($p > 0,05$). O mesmo foi observado para a biomassa seca das mudas, que não foi influenciada pela inoculação ($p = 0,1804$) nem pelos níveis de inclusão do substrato inóculo ($p = 0,0553$), de acordo com o teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Para as variáveis resposta condutância estomática (gs) e transpiração (E), considerando-se o fator Inoculação, Al e o Ce apresentaram valores semelhantes sendo maiores que o CT (Figura 1 A, C). Com relação ao fator substrato inóculo observou-se um decréscimo linear em gs e E (Figura 1 B, D) com o aumento na inclusão de substrato inóculo na composição.

Figura 1: Trocas gasosas

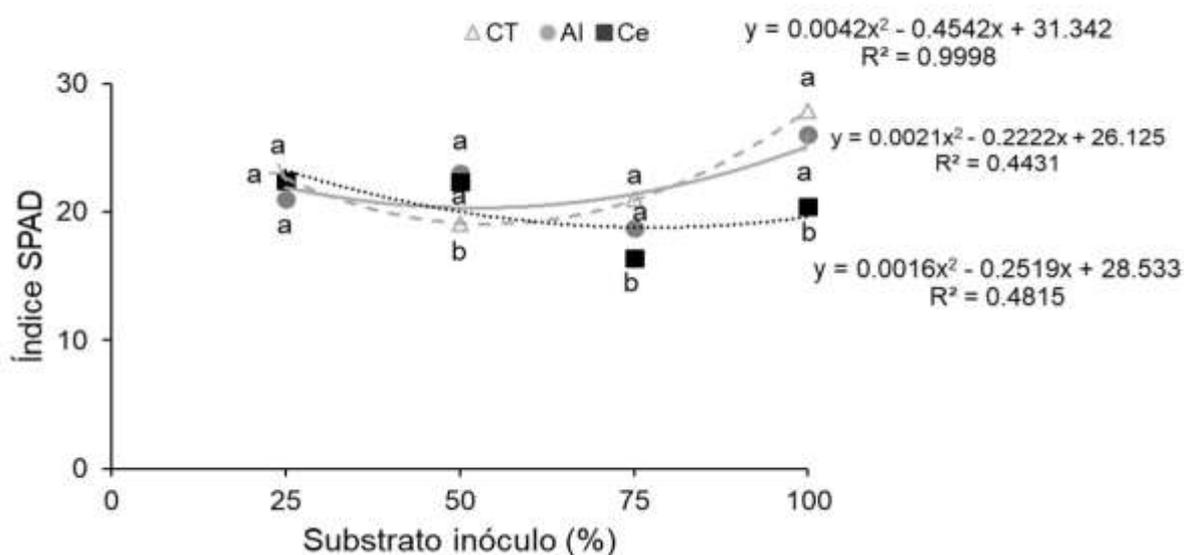


Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Figura 1: Condutância estomática – gs (A, B) e Transpiração – E (C, D) de mudas de *Cedrela fissilis* aos cento e seis dias após semeadura, sob efeito da inoculação com os FMAs *Claroideoglossum etunicatum* (Ce), *Acaulospora longula* (AI) e controle (CT) em quatro níveis de inclusão do substrato inóculo (25%, 50%, 75% e 100%) em mistura com substrato orgânico comercial. Letras mostram a comparação das médias dos tratamentos de inoculação, sendo que as médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si de acordo com o teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$).

No que se refere ao conteúdo relativo de clorofila, representado pelo índice SPAD, todos os tratamentos de inoculação apresentaram tendência quadrática com o aumento na inclusão de substrato inóculo. Diferenças entre os inóculos foram observadas somente a partir de 50% de substrato inóculo, onde neste nível, o menor conteúdo foi verificado para o tratamento CT. Nos níveis subsequentes (75 e 100%) o tratamento CE apresentou menor índice SPAD em relação aos demais tratamentos (Figura 2).

Figura 2: Índice SPAD



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Figura 2: Conteúdo relativo de clorofila - Índice SPAD de mudas de *Cedrela fissilis* aos cento e seis dias após semeadura, sob efeito da inoculação com os FMAs *Claroideoglomus etunicatum* (Ce), *Acaulospora longula* (AI) e controle (CT) em quatro níveis de inclusão do substrato inóculo (25%, 50%, 75% e 100%) em mistura com substrato orgânico comercial. Letras mostram a comparação das médias dos inóculos, sendo que as médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si de acordo com o teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$).

Estudos têm demonstrado a atuação dos FMAs sobre alterações nos parâmetros fisiológicos dos vegetais. Em plantas de melão sob salinidade, os FMAs aumentaram a condutância estomática, taxa de transpiração e fotossintética (LUCIO *et al.*, 2013). Também em videiras sob excesso de cobre a inoculação com FMAs aumentou as taxas de assimilação de CO_2 , condutância estomática e transpiração em relação às não inoculadas. Segundo Rosa *et al.* (2016) os benefícios proporcionados pela associação simbiótica variam significativamente de acordo com as espécies de FMA inoculadas. Corroborando com esta afirmativa, Moratelli *et al.* (2007) avaliando plantas de ipê roxo colonizadas por FMAs selecionados, destacaram que apesar da diminuição na condutância estomática, as plantas apresentaram aumento de biomassa (MORATELLI *et al.*, 2007).

As mudas de *C. fissilis* inoculadas com *A. longula* e *C. etunicatum* apresentaram maiores valores de transpiração do que as plantas CT. Além disso, o aumento na taxa transpiratória foi acompanhado de aumento na condutância estomática. Este aumento na transpiração pode ser relacionado com a atuação das hifas dos FMAs, que ampliam a captação de água pela planta, o que favorece a maior transpiração pela diminuição da

resistência estomáca, possibilitando ainda maior resfriamento da superfície foliar e manutenção da integridade do aparelho fotossintético (DINIZ *et al.*, 2010).

A influência da inoculação com FMAs sobre o teor de clorofila em vegetais também tem sido apresentada em trabalhos com diferentes espécies. Plantas de acácia (*Acacia mangium*) e capim marandu (*Urochloa brizantha*) inoculadas tiveram maior índice SPAD (PEDROSO *et al.*, 2018) do que as plantas não inoculadas. Em contrapartida, a inoculação com FMA em porta-enxertos de videira (*Vitis berlandieri* e *Vitis rupestris*) não influenciou os teores das clorofilas totais (ROSA *et al.*, 2016). No presente estudo o aumento do substrato inóculo CE levou a menores valores de SPAD (Figura 2). Com relação ao substrato orgânico, em geral tem sido relatado a sua influência no aumento nos teores de clorofila. Maiores valores no teor de clorofila de mudas cultivadas em substrato composto por casca de pinus foram encontrados no trabalho de Tristão, Andrade e Silveira, (2016) não sendo também influenciados pela inoculação. Entretanto, estes autores constataram que com outros substratos à base de fibra de coco e casca de pinus ocorreram menores teores de pigmentos fotossintéticos nas mudas independentemente de estarem micorrizadas ou não.

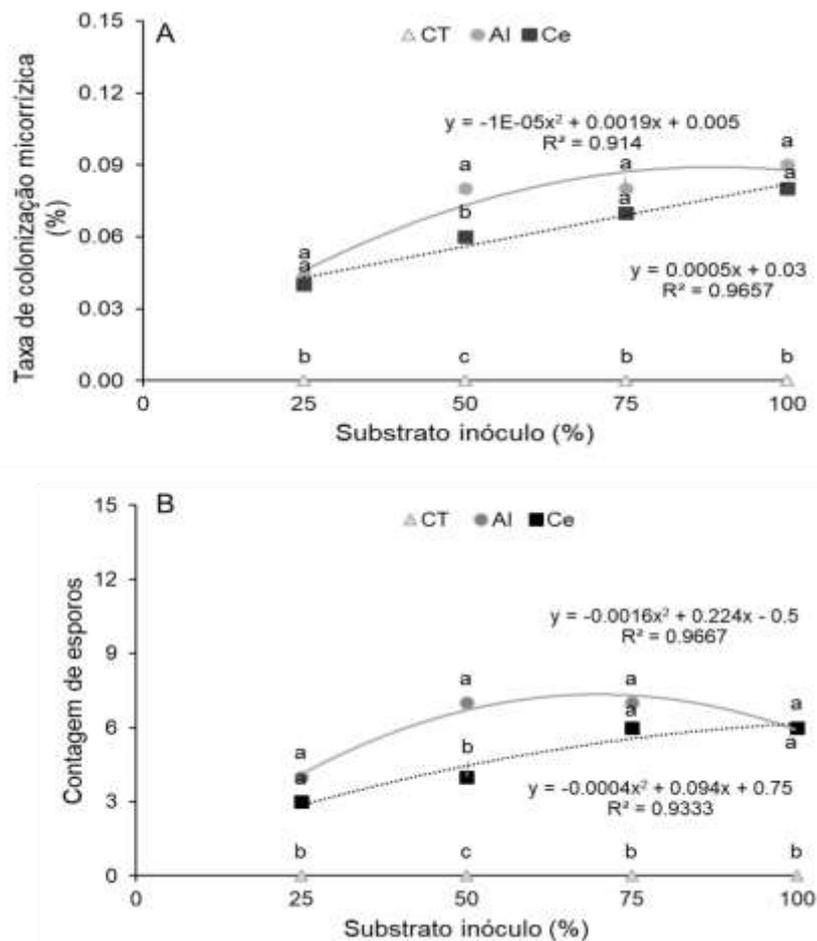
A utilização de diferentes substratos de origem orgânica na produção de mudas em viveiro tende a otimizar o crescimento inicial de mudas *C. fissilis*, colaborando ainda para aumento no seu vigor e crescimento após o plantio em campo (OLIVEIRA, LIMA e LIMA, 2014). Em plantas de cafeeiro cultivadas em substrato contendo solo e esterco como composto orgânico, a micorrização favorece a concentração de pigmentos responsáveis pela fotossíntese (TRISTÃO, ANDRADE e SILVEIRA, 2006). Substratos orgânicos formulados por componentes renováveis possuem propriedades químicas favoráveis à nutrição e ao desenvolvimento das plantas e sua utilização tem sido comum em processos de produção de mudas nos viveiros florestais (TRAZZI *et al.*, 2013; DELAMERLINA *et al.*, 2014).

3.2 QUANTIDADE DE ESPOROS E PORCENTAGEM DE COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA

Verificou-se interação significativa entre os fatores tratamentos de inoculação e os níveis de inclusão de substrato inóculo para as variáveis taxa de colonização micorrízica de raiz e contagem de esporos. As mudas CT não apresentaram taxa de colonização micorrízica nem contagem de esporos no substrato em nenhum nível de inclusão do substrato inóculo (Figura 3). Observou-se um aumento na colonização micorrízica e na

contagem de esporos com o aumento na inclusão do substrato inóculo, sendo que mudas inoculadas com AI apresentaram tendência quadrática, enquanto nas mudas inoculadas com Ce houve tendência linear (Figura 3 A, B). Somente observou-se diferença na taxa de colonização micorrízica e contagem de esporos entre AI e Ce em 50% de substrato inóculo, não havendo diferenças nos demais níveis de inclusão de substrato inóculo.

Figura 3: Porcentagem de colonização micorrízica em raízes e Contagem de esporos no substrato



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Figura 3: Porcentagem de colonização micorrízica (A) em raízes e Número de esporos em 50 mL de substrato (B) de mudas de *Cedrela fissilis* aos cento e seis dias após sementeira, sob efeito da inoculação com os FMAs *Claroideoglossum etunicatum* (Ce), *Acaulospora longula* (AI) e controle (CT) em quatro níveis de inclusão do substrato inóculo (25%, 50%, 75% e 100%) em mistura com substrato orgânico comercial. Letras mostram a comparação das médias dos inóculos, sendo que as médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si de acordo com o teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$).

A ausência de esporos e colonização de raízes no CT deste estudo aponta a eficiência da esterilização em autoclave e a inexistência de contaminação por FMAs no

decorrer da condução do experimento. Neste estudo, o número de esporos e a porcentagem de colonização de raiz nas mudas inoculadas podem ser considerados baixos. Porém o aumento do nível de inclusão de substrato inóculo, que aumenta número de esporos inoculados, pode ter proporcionado a mesma tendência à colonização micorrízica de raiz, ou seja, uma tendência de aumento seguindo os níveis de inclusão de substrato inóculo. O baixo número de esporos e a baixa porcentagem de colonização no substrato inóculo obtido, são amplamente associados às condições ambientais de sua obtenção e da espécie hospedeira utilizada. Cross, Cordeiro e Caetano (2004) em seu estudo com *Anadenanthera peregrina* var. *falcata* (angico-do-cerrado) encontraram porcentagem de colonização micorrízica com valores próximos a 4 e 11%, em solo autoclavado.

Ainda que a interação dos FMAs com as plantas possa acontecer de forma diferenciada entre as espécies e ser dependente dos fatores nutricionais dos substratos, observou-se que o cultivo em tubetes pode ter influenciado negativamente a porcentagem de colonização micorrízica e o número de esporos. Assim é possível que ocorra maior colonização de raiz com a utilização de recipientes maiores. Schiavo e Martins (2002), comparando o comportamento de mudas de goiabeira produzidas em tubetes ou blocos prensados, encontraram efeitos positivos da inoculação micorrízica sobre o crescimento e acúmulo de nutrientes, apenas nas mudas produzidas no sistema de blocos prensados. Plantas micorrizadas produzidas em tubetes pode apresentar menor desenvolvimento o que pode ser atribuído a alterações fisiológicas, reduzindo a absorção de água e nutrientes, causadas pela restrição lateral da parede rígida do recipiente (SHIAVO e MARTINS, 2003; CARMO *et al.*, 2016).

Também foram observadas baixas taxas de colonização em mudas de maracujazeiro-doce inoculadas com *Alcalospora longula* e *Glomus etunicatum*, os quais não promoveram incrementos no crescimento em relação às plantas não inoculadas (SILVA *et al.*, 2004). Em mudas de pinha (*Annona squamosa*) a inoculação com *Acaulospora longula* também não resultou benefícios significativos na promoção do crescimento (COELHO *et al.*, 2012). Contudo, outros estudos têm relatado resultados significativos da inoculação de *Claroideoglomus etunicatum* e de outros FMAs colonizando com sucesso raízes de *C. fissilis* e outras espécies nativas cultivadas em viveiro, permitindo ganhos na nutrição e no crescimento em viveiro (GOTTEN, MORETTO e STÜRMER, 2016). Resultados semelhantes foram encontrados em resposta de *S. brasiliensis* à inoculação de *Claroideoglomus etunicatum* e *Acaulospora longula*

(COELHO *et al.*, 2012) e em cedro-australiano (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*) inoculados com *Claroideoglomus etunicatum* e *Acaulospora colombiana* (SILVAL *et al.*, 2017).

Embora a inoculação com *C. etunicatum* e *A. longula* tenha elevado a condutância estomática e a taxa de transpiração das mudas de *C. fissilis*, a taxa fotossintética líquida e a biomassa seca não foram alteradas em relação às mudas não inoculadas. Isso não estar relacionado com as baixas contagens de esporos e de colonização micorrízica encontradas nos tratamentos de inoculação. Souza e Cardoso (2002) observaram promoção de crescimento pelos FMAs mesmo com taxa de colonização de raiz variando de 10,76 a 21,95% e com baixa contagem de esporos (valores próximos aos observados no presente estudo). Por outro lado, a baixa taxa de colonização por *Alcalospora longula* e *Glomus etunicatum* foi correlacionada com o menor fornecimento de nutrientes e menor crescimento de plantas de maracujá (SILVA *et al.*, 2004). É possível ainda que as mudas cultivadas em laboratório tenham recebido menor intensidade de luz que mudas de ambiente natural contribuindo com a baixa colonização micorrízica. A intensidade de luz pode afetar a colonização micorrízica, sendo que em baixa intensidade a colonização micorrízica pode até ser nula (MORATELLI *et al.*, 2007).

Os substratos orgânicos que apresentam, dentre outros componentes, a casca de pinus em sua formulação, têm características adequadas à sua utilização na produção de mudas de espécies florestais (MAEDA *et al.*, 2007). Nestes substratos a agregação das raízes tende a ser menor e a densidade e microporosidade possibilitam maior desenvolvimento da planta (KRATZ *et al.*, 2013). Segundo Silva Junior (2012), o composto orgânico utilizado na composição do substrato não interfere na atividade dos FMAs, e pode contribuir para a produção de biomassa da parte aérea. Entretanto, tal afirmativa não foi verificada no presente estudo. Silva, Peixoto e Junqueira (2001) também destacaram que o uso de substratos adequados associados ao emprego de FMA contribui para a formação de mudas de melhor qualidade. No presente estudo, para as variáveis resposta condutância estomática (gs) e transpiração (E) (Figura 1B e 1D), ficou evidente a redução em seus valores a partir da retirada do composto orgânico na mistura.

Outro aspecto importante que pode estar relacionado aos resultados encontrados, diz respeito ao formato e o tamanho do recipiente para produção de mudas. Mudas de *C. fissilis* apresentam tendência geral de redução nos parâmetros de crescimento com a diminuição do tamanho do recipiente (ANTONIAZZI *et al.*, 2013). Assim, é possível que

neste estudo a utilização de tubetes tenha influenciado de forma negativa nos parâmetros fisiológicos e no acúmulo de biomassa seca.

Segundo Ferraz e Engel (2011) e Luca *et al.* (2010) a utilização de recipientes maiores reduz o tempo de permanência das mudas no viveiro, e observaram maior crescimento nas plântulas cultivadas nos maiores recipientes. Mudas produzidas em sacos plásticos e bombonas tendem a apresentar melhor desenvolvimento comparadas aquelas produzidas em tubetes (PIAS, SOMAVILLA e CANTARELLI, 2015). Vargas *et al.* (2013), ao estudarem os efeitos da mudança de recipiente em viveiro na qualidade de mudas demonstraram que para produção de mudas de *C. fissilis* a semeadura em tubetes com posterior transplante para sacos plásticos proporcionaram os melhores resultados.

Desta forma a inoculação com FMAs em *C. fissilis* associada ao substrato orgânico promove aumentos em parâmetros fisiológicos como a condutância estomática e a transpiração acarretando ainda maior teor de clorofila (25 a 50% de substrato orgânico). A assimilação do carbono e o acúmulo de biomassa não variaram em função dos tratamentos. Assim, destaca-se que embora tenha havido estímulos dos FMAs inoculados para determinados parâmetros fisiológicos, os mesmos ainda poderiam estar sendo limitados pelo tamanho do recipiente utilizado, a ponto de não reverter em aumentos de biomassa das mudas.

4 CONCLUSÃO

A inoculação de *Acaulospora longula* e *Claroideoglossum etunicatum* em *Cedrela fissilis* Vell. associada ao substrato orgânico promove aumentos em parâmetros fisiológicos como a condutância estomática, transpiração e teor de clorofila. Entretanto, a assimilação do carbono e o acúmulo de biomassa não são influenciados pela inoculação.

A ausência de substrato orgânico resulta em menores valores para as variáveis resposta condutância estomática e transpiração. O aumento da porcentagem de substrato inóculo na composição do substrato leva ao aumento no número de esporos e na porcentagem de colonização micorrízica de raiz.

REFERÊNCIAS

- ANTONIAZZI, A. P.; BINOTTO, B.; NEUMANN G. M.; SAUSEN, T. L.; BUDKE, J. C.; Eficiência de recipientes no desenvolvimento de mudas de *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae). **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 313-317, jul./set. 2013.
- CARMO, E. R.; SILVA C. F.; FREITAS, M. S. M.; LIMA, K. B.; MARTINS, M. A. Production of Australian cedar seedlings inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi in different types of containers. **Revista Árvore**, v. 40, n. 2, p. 269-278, 2016.
- CARNEIRO, R.F.V.; MARTINS, M. A.; ARAUJO, A. S. F. ; NUNES, L. A. P. L. Inoculação micorrízica arbuscular e adubação fosfatada no cultivo de forrageiras consorciadas. **Archivos de Zootecnia**, v. 60, p. 1191-1202, 2011.
- CARVALHO, P. E. R. Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais potencialidades e uso da madeira. **Colombo: Embrapa/CNPF**; Brasília-DF: Embrapa/SPI, 1994. 640 p.
- COELHO, I. R.; TIBÚRCIO, C.; CAMPOS, M. A. S.; SILVA, F. S. B. Uso de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) na promoção do crescimento de mudas de pinheira (*Annona squamosa* L., Annonaceae). **Acta Botanica Brasilica**, Feira de Santana, v.26, n.4, out./dez. 2012.
- CROSS. E.; CORDEIRO, L.; CAETANO, F. H. Nodulação e micorrização em *Anadenanthera peregrina* VAR. *falcata* em solo de cerrado autoclavado e não autoclavado **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 95-101, 2004.
- DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W.; FARIA, J. C. T.; GONÇALVES, E. O.; ROCHA, R. L. F. Diferentes substratos para a produção de mudas de *Sesbania virgat.* **Floresta e Ambiente**, v.21, n.2, abr./jun. 2014.
- DINIZ, P. F. A.; OLIVEIRA, L. E. M.; GOMES, M. P.; CASTRO, E. M.; MESQUITA, A. C.; BONOME, L. T. S.; SILVA, L. Crescimento, parâmetros biofísicos e aspectos anatômicos de plantas jovens de seringueira inoculadas com fungo micorrízico arbuscular *Glomus clarum*. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo , v.24, n.1, Jan./Mar. 2010.
- FERRAZ, A. V.; ENGEL, V. L. Efeito do tamanho de tubetes na qualidade de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var. *Stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang.), ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. Ex DC.) Sandl.) e guarucaia (*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 35, n. 3, p. 413-423, 2011.
- FERREIRA, A. D.; CARNEIRO, M. A.; SAGGIN JUNIOR, O. J. Fungos micorrízicos arbusculares em um latossolo vermelho sob manejos e usos no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa - MG, v. 36, n. 1, p. 51-61, 2012.
- FLORES, A. V.; ATAÍDE, G. M.; CASTRO, V. O.; BORGES, E. E.L.; PEREIRA, R. M. D. Physiological and biochemical alterations on the storage of *Cedrela fissilis* Vellozo seeds. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 48, n. 1, p. 01-08, jan./mar. 2018.

FOLLI-PEREIRA, M. S.; MEIRA-HADDAD, L. S. A.; BAZZOLLI, D. M. S.; KASUYA, M. C. M. Micorriza arbuscular e tolerância das plantas ao estresse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1663-1679, 2012.

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**, Cambridge, v. 46, n.2, p. 235-244, 1963.

GERZ M., BUENO C. G, ZOBEL M., MOORA M. Plant community mycorrhization in temperate forests and grasslands: relations with edaphic properties and plant diversity. **Journal of Vegetation Science**, v. 27: 89–99, 2016.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist. Oxford**, v.84, n.3, p. 489-500, 1980.

GOTTEN, L. C.; MORETTO, G.; STÜRMER. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi inoculum produced on-farm and phosphorus on growth and nutrition of native woody plant species from Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v.30, n.1, jan./mar. 2016.

HOYSTED, G. A.; KOWAL, J.; JACOB, A.; RIMINGTON, W. R.; DUCKETT, J. G.; PRESSEL, S. ORCHARD, S.; RYAN, M. H.; FIELD, K. J.; BIDARTONDO, M. I. A mycorrhizal revolution. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 44, p. 1–6, 2018.

KONRAD, M. L. F., FURLANI, P. R., CASSIOLATO, A. M. R., & DA SILVEIRA, A. P. D. Resposta do cafeeiro á inoculação de fungos micorrízicos arbusculares, em Latossolo Vermelho de cerrado. **Bioscience, Journal**, Uberlandia, v. 30, n. 4, p. 933-941, 2014.

KRATZ, D.; WENDLING, I.; NOGUEIRA, C. A.; SOUZA, P. V. D. Substratos renováveis na produção de mudas de *Eucalyptus benthamii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 4, p. 607-621, out/dez., 2013.

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

LUCA, E. D. D., REBECCHI, R. J. & SCHORN, L. A. Crescimento e qualidade de mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vellozo) em viveiro, mediante diferentes técnicas de produção. **Revista Árvore**, n. 22 189-199, 2010.

LÚCIO, W. S. ; LACERDA, C. F.; MENDES FILHO, P. F.; HERNANDE, F. F. F.; NEVES, A. L. F. ; GOMES-FILHO, E. Crescimento e respostas fisiológicas do meloeiro inoculado com fungos micorrízicos arbusculares sob estresse salino. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 4, p. 1587-1602, 2013.

MAEDA, S.; DEDECEK, R. A.; AGOSTINI, R. B.; ANDRADE, G. C.; SILVA, H. D. Caracterização de substratos para produção de mudas de espécies florestais elaborados a partir de resíduos orgânicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 54, p. 97-104, jan/jun. 2007.

MARANHO, Á. S.; PAIVA, A. V. Produção de mudas de *Physocalymma scaberrimum* em substratos compostos por diferentes porcentagens de resíduo orgânico de açaí. **Floresta**, v.42, n.2, p.339-408, 2012.

MARTINELLI, G. e MORAES, M. A.; Livro Vermelho da Flora do Brasil. 1.ed, Rio de Janeiro: **CNCFLORA: Andrea Jakobsson**: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 1100p., 2013.

MENDONÇA, V.; ABREU, N.A.A.; SOUZA, H.A.; FERREIRA, E.A.; RAMOS, J.D. Diferentes níveis de composto orgânico na formulação de substrato para a produção de mudas de mamoeiro 'formosa'. **Caatinga**, v.20, n.1, p.49-53, jan./mar. 2007.

MORATELLI, E. M.; COSTA, M. D.; LOVATO, P. E.; SANTOS, M.; PAULILO, M. T. S. Efeito da disponibilidade de água e de luz na colonização micorrizica e no crescimento de *Tabebuia avellanedae* Lorentz ex Griseb. (Bignoniaceae). **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.31, n.3, p.555-566, 2007.

NADEEM, S. M.; AHMAD, M.; ZAHIR, Z. A.; JAVAID, A.; ASHRAF, M. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. **Biotechnology advances**, New York, v. 32, n. 2, p. 429-448, 2014.

NAVROSKI, M. C.; ARAÚJO, M. M.; PEREIRA, M. O.; FIOR, C. S. Influência do polímero hidroretentor nas características do substrato comercial para a produção de mudas florestais. **Interciencia**, v. 41, n. 5, p. 357-361, mai. 2016.

OLIVEIRA, L. R.; LIMA, S. F.; LIMA, A. P. L. Crescimento de mudas de cedro-rosa em diferentes substratos. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 34, n. 79, p. 187-195, jul./set. 2014.

PEDROSO, D. F.; BARBOSA, M. V.; SANTOS, J. V.; PINTO, F. A.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Arbuscular Mycorrhizal Fungi Favor the Initial Growth of *Acacia mangium*, *Sorghum bicolor*, and *Urochloa brizantha* in Soil Contaminated with Zn, Cu, Pb, and Cd. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, 101, p. 386–391, 2018.

PIAS, O. H. C.; BERGHETTI, J.; SOMAVILLA, L.; CANTARELLI, E. B.; Produção de mudas de cedro em função de tipos de recipiente e fontes de fertilizante. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 35, n. 82, p. 153-158, abr./jun. 2015.

ROSA, D. J.; AMBROSINI, V. G.; BRUNETTO, G.; SOARES, C. R. F.; BORGHEZAN, M.; PESCADOR, R. Parâmetros fisiológicos em videiras 'Paulsen 1103' (*Vitis berlandieri* x *Vitis rupestris*) inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares em solo contaminado com cobre. **Ciência Técnica Vitivinícola**, v. 31, n.1, p. 14-23, 2016.

SCHIAVO, J.A.; MARTINS, M.A. Produção de mudas de acácia colonizadas com micorrizas e rizóbio em diferentes recipientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.2, p.173-178, 2003.

SILVA JÚNIOR, J. M. T.; MENDES FILJO, P. F.; GOMES, V. F. F.; GUIMARÃES, F. V. A.; SANTOS, E. M. Efeito da esterilização do substrato sobre o crescimento de mudas de

meloeiro em presença de fungos micorrizicos arbusculares e compostos orgânicos. **Revista Caatinga. Mossoró**, v. 25, n. 1, p. 98-103, 2012.

SILVA, E. P.; FERREIRA, P. A. A.; FURTINI-NETO, A. E.; SOARES, C. R. F. S. Micorrizas arbusculares e fosfato no desenvolvimento de mudas de cedro-australiano. **Ciência Florestal**, v.27, n.4, Santa Maria, out./dez. 2017.

SILVA, M. A.; CAVALCANTE, U. M.; SILVA, F. S. B.; SOARES, S. A. G.; MAIA, L. C. Crescimento de mudas de maracujazeiro-doce (*Passiflora alata* Curtis) associadas a fungos micorrizicos arbusculares (*Glomeromycota*). **Acta Botanica Brasilica**, v. 18, n.4 p.981-985, 2004.

SILVA, R. P.; PEIXOTO, J. R.; JUNQUEIRA, N. T. V. Influência de diversos substratos n desenvolvimento de mudas de maracujazeiro azedo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v. 23, n. 2, p. 377-381, ago. 2001.

SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A. de; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil. Lavras: UFLA, p.15-74, 2010.

SMITH, S. E.; ANDERSON, I. C.; SMITH, A. F. Mycorrhizal Associations and Phosphorus Acquisition: From Cells to Ecosystems. **Annual Plant Reviews**, v. 48, 409–439, 2015.

SOUZA, E. G. F.; SANTANA, F. M. S.; MARTINS, B. N. M.; PEREIRA, D. L.; BARROS JÚNIOR, A. P.; SILVEIRA, L. M. Produção de mudas de cucurbitáceas utilizando esterco ovino na composição de substratos orgânicos. **Revista Agroambiente On-line**, v.8, n.2. p.175-183, 2014.

SOUZA, F. A.; STÜMER, S. L.; CARRENHO, R.; TRUFEM, S. F. B. Classificação e Taxonomia de Fungos Micorrizicos Arbusculares e sua diversidade e ocorrência no Brasil. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A. de; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: UFLA, p.15-74, 2010.

SOUZA, M. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Dependência micorrizica de *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE. sob doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 26, n. 4, p. 905-912, 2002.

TEDERSOO, L. RAMÍREZ, S. S.; KÖLJALG, U.; BAHRAM M.; DORING, M.; SCHIGEL, D.; MAY, T.; RYBERG, M. ABARENKOV. High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. **Springer**, v. 90, n. 1, p 135–159, 2018.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; PASSOS, R. R.; GONÇALVES, E. O. Substratos de origem orgânica para a produção de mudas de teca (*Tectona grandis* Linn. F.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 401-409, jul./set., 2013.

TRISTÃO, F. S. M.; ANDRADE, S. A. L.; SILVEIRA, A. P. D. S. Fungos micorrizicos arbusculares na formação de mudas de cafeeiro, em substratos com orgânicos comerciais. **Solo e nutrição de plantas**, Bragantina, v. 65, n. 4, p. 1678-4499, 2006.

VARGAS, F. S.; REBECHI, R. J.; SCHOM, L. A.; FENILLI, T. A. B. Efeitos da mudança de recipiente em viveiro na qualidade de mudas de *Cassia leptophylla* Vogel, Eugenia

involucrata DC. e de *Cedrela fissilis* Vell. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 169-177, abr./jun. 2011.

XAVIER, A.; SANTOS, G. A.; OLIVEIRA, M. L. Enraizamento de miniestaca caulinar e foliar na propagação vegetativa de cedro-rosa (*Cedrela fissilis* Vell.). **Revista Árvore**, Minas Gerais, v.27, n.3, p. 351-356, 2003.

ZANETTI, R.; ABREU, C. S.; SILVEIRA, S. H. P.; ANDRADE, E, D. First report of *Hypsipyla grandella* (Lepidoptera: Pyralidae) on African mahogany. **Scientia Agricola**, v.74, n.6, p.492-494, nov. /dez. 2017.

ZHU, X. Q.; WANG, C. Y.; CHEN, H.; TANG, M. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on photosynthesis, carbon content, and calorific value of black locust seedlings. **Photosynthetica**, v. 52, p. 247-252, 2014.

ARTIGO 2: FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES, DOSES DE FÓSFORO E MANEJO DA IRRIGAÇÃO NO CRESCIMENTO E FISIOLOGIA DE *Cedrela fissilis* Vell.

RESUMO

A inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) é uma prática que permite a otimização de insumos e tem grande abrangência em culturas que passam por etapa de viveiro. Este trabalho teve como objetivo avaliar de forma conjunta a influência da inoculação com os FMAs das espécies *Acaulospora longula* (Al), *Claroideoglomus etunicatum* (Ce) e mais um tratamento controle não inoculado (Ct), associados à aplicação de duas soluções nutritivas (uma com zero e outra com 30 mg dm⁻³ de fósforo) e à duas frequências de reposição da lâmina de irrigação (sendo uma e duas vezes por semana) sobre o crescimento e a fisiologia de mudas de *Cedrela fissilis*. Assim, mudas foram cultivadas por um período de 200 dias após a germinação, em um experimento em blocos casualizados em esquema fatorial 3x2x2, com três repetições. Ao final do experimento foram avaliados: biomassa seca, trocas gasosas, teor relativo de clorofila, desempenho fotossintético do fotossistema II, número de esporos, porcentagem de colonização de raiz e dependência micorrízica. Os parâmetros de trocas gasosas e eficiência do fotossistema II nas plantas inoculadas foram maiores sob a dose 0 de P do que com a dose 30 mg dm⁻³. A inoculação com FMAs em mudas de *C. fissilis* dispensa o uso do P e permite menor frequência de reposição da lâmina de água, mas de maneira não concomitante, sendo os efeitos variados em função da espécie de FMA inoculada. Assim, a melhor combinação para produção de mudas com maior biomassa e maior sinergismo entre planta-microrganismo ocorre na inoculação com Ce na dose 30 mg dm⁻³ de P repondo água 1x por semana.

Palavras chave: inoculação micorrízica, nutrição fosfatada, trocas gasosas, teor de clorofila, desempenho fotossintético.

ARTICLE 2: ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI, PHOSPHORUS DOSES AND IRRIGATION MANAGEMENT IN THE GROWTH AND PHYSIOLOGY OF *Cedrela fissilis* Vell.

ABSTRACT

The inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi (AMFs) is a practice that allows the optimization of inputs and has a wide scope in cultures that pass through the nursery stage. This work aimed to jointly evaluate the influence of inoculation with the FMAs of the species *Acaulospora longula* (Al), *Claroideoglossum etunicatum* (Ce) and one more non-inoculated control treatment (Ct), associated with the application of two nutritive solutions (one with zero and one with 30 mg dm⁻³ of phosphorus) and at two frequencies of replacement of the irrigation blade (once and twice a week) on the growth and physiology of *Cedrela fissilis* seedlings. Thus, seedlings were cultivated for a period of 200 days after germination, in a randomized block experiment in a 3x2x2 factorial scheme, with three replications. At the end of the experiment, dry biomass, gas exchange, relative chlorophyll content, photosynthetic performance of photosystem II, number of spores, percentage of root colonization and mycorrhizal dependence were evaluated. The parameters of gas exchange and efficiency of photosystem II in the inoculated plants were higher under dose 0 of P than with dose 30 mg dm⁻³. Inoculation with FMAs in *C. fissilis* seedlings dispenses with the use of P and allows less frequency of water slide replacement, but in a non-concomitant manner, with the effects varying according to the species of inoculated FMA. Thus, the best combination for producing seedlings with greater biomass and greater synergism between plant-microorganism occurs in the inoculation with Ce at the dose of 30 mg dm⁻³ of P, replenishing water 1x per week.

Keywords: mycorrhizal inoculation, phosphate nutrition, gas exchange, chlorophyll content, photosynthetic performance.

1 INTRODUÇÃO

As associações simbióticas mutualísticas entre os vegetais superiores e fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) estão entre as simbioses mais importantes da natureza, por auxiliarem na estruturação das comunidades vegetais (ALECRIM *et al.*, 2016; HOYSTED *et al.*, 2018). Os FMAs formam estruturas denominadas hifas que atuam como uma extensão das raízes e têm a função de explorar maior volume de solo. Assim, contribuem para maior absorção de nutrientes, aprimoramento do uso da água e estabilização dos agregados do solo (RODRIGUES, GOI e RODRIGUES, 2014; CARDOSO e ANDREOTE, 2016). Em contrapartida, as plantas fornecem os carboidratos necessários para a sobrevivência dos FMAs (ABDEL-SALAM, ALATAR e EL-SHEIKH, 2018). Destaca-se que a eficiência da inoculação com os FMAs depende da espécie de fungo utilizada, da espécie vegetal hospedeira e do ambiente de cultivo (SCHIAVO *et al.*, 2018).

A inoculação micorrízica, dentre outros benefícios, otimiza o uso do fósforo e da água pelas plantas (FRANÇA *et al.*, 2014; BARROS *et al.*, 2018). O fósforo é um macronutriente envolvido na regulação da atividade de diversas enzimas, participa da composição de metabólitos celulares, assim como de compostos estruturais, como os fosfolipídeos de membrana. Também é fundamental para o estoque de energia na forma de ATP, e para a composição das bases nitrogenadas (FERNÁNDEZ, 2007). A água está relacionada com a manutenção do turgor nas células vegetais, indispensável para o crescimento celular. Além disso, o movimento da água pelo continuum solo-planta-atmosfera permite a absorção de nutrientes pela planta e a manutenção das trocas gasosas foliares nos vegetais, para que haja a fixação do carbono e acúmulo de biomassa (RODRIGUES, BARROSO e FIQUEIREDO, 2018).

Assim, mudas inoculadas com FMAs geralmente apresentam maior crescimento e maior acúmulo de biomassa (RODRIGUES, BARROSO e FIQUEIREDO, 2018) e maior incremento da atividade fotossintética quando comparadas a plantas não micorrizadas (ZHU, SONG e XU, 2010). Portanto a prática da inoculação na produção de mudas tende a contribuir com a otimização no uso de insumos básicos como os fertilizantes (OLIVEIRA, SILVA e RIOS, 2015) e água (ABDEL-SALAM, ALATAR e EL-SHEIKH, 2018; RONGA *et al.*, 2019). Seu reflexo é perceptível na manutenção da concentração de clorofila nas folhas e com o aumento do potencial hídrico influenciando de forma positiva a sobrevivência e o desenvolvimento das plantas (SHENG *et al.*, 2008).

Cedrela fissilis Vell. é uma meliácea nativa do bioma Mata Atlântica, cuja madeira apresenta alto valor ecológico e econômico (ARAGÃO *et al.*, 2017), além de ser considerada espécie paisagística (MASETTO, FARIA e FRAIZ, 2014). Com isso, as árvores nativas adultas de *C. fissilis* sofrem com a superexploração da madeira, sendo listada como espécie da flora brasileira vulnerável à extinção (MARTINELLI e MORAES, 2013; Ministério do Meio Ambiente, 2014). Desta maneira, há uma crescente necessidade de mudas de *C. fissilis* e de espécies florestais nativas, visando ao enriquecimento da flora e cultivo para fins comerciais (CUSATIS *et al.*, 2018). Informações que viabilizem o manejo de *C. fissilis* se iniciam pelo conhecimento das características do crescimento e fisiologia na fase de produção de mudas (CUSATIS *et al.*, 2013).

As mudas de espécies florestais têm custo elevado e seu plantio é imprescindível para garantir a sustentabilidade dos ecossistemas. Por isso, estudos relacionados com a produção eficiente de mudas viabilizam o enriquecimento da flora natural em projetos de restauração florestal (SUGANUMA *et al.*, 2008). Neste sentido, a inoculação com FMAs é uma alternativa eficiente para desenvolvimento de mudas de qualidade e com melhor capacidade de estabelecimento no campo (OLIVEIRA, SILVA e RIOS, 2015; RODRIGUES, BARROSO e FIQUEIREDO, 2018). A inoculação com FMAs tem otimizado o uso de insumos na produção de mudas de espécies arbóreas de todos os grupos ecológicos: pioneiras, secundárias e tardias, favorecendo a oferta de mudas para fins diversos (PASQUALINI, UHLMANN e STURMER, 2007). Desta maneira, o uso dos FMAs surge como uma biotecnologia associada à melhoria das condições de nutrição das plantas (HOYSTED *et al.*, 2018; CHEN *et al.*, 2017).

A busca por informações que aliem a produção com a economia de insumos, são a base para o estabelecimento de protocolos de produção sustentável de mudas de espécies florestais. Neste contexto, testou-se a hipótese de que a inoculação com FMAs substitui a adubação com P e permite reduzir a frequência de reposição da lâmina de irrigação. Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar o efeito da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares das espécies *Acaulospora longula* e *Claroideoglossum etunicatum* associadas a doses de fósforo e a diferentes frequências de reposição da lâmina de irrigação sobre o crescimento e a fisiologia de mudas de *Cedrela fissilis*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 OBTENÇÃO DOS FMAS E PREPARO DO SUBSTRATO DE CULTIVO

O presente experimento foi desenvolvido no Laboratório de Manejo Vegetal e Cultivo *in Vitro* da Fundação Jardim Botânico no município de Poços de Caldas–MG.

Os fungos micorrízicos arbusculares das espécies *Acaulospora longula* (URM FMA 07) e *Claroideoglossum etunicatum* (URM FMA 03) foram previamente multiplicados utilizando-se a *Brachiaria brizantha* como planta hospedeira. Esta multiplicação foi realizada em substrato inóculo previamente autoclavado, constituído de terra de barranco e areia na proporção de 1:1. Ao final desta etapa a *Brachiaria brizantha* foi retirada dos recipientes de cultivo e foram contabilizados os esporos de cada espécie de FMA, sendo encontrados 200 e 13 esporos por 10 g de substrato, respectivamente para as espécies *Acaulospora longula* (Al) e *Claroideoglossum etunicatum* (Ce).

A mistura contendo terra de barranco e areia utilizada para propagação dos FMAs foi a mesma utilizada para a condução do experimento e apresentou os seguintes atributos químicos: pH: 5,9; Matéria Orgânica: 15 g dm⁻³; P (Melich I): 14 mg dm⁻³; K: 0,5 mmol_c dm⁻³; Ca: 15 mmol_c dm⁻³; Mg: 2 mmol_c dm⁻³; H+Al: 19 mmol_c dm⁻³, Al: 0 mmol_c dm⁻³, H: 19 mmol_c dm⁻³; B: 0,31 mg dm⁻³; Cu: 0,4 mg dm⁻³; Fe: 31 mg dm⁻³; Mn: 13 mg dm⁻³ e Zn: 0,8 mg dm⁻³.

A inoculação dos FMAs foi realizada adicionando-se 10 g de substrato inóculo (tanto para Al quanto para Ce) para cada vaso de 800 mL de substrato autoclavado. Para o tratamento controle (Ct) utilizou-se somente substrato autoclavado.

2.2 PREPARO DO MATERIAL VEGETAL E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

As sementes de *C. fissilis* utilizadas no experimento foram coletas no município de Poços de Caldas – MG (21°42'58.1"S 46°35'31.5"W), pela Fundação Jardim Botânico de Poços de Caldas, e estão registradas com o código de acesso nº 221 e código de aquisição nº 2212018. As sementes foram desinfestadas superficialmente com álcool 96 % por 2 min, imersas em hipoclorito de sódio a 2 % por 5 min e lavadas em água destilada esterilizada.

O plantio foi realizado colocando-se três sementes por recipiente. Logo após a semeadura, foi realizada uma adubação básica preventiva com micronutrientes, em todo experimento, nas dosagens 0,5 mg de boro (B); 1,5 mg de cobre (Cu); 3,0 mg de manganês (Mn) e 5,0 mg de zinco (Zn) por dm³ de substrato, utilizando como fonte os

reagentes H_3BO_3 , $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ e $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Para o tratamento de 30 mg dm^{-3} de P, procedeu-se o preparo de duas soluções estoques utilizando-se como fontes os reagentes KH_2PO_4 , K_2SO_4 e KCl , de modo que as dosagens de K e S mantiveram-se em 100 e 15 mg dm^{-3} , respectivamente. Para o preparo da solução 0 mg dm^{-3} , não se utilizou o KH_2PO_4 (Carneiro *et al.*, 2011).

Após o período de germinação das sementes, foi efetuado um desbaste, eliminando as mudas excedentes em cada vaso, mantendo-se apenas uma planta por vaso (a mais central). Os vasos contendo as mudas foram acondicionados aleatoriamente em bandejas posicionadas em estrutura de madeira, suspensa a 80 cm do chão, com sistema de iluminação controlado por termostato (*timer*). O fotoperíodo experimental com luz artificial foi de 16 horas de luz/ 8 horas de escuro. Na estrutura foram utilizadas 10 lâmpadas fluorescentes de 32W/127V que estavam a uma altura de 90 cm dos vasos e separadas com uma distância de 45 cm da base da estrutura.

O experimento foi conduzido em Delineamento em Blocos Casualizados (DBC) em esquema fatorial ($3 \times 2 \times 2$). Assim, foram utilizadas três condições de inoculação (*Acaulospora longula* - Al; *Claroideoglossum etunicatum* - Ce e controle sem inoculação - Ct); duas doses de fósforo (aplicação da solução 30 mg dm^{-3} e aplicação da solução 0 de P) e duas frequências de reposição da lâmina de irrigação (irrigação uma vez por semana – 1x e irrigação duas vezes por semana – 2x) onde a lâmina foi definida a 60% da capacidade de campo em vaso e a reposição foi realizada em base peso. Cada tratamento contou com três repetições.

Para estabelecer a lâmina de irrigação foi determinada, inicialmente, a capacidade máxima de retenção de água do solo ou capacidade de campo em vaso de acordo com a metodologia apresentada por Bomfim-Silva *et al.* (2011). Para tanto, três vasos foram perfurados no fundo (porém protegidos por uma tela fina a fim de evitar possíveis vazamentos de substrato) e preenchidos com o substrato seco e, então, procedeu-se à pesagem do conjunto. Os vasos foram colocados em uma bandeja com água até 2/3 da sua altura, para a saturação do substrato por capilaridade. Atingida a saturação, os vasos foram retirados da bandeja e deixados em observação até cessar a drenagem do excesso de água, quando, neste momento, foram novamente pesados. A massa de água retida no ponto da capacidade de campo em vaso foi obtida pela diferença: (Peso do substrato saturado – Peso do substrato seco). A reposição de água nos vasos foi realizada com água destilada respeitando 60% da capacidade de campo em vaso, em um intervalo de

três dias e meio para os tratamentos irrigados duas vezes (2x) por semana e de sete dias para os tratamentos irrigados uma vez por semana (1x).

O experimento foi conduzido por duzentos dias após a semeadura. Ao final do período experimental, quando as mudas de *C. fissilis* apresentavam oito folhas completamente expandidas, foram realizadas as análises fisiológicas de trocas gasosas, conteúdo relativo de clorofila e desempenho fotossintético. O substrato de cultivo e porções de raízes foram devidamente coletados para a determinação do número de esporos e porcentagem de colonização micorrízica das raízes. Em seguida, procedeu-se à coleta da parte aérea das plantas que foi acondicionada em sacos de papel e seco em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C por 48h, até peso constante para obtenção da biomassa seca.

2.3 ANÁLISES DE TROCAS GASOSAS, CONTEÚDO RELATIVO DE CLOROFILA E DESEMPENHO FOTOSSINTÉTICO

As medidas de trocas gasosas foram realizadas através de um analisador de gás por infravermelho IRGA (LI-6400 XT, Cor, Lincoln, Nebraska, USA) em folíolos da última folha completamente expandida de todas as mudas. Avaliou-se uma planta por repetição.

Foram avaliadas a taxa fotossintética líquida (P_n), concentração de carbono intercelular (C_i), transpiração (E) e condutância estomática (g_s). A partir destes parâmetros foram calculados: a razão entre a concentração intercelular e a concentração atmosférica de CO_2 (C_i/C_a), a eficiência do uso da água (EUA – A/E) e a eficiência instantânea da carboxilação ($k - P_n / C_i$). Utilizou-se fonte artificial de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em câmara fechada fixada em $1700 \mu\text{mol de f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de acordo com uma curva de luz realizada nas plantas do estudo. A taxa de assimilação de CO_2 na câmara foi medida com a concentração ambiente de CO_2 (aproximadamente 390 ppm).

O conteúdo relativo de clorofila foi determinado pelo índice SPAD, por meio de um clorofilômetro portátil (SPAD 502, Konica Minolta, Osaka, Japan). Obteve-se a média de nove leituras em três folíolos da última folha completamente expandida por repetição.

O desempenho fotossintético do fotossistema II foi obtido através de um fluorômetro modulado (FluorCAM Closed FC 800-C, PhotonSystems Instruments Ltda, Drasov, República Tcheca). O folíolo central da última folha completamente expandida foi utilizado, o qual passou por uma adaptação de 20 minutos no escuro. Foram avaliados a

eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II (QY_{max}), razão de decréscimo da fluorescência da clorofila (R_{fd}) e transporte aparente de elétrons (ETR).

Todas as medições referentes às trocas gasosas, índice relativo de clorofila e desempenho fotossintético foram realizadas no período da manhã, entre 09h00min e 12h00min.

2.4 DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE ESPOROS DE FMAS

Para a quantificação da densidade de esporos de FMAs (*Acaulospora longula* e *Claroideoglossum etunicatum*) foram coletadas amostras de 50 mL do substrato em cada um dos vasos, para emprego do método analítico de decantação e peneiramento úmido de Gerdemann e Nicolson (1963). As amostras foram transferidas para um béquer de 2.000 mL, onde acrescentou-se 1L de água potável. A suspensão foi agitada com um bastão de vidro até ser dispensada nas peneiras (750, 250, 100 e 45 μm).

O material retido na menor peneira, foi centrifugado em tubos de 50 mL por 3 minutos a 3000 RPM. O sobrenadante foi descartado e acrescentou-se uma solução de sacarose 50% conduzindo para uma segunda centrifugação por 2 minutos a 2000 RPM. O sobrenadante de cada tubo foi dispensado separadamente em peneira (45 μm) e lavado para retirar o excesso de sacarose. O material foi transferido para placas de Petri para posterior contagem dos esporos.

2.5 PORCENTAGEM DE COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA E DEPENDÊNCIA MICORRÍZICA

Para análise da taxa de colonização micorrízica das mudas, em ambos os FMAs inoculados, utilizou-se o método descrito por Giovannetti e Mosse (1980). Foram coletadas amostras de um grama de raízes finas, em todos os vasos, nas porções: superiores, medianas e terminais do sistema radicular. Em seguidas as amostras foram acondicionadas em etanol 50%, até o momento da análise laboratorial. Para clarificação, as raízes foram acondicionadas em béquer de 50 mL, imersas em solução de KOH 10% e aquecidas em banho maria à temperatura de 60 à 90°C de 15 à 30 minutos e posteriormente lavadas em água por duas vezes seguidas.

Para coloração as raízes foram transferidas para béquers de 50 mL e imersas em solução de azul de tripano 5%, e aquecidas em banho-maria, seguindo-se o mesmo tempo da etapa de clarificação. As amostras foram colocadas em placa de Petri para cálculo da porcentagem de colonização (GIOVANNETTI e MOSSE, 1980). Foram

avaliados os segmentos de raízes contendo estruturas fungicidas, com um microscópio estereoscópio.

A dependência micorrízica, que define o quanto a planta é dependente da inoculação para seu crescimento, foi calculada por espécie de FMA, conforme metodologia descrita por Tawaraya (2003), onde: Dependência micorrízica (%) = [(peso seco da planta micorrizada - peso seco da planta não micorrizada) / peso seco da planta micorrizada] x 100.

2.6 ANÁLISE DE DADOS

Os dados foram testados quanto à normalidade e, em seguida, foram submetidos à análise de variância – ANAVA e utilizou-se o teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$) para comparação das médias dos fatores inoculação, doses de P e frequência de irrigação. Avaliou-se a interação entre os três fatores, sendo consideradas somente as interações significativas. A correlação entre as variáveis foi determinada pelo coeficiente de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$).

3 RESULTADOS

3.1 BIOMASSA SECA DAS MUDAS

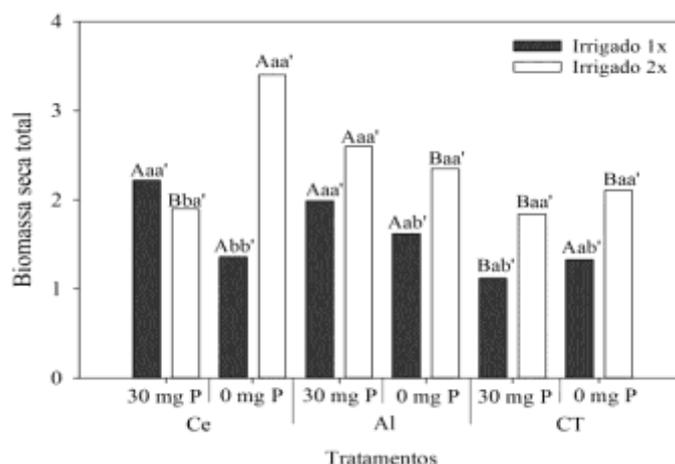
Observou-se interação tripla entre os fatores inoculação, doses de P e frequências de irrigação para a biomassa seca das mudas de *C. fissilis* (Figura 1). Comparando-se as médias dos tratamentos de inoculação dentro de cada dose de P e frequência de irrigação, verificou-se, com a dose de 30 mg dm⁻³ e irrigado 1x por semana, que as espécies Ce e Al foram iguais entre si e superiores ao Ct. A inoculação com Ce incrementou a biomassa seca em 99% e com o Al em 79%, em relação ao tratamento Ct. Com a dose de 30 mg dm⁻³ e irrigado 2 x por semana, Ce e Ct foram iguais, sendo que a inoculação com Al foi superior aos demais, promovendo incremento de biomassa de 41% em relação às plantas Ct. Considerando a dose 0 de P com irrigação 1 x por semana, não houve diferença entre os tratamentos de inoculação. Entretanto, para a reposição 2x por semana, a inoculação com Ce foi significativamente superior aos demais, sendo que Al e Ct foram iguais entre si. Nessa condição, a inoculação com Ce aumentou o acúmulo de biomassa de 61% e com Al de 11% em relação às ao controle.

Comparando-se as médias do fator doses de P dentro de cada inóculo e manejo de irrigação (Figura 1), verificou-se que para a inoculação com Ce irrigado 1x, a dose de 30

mg dm⁻³ levou ao maior acúmulo de biomassa (63%) do que a dose 0 P. Já com irrigação de 2x, a dose 0 foi mais eficiente, com 79% a mais de produção de biomassa do que 30 mg dm⁻³. Para a inoculação com Al, não há diferenças entre as doses de P, tanto na reposição 1x por semana quanto 2x. O mesmo foi verificado no tratamento controle.

Para as médias do fator frequência de irrigação em cada inoculação e dose de P (Figura 1) verificou-se que para a inoculação com Ce ou Al com 30 mg dm⁻³ de P não houve diferença significativa entre as frequências de reposições de água. Entretanto, com Ce e dose 0 de P, a reposição 2x por semana foi significativamente superior ($p < 0,05$) à reposição 1x por semana, com incremento de 149% na biomassa seca das plantas. Na inoculação com Al e 0 de P, a reposição 2x por semana foi significativamente ($p < 0,05$) superior a 1x por semana, com incremento de 45% na biomassa seca. No tratamento controle com 30 mg /dm³ P a reposição 2x foi significativamente superior ($p < 0,05$) à reposição 1x por semana, com incremento em 65% na biomassa seca das plantas; e para a dose 0 de P, a mesma tendência foi verificada, sendo que a reposição 2x por semana incrementou em 58% a biomassa das plantas em relação à reposição 1x por semana.

Figura 1: Biomassa seca total de mudas de *Cedrela fissilis*



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 1: Biomassa seca total de mudas de *Cedrela fissilis* aos duzentos dias de crescimento, sob efeito da inoculação com os FMA *Claroideoglossum etunicatum* (Ce), *Acaulospora longula* (Al) e controle (Ct) submetidas a duas doses de P (0 e 30 mg dm⁻³) e diferentes frequências da irrigação (reposição da lâmina uma vez por semana – 1x e duas vezes por semana – 2x). Letras maiúsculas comparam as médias do fator inoculação dentro de cada dose de P e frequência de irrigação; letras minúsculas comparam as médias do fator doses de P dentro de cada inóculo e frequência de irrigação; letras minúsculas com apóstrofe comparam as médias do fator frequência de irrigação em cada inoculação e dose de P. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$).

3.2 TROCAS GASOSAS E CONTEÚDO RELATIVO DE CLOROFILA

Ocorreu interação entre os fatores Inoculação x Doses de P e Frequência de irrigação x Doses de P para a taxa fotossintética líquida (P_n). Ao analisar os diferentes inóculos dentro de cada dose de P, verificou-se que, na dose 0 de P, não houve diferenças ($p > 0,05$) entre os inóculos. Para a dose 30 mg dm^{-3} , o tratamento controle foi superior aos demais, sendo a inoculação com Ce estatisticamente igual a inoculação com Al (Figura 2A). Analisando as doses de P dentro de cada inóculo, apenas no tratamento controle não houve diferenças entre as mesmas. Em ambos os inóculos Ce e Al, com a dose 0, verificou-se maior P_n em relação a dose 30 mg dm^{-3} (Figura 2A). Avaliando o efeito das doses dentro de cada frequência de irrigação, observou-se que na frequência de irrigação 1x por semana não houve diferenças entre as doses para a P_n . No entanto, na frequência 2x por semana, a P_n foi maior em mudas com 0 de P (Figura 2B). Avaliando o efeito das frequências de reposição em cada dose de P, tanto na dose 0 quanto na dose 30 mg dm^{-3} não houve diferenças entre as diferentes frequências (Figura 2B).

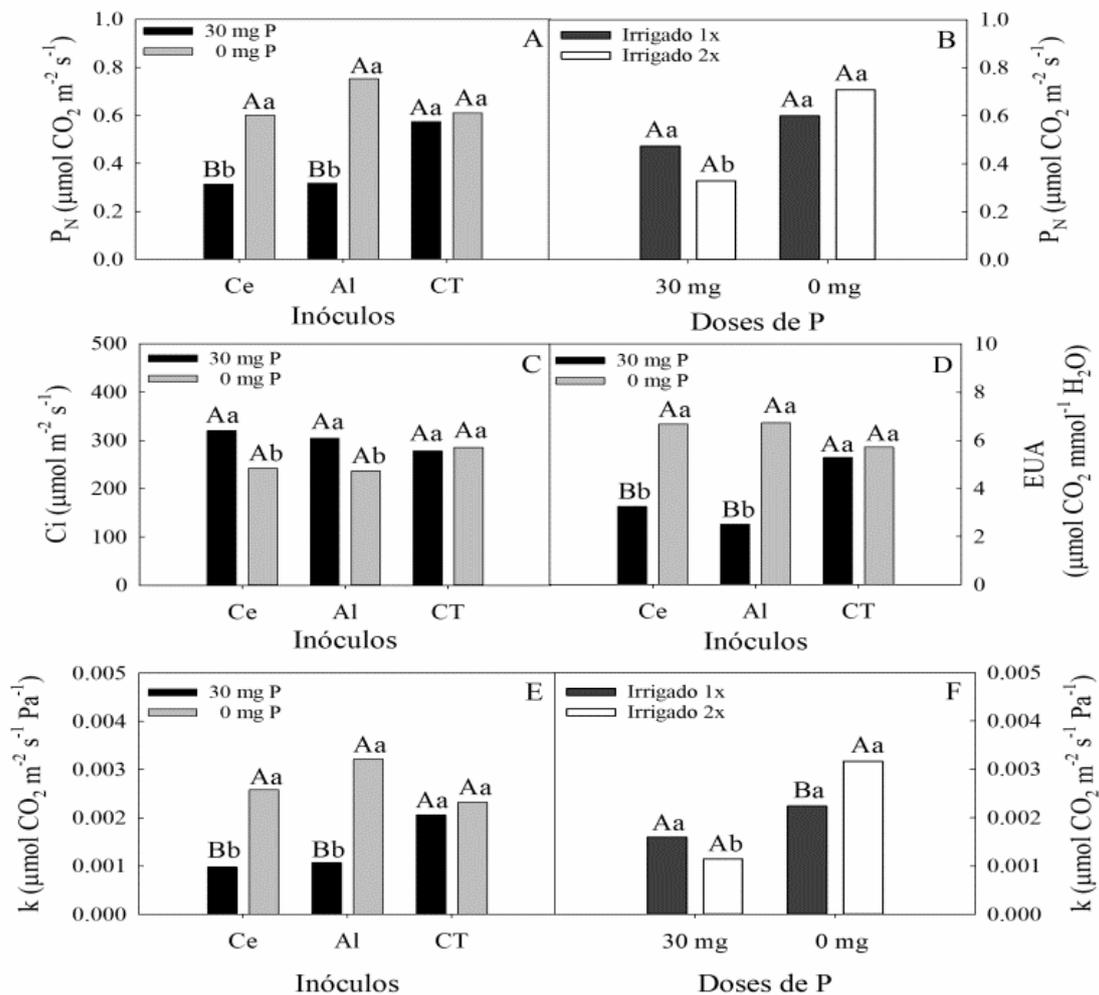
Para concentração intercelular de carbono (C_i) observou-se interação entre os fatores inoculação x doses de P. Avaliando-se o efeito dos tratamentos de inoculação dentro de cada dose de P, não foram verificadas diferenças entre os inóculos tanto para a dose 0 quanto para a dose 30 mg dm^{-3} (Figura 2C). Comparando-se as doses de P dentro de cada inóculo, verificou-se que em ambos os inóculos Ce e Al, sempre na aplicação da dose 30 mg dm^{-3} foi superior a dose 0. Para o tratamento controle, não houve diferença entre as doses (Figura 2C).

Houve interação inoculação x doses de P para EUA. Ao se analisar o efeito da inoculação dentro das doses de P, verificou-se não haver diferença entre os inóculos em ambas as doses de P (Figura 2D). Comparando-se as doses de P dentro de cada inóculo, verificou-se que em ambos os inóculos Ce e Al, a dose 0 foi significativamente superior à dose 30 mg dm^{-3} P. Já no tratamento controle, não houve diferença entre as doses (Figura 2D).

Verificou-se significância para as interações Inoculação x Doses de P e Doses de P x Frequências de irrigação para a eficiência instantânea de carboxilação (k). Ao se analisar o efeito da inoculação dentro das doses de P, verificou-se que não houve diferença entre os inóculos na dose 0 de P. Entretanto, para a dose 30 mg dm^{-3} , o tratamento controle foi significativamente superior aos demais, sendo que Ce e Al foram iguais entre si neste nível de P. Avaliando as doses dentro de cada inóculo, verificou-se que para os tratamentos Ce e Al, sempre na dose 0 de P foram verificados maiores

valores de k em comparação com a dose de 30 mg dm^{-3} (Figura 2E). Quando se comparou as doses de P em cada frequência de irrigação, na reposição de água 1x por semana não houve diferença entre as doses de P. Porém, na reposição 2x por semana, a dose 0 de P foi significativamente superior à dose 30 mg dm^{-3} . Quando se comparou as frequências de reposição de água em cada dose de P, verificou-se que com a adição de 30 mg dm^{-3} de P, não houve diferença entre as frequências de reposição. No entanto, para a dose 0 de P, mudas irrigadas 2x apresentaram maior eficiência de carboxilação (Figura 2F).

Figura 2: Trocas gasosas



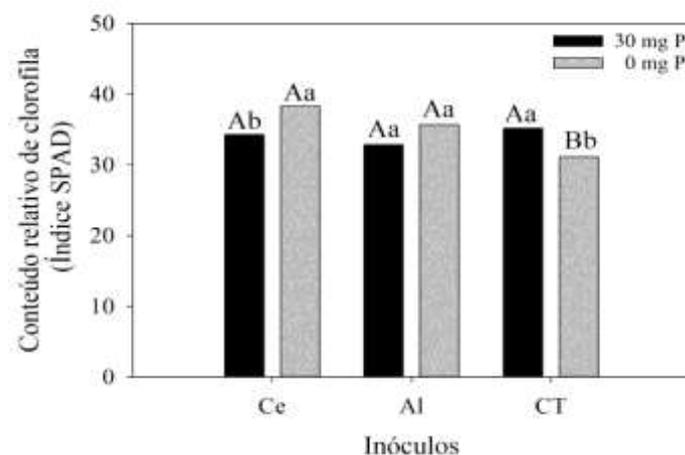
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 2: Taxa fotossintética líquida – P_n (A, B), Concentração interna de carbono – C_i (C), Eficiência no uso da água – EUA (D), Eficiência instantânea da carboxilação – k (E, F) de mudas de *Cedrela fissilis* aos duzentos dias de crescimento, sob efeito da inoculação com os FMA's *Claroideoglossum etunicatum* (Ce), *Acaulospora longula* (Al) e controle (Ct), duas doses de P (0 ou 30 mg dm^{-3}) e diferentes frequências da irrigação (uma vez por semana - 1x e duas vezes por semana - 2x). Em A, C, D, E: letras maiúsculas comparam as médias do fator inóculos dentro de

cada dose de P e letras minúsculas comparam as médias do fator dose de P dentro de cada inóculo; em B, F: letras maiúsculas comparam as médias do fator frequência de irrigação em cada dose de P, enquanto letras minúsculas comparam as médias da dose de P em cada frequência de irrigação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$).

Para o conteúdo relativo de clorofila (índice SPAD) houve interação entre os fatores Inoculação x Doses de P. Ao se analisar o fator inóculos dentro de cada dose de P, com a dose de 30 mg dm^{-3} não houve diferença entre os inóculos, enquanto em 0 de P mudas inoculadas apresentaram maior conteúdo relativo de clorofila do que as mudas Ct. Avaliando as doses dentro de cada inóculo, para Ce maior índice SPAD foi observado em mudas com 0 de P, para Al não houve influência da dose de P, enquanto para Ct maior SPAD ocorreu nas mudas que receberam a dose de 30 mg dm^{-3} de P (Figura 3).

Figura 3: Índice SPAD



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 3: Conteúdo relativo de clorofila (Índice SPAD) de mudas de *Cedrela fissilis* aos duzentos dias de crescimento, sob efeito da inoculação com os FMAs *Claroideoglomus etunicatum* (Ce), *Acaulospora longula* (Al) e controle (Ct) submetidas a duas doses de P (0 ou 30 mg dm^{-3}) e diferentes frequências da irrigação (uma vez por semana - 1x e duas vezes por semana - 2x). Letras maiúsculas comparam as médias do fator inóculos dentro de cada dose de P e letras minúsculas comparam as médias do fator doses de P dentro de cada inóculo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$).

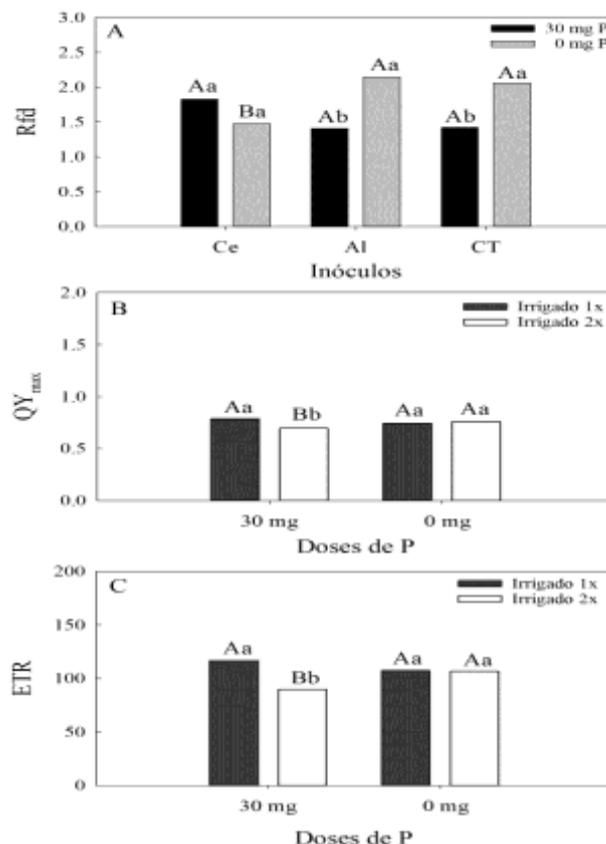
3.3 DESEMPENHO FOTOSSINTÉTICO

Para a razão de decréscimo da fluorescência (Rfd) ocorreu interação entre os fatores Inoculação x Doses de P. Ao se analisar o fator inóculos dentro de cada dose de P, Al e Ct apresentaram maiores valores que o Ce na condição de 0 de P, enquanto não houve diferença entre inóculos com 30 mg dm^{-3} . Para o fator doses de P dentro de cada

inoculação, não houve influência da dose de P em Ce, enquanto maior Rfd foi observado em 0 mg dm⁻³ de P para Al e Ct (Figura 4A).

Observou-se interação entre Doses de P x Frequências de irrigação para a eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II (QY_{max}) e transporte aparente de elétrons (ETR). Ao se analisar o fator dose de P em cada frequência de irrigação, não houve influência das doses de P no regime de irrigação de 1x, enquanto nas mudas com 0 de P no regime de 2x maior QY_{max} e ETR foram observados, do que nas mudas com 30 mg dm⁻³ no mesmo regime de irrigação. Com relação à frequência de irrigação, as mudas sob frequência de reposição hídrica de 1x apresentaram QY_{max} e ETR maiores do que as mudas sob frequência de reposição hídrica de 2x em 30 mg dm⁻³ de P, enquanto não houve influência das frequências de irrigação em 0 de P sobre os parâmetros avaliados (Figura 4B, C).

Figura 4: Desempenho fotossintético



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

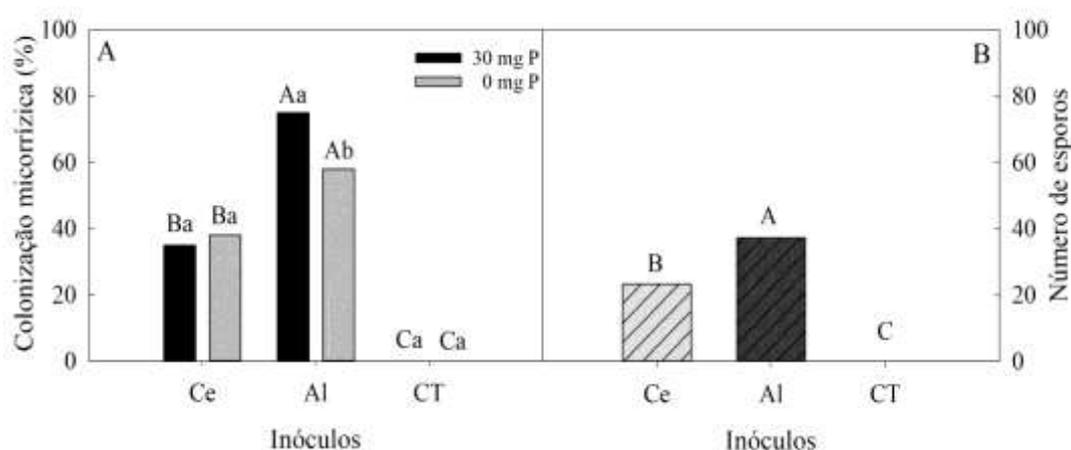
Figura 4: Razão de decréscimo da fluorescência – RFD (A), Eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II – QY_{max} (B) e taxa de transporte de elétrons – ETR (D) de mudas de *Cedrela fissilis* aos duzentos dias de crescimento, sob efeito da inoculação com os FMAs *Claroideoglomus etunicatum* (Ce), *Acaulospora longula* (Al) e controle (Ct) submetidas a duas doses de P (0 ou 30

mg dm⁻³) e diferentes frequências da irrigação (uma vez por semana - 1x e duas vezes por semana- 2x). Em A: letras maiúsculas comparam as médias do fator inóculos dentro de cada dose de P e letras minúsculas comparam as médias do fator dose de P dentro de cada inóculo; em B, C: letras maiúsculas comparam as médias do fator frequência de irrigação em cada dose de P, enquanto letras minúsculas comparam as médias da dose de P em cada frequência de irrigação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$).

3.4 COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA, QUANTIDADE DE ESPOROS E DEPENDÊNCIA MICORRÍZICA

Observou-se interação entre os fatores Inoculação x Doses de P para a colonização micorrízica. Analisando o fator inoculação dentro de cada dose de P, independentemente da dose de P, a colonização micorrízica de raiz foi maior nas mudas inoculadas com Al, seguidas de Ce. No tratamento Ct, conforme esperado, não foi observada taxa de colonização micorrízica de raiz. Com relação ao fator doses de P, nas mudas inoculadas com Ce não houve interferência da dose de P sobre a taxa de colonização micorrízica, enquanto em Al houve maior colonização com adição da dose de 30 mg dm⁻³ do que com a dose 0 de P (Figura 5A). Quanto ao número de esporos, houve efeito apenas do fator inoculação, onde maior contagem foi verificada no tratamento Al, seguido de Ce. O Ct, como esperado, não apresentou contagem de esporos (Figura 5B).

Figura 5: Porcentagem de colonização micorrízica em raízes e Número de esporos no substrato



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 5: A - Porcentagem de colonização micorrízica em raízes e B - Número de esporos em 50ml de substrato de mudas de *Cedrela fissilis* aos duzentos dias de crescimento, sob efeito da inoculação com os FMAs *Claroideoglossum etunicatum* (Ce), *Acaulospora longula* (Al) e controle (Ct) submetidas a duas doses de P (0 ou 30 mg dm⁻³) e diferentes frequências da irrigação (uma vez por semana - 1x e duas vezes por semana- 2x). Em A: letras maiúsculas comparam as médias do fator inóculos dentro de cada dose de P e letras minúsculas comparam as médias do

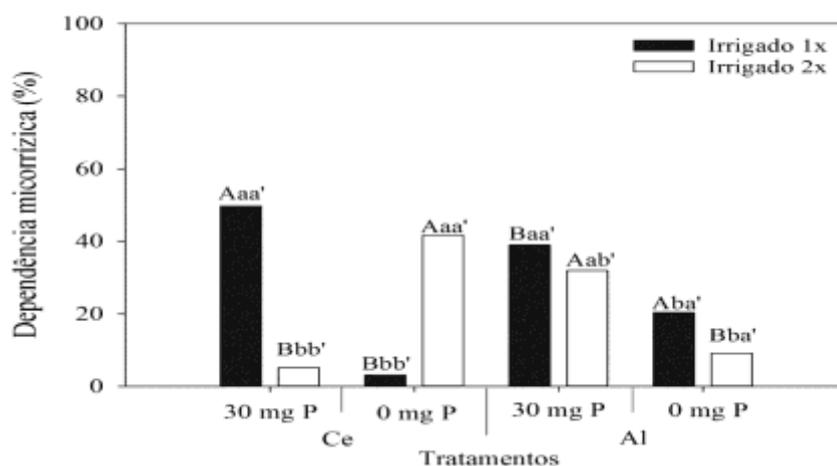
fator dose de P dentro de cada inóculo; em B: letras comparam as médias do fator inóculos; Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$).

Quanto a dependência micorrízica das mudas ocorreu significância para a interação Inoculação, Doses de P e Frequências de irrigação (Figura 6). Comparando-se as médias dos tratamentos de inoculação dentro de cada dose de P e frequência de irrigação, verificou-se que com a dose de 30 mg dm^{-3} e irrigação 1x o tratamento Ce apresentou maiores valores. Com a dose de 30 mg dm^{-3} de P e irrigado 2x o tratamento Al foi significativamente superior. Considerando a dose 0 de P com irrigação 1x, Al foi superior a Ce, enquanto com frequência de irrigação de 2x Ce foi superior a Al.

Comparando-se as médias das doses de P, dentro de cada inóculo e frequência de irrigação, verificou-se que com o inóculo Ce irrigado 1x, a aplicação da dose de 30 mg dm^{-3} foi significativamente superior ($p < 0,05$) à dose 0 de P. Já com irrigação 2x por semana, a dose 0 proporcionou DM significativamente superior ($p < 0,05$) à dose 30 mg dm^{-3} . Para a inoculação com Al e reposição 1x por semana, maior DM foi verificada com a adição de 30 mg dm^{-3} . O mesmo foi observado na reposição 2x por semana.

Considerando-se as médias das diferentes frequências de irrigação, dentro de cada inóculo e dose de P, verificou-se que na inoculação com Ce e dose de 30 mg dm^{-3} , maior DM foi verificada com a reposição de água 1x por semana. Na dose 0 de P, maior DM foi verificada com reposição 2x por semana. Na inoculação com Al e dose de 30 mg dm^{-3} , maior DM foi verificada na reposição 1x por semana. Na dose 0 de P, não há diferença significativa entre as frequências de reposição de água.

Figura 6: Dependência micorrízica de mudas de *Cedrela fissilis*



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 6: Dependência micorrízica de mudas de *Cedrela fissilis* aos duzentos dias de

crescimento, sob efeito da inoculação com os FMAs *Claroideoglonus etunicatum* (Ce) e *Acaulospora longula* (Al) e submetidas a duas doses de P (0 ou 30 mg dm⁻³) e diferentes frequências da irrigação (uma vez por semana – 1x e duas vezes por semana – 2x). Letras maiúsculas compararam as médias do fator inoculação dentro de cada dose de P e frequência de irrigação; letras minúsculas comparam as médias do fator doses de P dentro de cada inóculo e frequência de irrigação; letras minúsculas com apóstrofe compararam as médias do fator frequência de irrigação em cada inoculação e dose de P. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$).

Tabela 1: Correlação de Pearson

	Inóculos	MS	P _N	C _i	EUA	K	SPAD	Rfd	Q _y _{max}	ETR	Colon.	Esporos	
*	MS	Ce	1	0.496 ^{ns}	0.0666 ^{ns}	0.469 ^{ns}	0.327 ^{ns}	0.126 ^{ns}	0.137 ^{ns}	0.374 ^{ns}	0.146 ^{ns}	0.764*	0.492 ^{ns}
		Al	1	-0.322 ^{ns}	0.254 ^{ns}	0.186 ^{ns}	-0.251 ^{ns}	-0.668*	-0.289 ^{ns}	-0.235 ^{ns}	-0.220 ^{ns}	0.052 ^{ns}	0.776*
		Ct	1	0.175 ^{ns}	-0.191 ^{ns}	0.301 ^{ns}	0.200 ^{ns}	0.288 ^{ns}	-0.033 ^{ns}	0.400 ^{ns}	0.253 ^{ns}	--	--
P _N	Ce			-0.621*	0.934*	0.916*	0.575*	-0.055 ^{ns}	0.635*	0.696*	0.151 ^{ns}	0.040 ^{ns}	
	Al			-0.810*	0.698*	0.987*	0.331 ^{ns}	0.870*	0.384 ^{ns}	0.118 ^{ns}	-0.564 ^{ns}	-0.168 ^{ns}	
	Ct			-0.110 ^{ns}	0.698*	0.811*	-0.138 ^{ns}	-0.189 ^{ns}	0.462 ^{ns}	0.562 ^{ns}	--	--	
C _i	Ce				-0.709*	-0.842*	-0.629*	0.375 ^{ns}	-0.124 ^{ns}	-0.275 ^{ns}	0.011 ^{ns}	0.088 ^{ns}	
	Al				-0.714*	-0.861*	-0.253 ^{ns}	-0.738*	-0.306 ^{ns}	-0.040 ^{ns}	0.747*	0.113 ^{ns}	
	Ct				-0.289 ^{ns}	-0.640*	-0.031 ^{ns}	-0.126	-0.0683	-0.115	--	--	
EUA	Ce					0.916*	0.51 ^{ns}	-0.128 ^{ns}	0.575*	0.586*	0.215 ^{ns}	-0.007 ^{ns}	
	Al					0.744*	0.018 ^{ns}	0.640*	0.321 ^{ns}	-0.0182	-0.675*	0.379 ^{ns}	
	Ct					0.664*	-0.116 ^{ns}	0.194 ^{ns}	0.120 ^{ns}	0.035 ^{ns}	--	--	
K	Ce						0.688*	-0.118 ^{ns}	0.458 ^{ns}	0.559 ^{ns}	0.114 ^{ns}	0.0824 ^{ns}	
	Al						0.232 ^{ns}	0.903*	0.305 ^{ns}	0.023 ^{ns}	-0.646*	-0.105 ^{ns}	
	Ct						-0.207 ^{ns}	0.036 ^{ns}	0.295 ^{ns}	0.436 ^{ns}	--	--	
SPAD	Ce							-0.161 ^{ns}	-0.084 ^{ns}	0.241 ^{ns}	0.205 ^{ns}	0.392 ^{ns}	
	Al							0.021 ^{ns}	0.490 ^{ns}	0.530 ^{ns}	0.044 ^{ns}	-0.431 ^{ns}	
	Ct							-0.227 ^{ns}	0.507 ^{ns}	0.296 ^{ns}	--	--	
Rfd	Ce								0.516 ^{ns}	0.372 ^{ns}	-0.319 ^{ns}	-0.162 ^{ns}	
	Al								0.042 ^{ns}	-0.283 ^{ns}	-0.675*	-0.208 ^{ns}	
	Ct								-0.355 ^{ns}	-0.374 ^{ns}	--	--	
Q _y _{max}	Ce									0.810*	-0.251 ^{ns}	-0.455 ^{ns}	
	Al									0.915*	0.005 ^{ns}	-0.161 ^{ns}	
	Ct									0.929*	--	--	
ETR	Ce										-0.361 ^{ns}	-0.360 ^{ns}	
	Al										0.289 ^{ns}	-0.184 ^{ns}	
	Ct										--	--	
Colon.	Ce											0.699*	
	Al											-0.010 ^{ns}	
	Ct											1*	
Esporos	Ce											1	
	Al											1	
	Ct											1	

Correlações significantes ($p \leq 0.05$); ^{ns} Correlações não significantes ($p \leq 0.05$)

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Tabela 1: Correlação de Pearson entre massa seca total (MS), taxa fotossintética líquida (P_N), concentração interna de carbono (C_i), Eficiência no uso da água (EUA), eficiência instantânea da carboxilação (k), teor relativo de clorofila (SPAD), razão de decréscimo da fluorescência (Rfd), eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II (Q_y_{max}), taxa de transporte de elétrons (ETR), porcentagem de colonização micorrizica de raiz (Colon.) e número de esporos (Esporos) nas diferentes condições de inoculação (Ce, Al e Ct).

4. DISCUSSÃO

Os resultados encontrados para as variáveis estudadas foram dependentes das interações verificadas entre os fatores. Desta forma, a inoculação com FMAs em mudas de *C. fissilis* dispensou o uso do P e permitiu menor frequência de reposição da lâmina de água, mas de maneira não concomitante, sendo que os efeitos variaram em função da espécie de FMA inoculada. O maior incremento de biomassa em plantas inoculadas em relação às não inoculadas foi observado na inoculação com Ce em 30 mg dm⁻³ P e irrigado 1x, seguido de Al em 30 mg dm⁻³ P e irrigado 1x e Ce em 0 de P e irrigado 2x.

Os efeitos benéficos da inoculação micorrízica arbuscular otimizando o crescimento das plantas tendem a sobressair em baixos teores ou na ausência de aplicação de P (CARNEIRO *et al.*, 2011; FRANÇA *et al.*, 2014), mesmo em situações de escassez de água (RONGA *et al.*, 2019), justamente porque aprimoram os mecanismos de utilização de água e absorção de nutrientes. Também há relatos da promoção de tolerância de espécies vegetais ao excesso de água (ABDEL-SALAM, ALATAR e EL-SHEIKH, 2018; BARROS *et al.*, 2018).

A frequência de reposição de água não interferiu em casos de inoculação na dose de 30 mg dm⁻³ de P. Porém na dose de 0 de P, houve efeito da reposição de água 2x por semana para aumento de biomassa. Os FMAs intensificam a absorção de água quando a simbiose estabelecida é eficiente, atuando no incremento de biomassa vegetal (FOLLI-PEREIRA *et al.*, 2012), promovendo melhorias no metabolismo fotossintético e contribuindo na construção de maior área foliar (BARROS *et al.*, 2018).

Em 0 de P os efeitos dos FMAs foram mais pronunciados com a frequência de irrigação de 2x para Ce. Assim, a eficiência dos FMAs no aproveitamento da água foi maior com a dose de 30 mg dm⁻³ de P. Com 30 mg dm⁻³ de P a dependência micorrízica, para ambos os inóculos, foi maior na reposição da irrigação 1x por semana. Nessa condição, pode ter ocorrido o aprimoramento da capacidade de retenção de água nos tecidos (KUMARA, CHOUDHARYB e SURIC, 2016). Por outro lado, o aumento da disponibilidade de P e de água no solo pode acarretar uma alteração da quantidade de P absorvido, levando as mudas a apresentar menor necessidade no estabelecimento de simbiose com FMAs. Isso ocorre porque em maiores concentrações de P os FMAs apresentam redução no número de hifas e de arbúsculos, reduzindo a absorção de nutrientes pela simbiose (GARCIA, MENDONZA e POMAR, 2008). Entretanto, a inoculação com Al com a dose de 30 mg dm⁻³ de P e irrigada 2x permitiu maior acúmulo de biomassa seca.

Essas particularidades de resposta de acordo com a espécie de FMA inoculada, já foram descritas para diferentes espécies vegetais (OLIVEIRA, SILVA e RIOS, 2015; SILVA *et al.*, 2017) e dependem fundamentalmente do ambiente de cultivo, associado aos macro e micro nutrientes e simbioses envolvidos (LIMA *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2017). Os FMAs formam hifas que envolvem e aumentam o volume de substrato explorado pelas raízes, transportando água e nutrientes para o interior da planta e favorecendo o seu desenvolvimento (FOLLI-PEREIRA *et al.*, 2012; NADEEM *et al.*, 2014). De modo geral, é frequente observar aumento de biomassa seca nos vegetais pela influência da simbiose com FMAs (CARNEIRO *et al.*, 2011; RODRIGUES, BARROSO e FIQUEIREDO, 2018). As respostas de acúmulo de biomassa das mudas de *C. fissilis* em relação às plantas não inoculadas variaram de acordo com a espécie de fungos inoculada.

A quantidade de esporos e a colonização micorrízica são influenciadas por aspectos relacionados à espécie vegetal cultivada e pelas práticas de manejo (CORDEIRO *et al.*, 2005). Observou-se que a biomassa seca total apresentou correlação direta com a taxa de colonização (Ce) o número de esporos (Al) (Tabela 1). No caso de Al, pode-se afirmar que o maior número de esporos se relacionou ao maior crescimento das mudas. Na inoculação com Ce o substrato inóculo apresentou menor contagem inicial de esporos, logo o aumento de biomassa promovida pela inoculação deste FMA, provavelmente se deva à ação adaptativa desta espécie no ambiente de cultivo do presente estudo.

Os benefícios da inoculação com FMAs foram observados em diversos parâmetros fisiológicos com a adição da solução contendo a dose de 0 mg de P em relação a 30mg P, incluindo P_n , EUA e k, ocorrendo também influência sobre o conteúdo relativo de clorofila. Nas mudas inoculadas com Ce verificou-se correlação direta entre os valores de colonização micorrízica, P_n , EUA, k, SPAD, ETR e QY_{max} (Tabela 1). Essa correlação demonstra a otimização da etapa fotoquímica pela inoculação com Ce, que esteve mais correlacionada com os parâmetros de desempenho fotossintético do que o tratamento Al. Em mudas inoculadas com Al houve correlação direta entre número de esporos, P_n , EUA, k e RFD (Tabela 1). Além disso, o teor de clorofila apresentado no tratamento Ce tem correlação positiva com k, sugerindo que a eficiência fotossintética e a fotossíntese foram intensificadas em virtude do aumento do teor de clorofila. Em contrapartida, no tratamento Ct, observou-se correlação direta entre P_n , k e EUA (Tabela 1).

Os valores de leitura SPAD neste trabalho podem indicar a existência de atuação positiva da inoculação micorrízica nos tratamentos Ce e Al, principalmente em 0 de P em

relação às plantas não inoculadas. A inoculação micorrízica favorece a concentração de pigmentos responsáveis pela fotossíntese nas folhas de diversas espécies (KONRAD *et al.*, 2014; LIU *et al.*, 2015). O desempenho fotossintético do PSII é determinado pela eficiência do transporte de elétrons através do fotossistema II e pode estar relacionado com a maior assimilação de CO₂ pelas plantas (CASSOL, FALQUETO e BACARIN, 2007). Assim, em mudas inoculadas com Ce, o aumento no conteúdo de clorofila provavelmente tenha contribuído para maior Rfd, maior k e também maior P_n. Por outro lado, em mudas inoculadas com Al, o teor de pigmentos ficou inalterado, embora o Rfd tenha sido otimizado, proporcionando maior P_n, que também esteve relacionada com maior k nessas mudas. Corroborando com as observações de Cruz *et al.*, (2014) a inoculação com FMAs aumentou a eficiência do fotossistema II das mudas.

A maior eficiência fotossintética em plantas inoculadas com FMAs tem sido relacionada com a maior produção de antioxidantes que protegem o aparato fotossintético, além da maior atividade das enzimas do ciclo de Calvin otimizando a etapa de carboxilação (CHEN *et al.*, 2017). Desta maneira, em plantas inoculadas tem se verificado maior atividade de enzimas antioxidantes, assim como maior produção de carotenoides e açúcares solúveis totais, que atuam como protetores dos fotossistemas (ABDEL-SALAM *et al.*, 2018; BARROS *et al.*, 2018). Por outro lado, é possível que o aumento difusão de CO₂ para os espaços intercelulares permita um considerável aumento da eficiência instantânea de carboxilação (k) (MACHADO *et al.*, 2005). Dessa maneira, o aumento de k nas mudas inoculadas pode se dever tanto à maior atividade das enzimas do ciclo do Calvin, com maior regeneração do RuBP (CHEN *et al.*, 2017), assim como à maior disponibilidade de CO₂ no mesofilo para ser carboxilado. Para Machado *et al.* (2005) o aumento da eficiência instantânea de carboxilação se relaciona com a maior taxa de assimilação de dióxido de carbono.

A eficiência no uso da água (EUA) se relaciona a capacidade da planta em aprimorar a assimilação de carbono em relação à perda por evapotranspiração e depende de características específicas da espécie vegetal e da interferência dos fatores ambientais (MEDRANO *et al.*, 2007). Neste trabalho foi possível apresentar o efeito dos FMAs sobre a EUA apresentando maiores valores em doses de 0 do que 30 mg dm⁻³ de P. Observou-se uma correlação positiva entre EUA, QY_{max}, ETR e Rfd nos tratamentos de inoculação Al e Ce (Tabela 1). Dessa maneira, nas mudas inoculadas as melhorias no rendimento do PSII, assim como na etapa de carboxilação, podem ter permitido maior produção de carbono com menor custo de recursos hídricos.

A atuação dos FMAs sobre as trocas gasosas e eficiência fotossintética de mudas de *C. fissilis* foi mais pronunciada na dose 0 de P. Isso demonstra que, sob as concentrações de P presentes no substrato, os FMAs tiveram sua atividade estimulada. Neste caso é importante ressaltar que, de modo geral, nas florestas tropicais os solos são pobres em nutrientes em comparação às regiões temperadas (JORDAN e HERRERA, 1981). Assim, as espécies nativas adaptadas a esta condição tendem a otimizar o uso do P e demais nutrientes, demonstrando que a quantidade de P presente naturalmente no substrato pode ter colaborado com estes resultados.

Por outro lado, na dose 30 mg dm⁻³ de P ocorreu redução das variáveis P_n , k , QY_{max} e ETR sob a frequência de reposição de água 2x por semana. Ou seja, em maior disponibilidade de água e adição de P, concomitantemente, ocorre redução nas trocas gasosas e fluorescência da clorofila nas mudas inoculadas. Apesar da redução nos parâmetros fisiológicos mencionados, não houve a mesma tendência para o acúmulo de biomassa dessas mudas na dose 30 mg dm⁻³. Os benefícios da inoculação com FMAs estão relacionados à maior condutância hidráulica de raízes, maior concentração de nutrientes e maior capacidade de aproveitamento de recursos (KILPELÄINEN *et al.*, 2019). Desta maneira, apresentam maior teor de carboidratos (WU, XIA, 2006; JAHROMI *et al.*, 2007; BARROS *et al.*, 2018), os quais poderão ser investidos para manutenção ou crescimento das plantas, além de produção de energia para ativação de mecanismos de defesa sob condições adversas. Os FMAs também induzem a maior produção de fitohormônios, permitindo que a planta seja melhor preparada para condições ambientais adversas (LIU *et al.*, 2016). Dessa maneira, sob 30 mg dm⁻³, os FMAs parecem ter estimulado outros parâmetros fisiológicos que garantiram o incremento de biomassa dessas mudas, principalmente no que se refere à melhor utilização dos recursos hídricos.

5 CONCLUSÃO

Na produção de mudas de *C. fissilis* o acúmulo de biomassa seca e parâmetros fisiológicos, são influenciados pelos fatores inoculação com FMAs, doses de P e frequência de reposição da lâmina de água de maneira não concomitante. Os efeitos variam em função da espécie de FMA inoculada.

A melhor combinação para produção de mudas com maior biomassa e maior sinergismo entre planta-microrganismo ocorre na inoculação com Ce na dose 30 mg dm⁻³ de P repondo água 1x por semana.

Os benefícios da inoculação com FMAs se correlacionam com maior eficiência do fotossistema II e conteúdo de clorofila nas mudas inoculadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES (Código de financiamento 001).

REFERÊNCIAS

ABDEL-SALAM, ALATAR, A.; EL-SHEIKH, M. A. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi alleviates harmful effects of drought stress on damask rose. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 25, p.1772-1780, 2018.

ALECRIM, A. O.; FRANÇA, A. C.; SANTOS, E. A.; MOREIRA, S. D.; LEAL, F. D. S.; TIBÃES, E. S. R. Interference by palisade grass on coffee seedlings inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 34, n. 4, p. 681-689, 2016.

ARAGÃO, V. P. M.; REIS, R. S.; SILVEIRA, V.; SANTA-CATARINA, C. Putrescine promotes changes in the endogenous polyamine levels and proteomic profiles to regulate organogenesis in *Cedrela fissilis* Vellozo (Meliaceae). **Plant Cell Tissue and Organ Culture** 464 (PCTOC) 130, p. 495-505, 2017.

BARROS, V.; SANTOS, M.; RAMOS, D. G.; FALCÃO, H. M.; SANTOS, M. G. Arbuscular mycorrhizal fungi improve photosynthetic energy use efficiency and decrease foliar construction cost under recurrent water deficit in woody evergreen species. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 127, p. 469-477, 2018.

BOMFIM-SILVA, E. M. ; SILVA, T. J. A.; CABRAL, C. E. A.; KROTH, B. E.; REZENDE, D. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 2, p. 180-186, abr./jun. 2011.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ, 221 p., 2016.

CARNEIRO, R. F. V.; MARTINS, M. A.; ARAUJO, A. S. F. ; NUNES, L. A. P. L. . Inoculação micorrízica arbuscular e adubação fosfatada no cultivo de forrageiras consorciadas. **Archivos de Zootecnia**, v. 60, p. 1191-1202, 2011.

CASSOL, D. FALQUETO, A. R.; BACARIN, M. A. Influência da Adubação Nitrogenada nas Características da Fluorescência da Clorofila em Arroz. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 573-575, jul. 2007.

CHEN, S., ZHAO, H., ZOU, C., LI, Y. S., CHEN, Y. F., WANG, Z. H., JIANG, Y.; ZHAO, P.; WANG, M.; AHAMMED, G. J. Combined inoculation with multiple arbuscular mycorrhizal fungi improves growth, nutrient uptake and photosynthesis in cucumber seedlings. **Frontiers in Microbioly**, 8, 2516, 2017.

CORDEIRO, S. M. A.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SAGGIN JUNIOR, O. J. Colonização e densidade de esporos de fungos micorrízicos em dois solos do cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, Brasil, v. 35, n. 3, p. 147-153, 2005.

CRUZ, L. I. B.; CRUZ, M. C. M.; FERREIRA, E. A.; CASTRO, G. D. M.; ALMEIDA, M. O. Eficiência quântica do fotossistema II de mudas de abacaxizeiro 'imperial' em resposta a associação com *Piriformospora indica* e herbicidas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 36, n. 4, Dez. 2014.

CUSATIS, A. C.; MARTINEZ, D. T.; SILVA, L. D.; HIGA, A. R. Survival and growth of *Cedrela fissilis* (Vell.) in mixed species forest plantations. **Scientia Forestalis**, v.46, n. 119, p.357-366, 2018.

CUSATIS, A. C.; TRAZZI, P. A.; DOBNER JR, M. HIGA, A. R. Dendroecologia de *Cedrela fissilis* na Floresta Ombrófila Mista. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 33, n. 75, p. 287-297, jul./set. 2013.

FERNÁNDEZ, M. T. Fósforo: amigo o enemigo. **Revista ICIDCA** - Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, Ciudad de La Habana, Cuba, v. XLI, n. 2, p 51-57, 2007.

FOLLI-PEREIRA, M, S.; MEIRA-HADDAD, L. S. A.; BAZZOLLI, D. M. S.; KASUYA, M. C. M. Micorriza arbuscular e tolerância das plantas ao estresse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1663-1679, 2012.

FRANÇA, A. C.; CARVALHO, F. P.; FRANCO, M. H. R.; AVELAR, M.; SOUZA, B. P.; STURMER, S. Crescimento de mudas de cafeeiro inoculada com fungos micorrízicos arbusculares, **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife-PE v.9, n.4, p.506-511, 2014.

GARCIA, I. MENDOZA, R. POMAR, M. Deficit and excess of soil water impact on plant growth of *Lotus tenuis* by affecting nutrient uptake and arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Plant Soil**, 304, 117–131, 2008.

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**, Cambridge, v. 46, n.2, p. 235-244, 1963.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**. Oxford, v.84, n.3, p. 489-500, 1980.

HOYSTED, G. A.; KOWAL, J.; JACOB, A.; RIMINGTON, W. R.; DUCKETT, J. G.; PRESSEL, S. ORCHARD, S.; RYAN, M. H.; FIELD, K. J.; BIDARTONDO, M. I. A mycorrhizal revolution. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 44, p. 1–6, 2018.

JAHROMI, F.; AROCAL, R.; PORCELI, R.; RUIZ-LOZANOL, J. M. Influence of Salinity on the In Vitro Development of *Glomus intraradices* and on the In Vivo Physiological and Molecular Responses of Mycorrhizal Lettuce Plants. **Microbial Ecology**, v. 55, n.1, p. 45-53, 2007.

JORDAN, H.; HERRERA, R. Tropical rain forests: are nutrients really critical? **American Naturalist**, Chicago, v. 117, n. 2, p. 167-180, 1981.

KILPELÄINEN, J. BARBERO-LÓPEZ A.; ADAMCZYK, B.; APHALO, P. J. LEHTO T. Morphological and ecophysiological root and leaf traits in ectomycorrhizal, arbuscular-mycorrhizal and non-mycorrhizal *Alnus incana* seedlings. **Plant Soil**, 436:283–297, 2019.

KONRAD, M. L. F., FURLANI, P. R., CASSIOLATO, A. M. R., & DA SILVEIRA, A. P. D. Resposta do cafeeiro á inoculação de fungos micorrízicos arbusculares, em Latossolo Vermelho de cerrado. **Bioscience, Journal**, Uberlandia, v. 30, n. 4, p. 933-941, 2014.

KUMARA, A.; CHOUDHARYB, A. K.; SU, A. V. K. Influence of AM fungi, inorganic phosphorus and irrigation regimes on plant water relations and soil physical properties in okra (*Abelmoschus esculentus* L.) – pea (*Pisum sativum* L.) cropping system in Himalayan acid alfisol. **Journal of plant nutrition**, v. 39, n. 5, 666–682, 2016.

LIMA, K. B.; RITER NETTO, A. F.; MARTINS, M. A.; FREITAS, M. S. M. Crescimento, acúmulos de nutrientes e fenôis totais de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) inoculadas com fungos micorrízicos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 853-862, out./dez., 2015.

LIU, J.; GUO C.; CHEN, Z. L.; HE, J. D.; ZOU, Y. N. Mycorrhizal inoculation modulates root morphology and root phytohormone responses in trifoliolate orange under drought stress. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, 28:251–256, 2016.

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

MACHADO, E. C.; SCHMIDT, T. P.; MEDINA, C. L.; RIBEIRO, R. V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 12, p. 1161- 1170, 2005.

MARTINELLI, G.; MORAES, M. A.; Livro Vermelho da Flora do Brasil. 1.ed, Rio de Janeiro: **CNCFLORA: Andrea Jakobsson**: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 1100p., 2013.

MASETTO, T. E.; FARIA, J. M.; FRAIZ, A. C. R. Re-induction of desiccation tolerance after germination of *Cedrela fissilis* Vell. Seeds. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v.86, n.3, 2014.

MEDRANO, H.; BOTA, J.; CIFRE, J.; FLEXAS, J.; RIBAS-CARBÓ, M.; GULIAS, J. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. **Investigaciones Geograficas**, n. 43, p. 63-84, 2007.

MMA. 2014. Portaria nº 443 de 17 de dezembro de 2014. Lista nacional oficial das espécies da Flora ameaçadas de extinção. Diário Oficial da União, Seção 1, nº 245. Pp. 110-121.

NADEEM, S. M.; AHMAD, M.; ZAHIR, Z. A.; JAVAID, A.; ASHRAF, M. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop

productivity under stressful environments. **Biotechnology advances**, New York, v. 32, n. 2, p. 429-448, 2014.

OLIVEIRA, J. R. G.; SILVA, E. M.; RIOS T. T. Response of an endangered tree species from Caatinga to mycorrhization and phosphorus fertilization. **Acta Botanica Brasilica**, v. 29, n.1, p. 94-102, 2015.

PASQUALINI, D. P.; UHLMANN, A.; STURMER, S. L. Arbuscular mycorrhizal fungal communities influence growth and phosphorus concentration of woody plants species from the Atlantic rain forest in South Brazil. **Forest Ecology and Management**, Blumenau-SC, v. 245, n. 1-3, p. 148–155, jun. 2007.

RODRIGUES, L. A.; BARROSO, D. G.; FIGUEIREDO, F. A. M. A. Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e na nutrição mineral de mudas de *Tectona grandis* L. F. **Ciência Florestal**, Santa Maria , v.28, n.1, jan./mar. 2018.

RODRIGUES, L. G. S.; GOI, S. R.; RODRIGUES, F. M. Associação micorrízica como uma estratégia para o estabelecimento de espécies em áreas impactadas. **Journal of bioenergy and food science**, Macapá, v. 1, n.1: p. 7-19, abr./jun. 2014.

RONGA, D.; CARADONIA, F. FRANZIA, E.; MORCIA, C.; RIZZA, F.; BEDECK, F. W.; GHIZZONI, R. TERZI, V. Interaction of Tomato Genotypes and Arbuscular Mycorrhizal Fungi under Reduced Irrigation, **Horticulturae**, v.5, n. 79, 2019.

SCHIAVO, J. A.; AZEVEDO, L. S.; LIMA, M. F.; OLIVEIRA, N. S.; LOPES, V. R. Crescimento inicial de cana-de-açúcar inoculada com fungos micorrízicos arbusculares e fósforo. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 41, n.2, p. 398-407, 2018.

SHENG, M.; TANG, M.; CHEN, H.; YANG, B.; ZHANG, F. & HUANG, Y. Influence of arbuscular mycorrhizae on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 55, p.18:287-296, 2008.

SILVA, E. P.; FERREIRA, P. A.; FURTINI-NETO, A. E.; SOARES, C. R. F.S. Micorrizas arbusculares e fosfato no desenvolvimento de mudas de cedro-australiano. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1269-1281, out./dez., 2017.

SUGANUMA, M. S.; BARBOSA, E. A.; CAVALHEIRO, A. L.; TOREZAN, J. M. D. Enriquecimento artificial da diversidade de espécies em reflorestamentos: análise preliminar de dois métodos, transferência de serapilheira e semeadura direta. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, Maringá, v. 30, n. 2, p. 151-158, 2008.

TAWARAYA, K. Arbuscular mycorrhizal dependency of different plant species and cultivars. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.49, n.5, p. 655–668, 2003.

WU, Q.; XIA, R. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. **Journal of Plant Physiology**, v. 163, p.417-425, 2006.

ZHU, X. C.; SONG, F. B. , XU, H. W. Arbuscular mycorrhizae improves low temperature stress in maize via alterations in host water status and photosynthesis. **Plant and Soil**, v.331 n. 1-2, p.129–137, 2010.