

Micorrização e respiração microbiana do solo sob o cultivo de maracujá e pinhão manso em diferentes regimes hídricos

Mycorrhization and microbial respiration in soil under passion fruit and jatropa in different water regimes

Ane Gabriele Vaz Souza¹ (ORCID 0000-0002-4215-1662), Layanara Oliveira Faria² (ORCID 0000-0001-5318-2977), Gabriela Aparecida Beserra² (ORCID 0000-0001-5036-4230), Gabriela Gomes da Silva² (ORCID 0000-0001-9640-3151), Larissa Pacheco Borges² (ORCID 0000-0002-8044-7755), Fernanda Vaz Dias² (ORCID 0000-0002-6356-9101), Fábio Santos Matos² (ORCID 0000-0002-7666-006X), Talles Eduardo Borges dos Santos^{2*} (ORCID 0000-0003-4221-2012)

¹Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, Brasil.

²Universidade Estadual de Goiás, Ipameri, GO, Brasil. *Autor para correspondência: talles.santos@ueg.br

Submissão: 09/12/2021 | Aceite: 21/01/2022

RESUMO

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e a população microbiana do solo ocupam papel de destaque em amenizar os efeitos causados pelo estresse hídrico em diversas culturas, entretanto se faz necessário estabelecer parâmetros sobre a dinâmica da interação desses microrganismos com as plantas em condições de estresse. Diante do exposto, o trabalho teve por objetivo avaliar a micorrização e a respiração microbiana do solo cultivado com mudas de maracujá amarelo e pinhão manso submetidas a diferentes níveis de água. O experimento foi realizado em vasos na casa de vegetação localizada na Universidade Estadual de Goiás, unidade de Ipameri. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, e analisado em um esquema fatorial 2 x 7 sendo duas espécies de plantas (maracujá e pinhão manso) e sete níveis de fornecimento de água (25%, 50%, 75%, 100%, 125%, 150% e 175%) em relação a capacidade de campo (CC) do solo com cinco repetições, totalizando 70 parcelas experimentais de cultivo. Foram avaliadas a respiração microbiana do solo (RM), número de esporos micorrízicos (ESP) e colonização micorrízica (CM). Em termos de RM os solos responderam de forma distinta a alteração da umidade do solo, onde a microbiota do solo com pinhão manso se mostrou mais adaptada até aos 175% da CC que do maracujá. A condição de excesso hídrico provocou uma diminuição no ESP do solo de ambas a culturas, porém com efeito sendo mais significativo na cultura do maracujá que apresentou uma média de 77,2 esporos 50 g⁻¹ de solo. A CM do pinhão manso e do maracujazeiro foram afetadas negativamente com o aumento dos níveis de umidade do solo, porém o pinhão manso apresentou em média uma taxa de CM 38,5% maior que o maracujá. De maneira geral a microbiota do solo e os FMAs sob mudas de pinhão manso responderam melhor ao estresse hídrico.

PALAVRAS-CHAVE: capacidade de campo; fungos micorrízicos; microrganismos; *Passiflora edulis*.

ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and the soil microbial population occupy a prominent role in mitigating the effects caused by water stress in several crops. However, it is necessary to establish parameters on the dynamics of the interaction of these microorganisms with plants under stress conditions. Given the above, this study aimed to evaluate the mycorrhization and microbial respiration of soil cultivated with yellow passion fruit and jatropa seedlings subjected to different water levels. The experiment was carried out in pots in a greenhouse located at the State University of Goiás, Ipameri unit. The design used was completely randomized and analyzed in a 2 x 7 factorial scheme with two plant species (passion fruit and *Jatropha curcas*) and seven levels of water supply (25%, 50%, 75%, 100%, 125%, 150% and, 175%) in relation to the field capacity (FC) of the soil with five replications, totaling 70 experimental cultivation plots. In addition, soil microbial respiration (MR), number of mycorrhizal spores (SPO) and mycorrhizal colonization (MC) were also evaluated. In terms of MR, the soils responded differently to changes in soil moisture, where the microbiota of the soil with *Jatropha curcas* was more adapted up to 175% of CC than that of passion fruit. The excess water condition caused a decrease in the SPO of the soil of both crops, but with an effect being more significant in the passion fruit crop, which presented an average of 77.2 spores 50 g⁻¹ of soil. The MC of *Jatropha curcas* and passion fruit were negatively affected with the increase of soil moisture levels, however, the *Jatropha curcas* presented an average rate of MC 38.5% higher than the passion fruit. In general, the soil microbiota and the AMF under *Jatropha* seedlings responded better to water stress.

KEYWORDS: field capacity; mycorrhizal fungi; microorganisms; *Passiflora edulis*.

INTRODUÇÃO

A fruticultura brasileira é um setor de grande importância econômica e social pela geração de renda e empregos devido as condições climáticas favoráveis que possibilitam a produção de frutas durante todo o ano. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas com produção aproximada de 40 milhões de toneladas ano⁻¹ em 2,3 milhões de hectares. O setor gera 5,6 milhões de empregos diretos ocupando 27% da mão de obra agrícola no país (MAPA 2018).

O cultivo do maracujá tem grande importância social pela necessidade de mão de obra durante o ciclo, principalmente nos tratos culturais, colheita e comercialização garantindo a permanência do homem no campo (OLIVEIRA et al. 2017). Segundo o IBGE (2020), o Brasil é o maior produtor mundial de maracujá e os estados com maiores produções são Bahia, Ceará e Santa Catarina, responsáveis por 56% da produção nacional. Atualmente a produção nacional é de 690 mil toneladas com uma área plantada de 46 mil hectares e uma rentabilidade de aproximadamente 1,37 bilhões de reais para a economia brasileira.

O maracujá se caracteriza por não haver desperdício de seus componentes, utiliza-se desde sua parte vegetativa até seu fruto (polpa, sementes e cascas), assim como é de uso múltiplo, pode ser empregada tanto na alimentação como para produção de cosméticos e remédios (FALEIRO & JUNQUEIRA 2016).

Por outro lado, na agricultura, tem se a busca por combustíveis renováveis visto que os combustíveis fósseis são recursos naturais finitos e possuem uma alta capacidade poluidora. A exploração de formas alternativas de energia não poluentes abre oportunidades para o Brasil desenvolver tecnologia para explorar economicamente a sua biomassa, por dispor de solo e clima adequados ao cultivo de espécies promissoras como o pinhão manso (MATOS et al. 2018). O biodiesel derivado da biomassa ou óleo extraído de *Jatropha curcas*, é uma alternativa nos países tropicais ou subtropicais em substituição de combustíveis convencionais (HAMZAH et al. 2020). A cultura apresenta produção de óleo de boa qualidade e custo de processamento mais baixo, assim como exibe um maior percentual de ácidos graxos mono e poliinsaturados favorece seu uso como biodiesel (EWUNIE et al. 2021).

Contudo, para se obter alta produtividade de sementes em plantio comercial a planta necessita de água e exige solos férteis e com boas condições físicas. Logo, a irrigação e a correção da acidez e da fertilidade do solo são fatores decisivos para se obter sucesso e lucratividade com a cultura (HORSCHUTZ et al. 2012).

Para incrementar a produtividade de diversas culturas os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) podem ser considerados uma alternativa (FOLLI-PEREIRA et al. 2012), uma vez que plantas micorrizadas quando submetidas a períodos de estresse hídrico aumentam a densidade das raízes bem como o micélio externo, permitindo maior exploração e contato com o solo, facilitando a absorção de água (ABDEL-SALAM et al. 2018). Os FMAs reduzem também os efeitos adversos em períodos de seca atuando na planta por meio de mecanismos fisiológicos onde alteram a condutância estomática e a atividade das enzimas antioxidante e reduzem o dano peroxidativo (LI et al. 2019).

Na condição de estresse hídrico os FMAs podem formar esporos que são estruturas de propagação ou resistência dos fungos em condições adversas. Estes podem ser estimulados pelos exsudados das raízes de plantas, induzindo-os a germinação formando as hifas que penetram nas raízes, instituindo uma simbiose mutualística, contribuindo assim para o crescimento vegetal em situação de déficit hídrico (OLIVEIRA et al. 2019).

Os FMAs também podem estimular a biomassa microbiana do solo (QIN et al. 2016) e respiração microbiana do solo (SINGH et al. 2013) visto que produzem hifas extra radiculares com nichos ricos em nutrientes para colonização e crescimento de outros microrganismos do solo, em particular bactérias (QIN et al. 2016). Assim, vários membros da família *Glomeraceae* na qual os FMAs fazem parte, aumentam a abundância de *Firmicutes*, *Streptomyces* e bem como membros da família *Oxalobacteraceae* (SCHEUBLIN et al. 2010).

A respiração microbiana do solo (RM) é um processo que reflete a atividade biológica da comunidade microbiana do solo, sendo definida como a produção de CO₂ ou o consumo de O₂ como resultado de processos metabólicos de organismos vivos do solo (ARAÚJO et al. 2012), a mesma depende do estado fisiológico da célula microbiana, a qual é influenciada por fatores de condição do solo, como a umidade, a temperatura, a estrutura, a disponibilidade de nutrientes, a textura, a relação carbono e nitrogênio e a presença de resíduos orgânicos (SILVA et al. 2010). Segundo BOROWIK & WYSZKOWSKAOU (2016) solos excessivamente úmidos ou secos podem impactar negativamente atividade microbiana e enzimática, criando condições com pouco oxigênio em situação de encharcamento.

Deste modo, o trabalho teve como objetivo avaliar a micorrização e atividade respiratória da microbiota do solo cultivado com mudas de maracujá amarelo e pinhão manso submetidas a diferentes níveis de água.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação localizada na Universidade Estadual de Goiás, unidade de Ipameri (Lat. 17° 42' 59,12 S, Long. 48°08'40,49"W, Alt. 773 m), Ipameri, GO. A região possui clima tropical com inverno seco e verão úmido (Aw) de acordo com a classificação de Köppen e temperatura média de 20 °C (ALVARES et al. 2013). O solo utilizado para o experimento foi de uma área de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura média (EMBRAPA 2018), sob plantio direto coletado na profundidade de 0-20 cm, no qual foi passado em peneiras de 2 mm, homogeneizado sem esterilização e colocados em vasos de forma aleatória com a capacidade para 5 Kg juntamente com areia e esterco na proporção de 3:1:1, respectivamente.

Com substrato preparado foram semeadas três sementes por vaso de maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims) e da mesma forma procedeu o semeio do pinhão manso (*J. curcas*), após emergência e estabelecimento das mesmas foi feito desbaste deixando apenas uma planta por vaso. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, e analisado em um esquema fatorial 2 x 7 sendo duas espécies de plantas e sete níveis de fornecimento de água referentes a 25%, 50%, 75%, 100%, 125%, 150% e 175% em relação a capacidade de campo (CC) do substrato com cinco repetições, totalizando 70 parcelas experimentais de cultivo. Após 52 dias de cultivo, as mudas foram retiradas dos vasos e seguiu as análises microbiológicas do solo de cada cultura.

A avaliação da respiração microbiana (RM) foi estimada pela quantidade de C-CO₂ liberado do solo, seguindo metodologia de ANDERSON & DOMSCH (1993), foram peneiradas 100 g de cada amostra de solo, estas colocadas em fracos de vidro com tampa de rosca, no centro destes foi colocado um frasco contendo 10 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹, o período de incubação foi de quatro dias, após foi realizada a titulação empregando HCl 0,1 mol L⁻¹, sendo os valores expressos em mg C-CO₂ kg⁻¹ de solo dia⁻¹.

Para a análise quantitativa dos esporos micorrízicos, estes foram extraídos do solo por peneiramento úmido em malhas de 0,710 mm e 0,053 mm, centrifugados em água a 3.000 rpm por três minutos (GERDEMANN & NICOLSON 1963) e suspensos em sacarose 50% a 2.000 rpm por dois minutos (JENKINS 1964). Após a extração dos esporos, foram lavados quatro vezes com água destilada e armazenados em um recipiente plástico até a análise no laboratório. Para contagem dos esporos micorrízicos viáveis utilizou-se uma placa canelada de anéis concêntricos apropriada com o auxílio de um microscópio estereoscópio (40x), sendo que para a identificação dos esporos micorrízicos viáveis na contagem foram observadas as características morfológicas como cor, forma geral e comprimento e para confirmação os esporos eram retirados com o auxílio de uma pipeta Pasteur e depositados em lâminas e observados em microscópio ótico.

Na avaliação da colonização micorrízica, as raízes mais finas de cada planta foram separadas, lavadas em água corrente e preservadas em álcool 50%. Para a clarificação e coloração das raízes foi utilizado o método proposto por PHILLIPS & HAYMAN (1970), no qual consiste primeiramente na separação de 0,5 g de raízes e posteriormente a submissão ao aquecimento em solução de KOH a 10%, acidificação com HCl diluído e a coloração com azul de tripano a 0,05%. A quantificação foi feita pelo método da placa reticulada sob microscópio estereoscópio segundo GIOVANNETTI & MOSSE (1980), onde as raízes foram distribuídas homoganeamente sobre a placa com quadrantes de 1,1 x 1,1 cm, sendo contabilizados todos os segmentos, os que não continham e os que continham as estruturas fúngicas (arbúsculo e/ou vesículas) e que interceptavam as linhas da placa. A porcentagem de colonização foi determinada pela seguinte equação (1):

$$CM = \frac{sc}{sn+sc} \times 100 \quad (1)$$

onde:

CM: colonização micorrízica (%)

sn: quantidade de segmentos não colonizados

sc: quantidade de segmentos colonizados

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, onde as culturas foram comparadas pelo teste de Tukey, os níveis de umidade do solo e interações ajustados a modelos de regressão linear e quadrática. O coeficiente de correlação de Pearson ($P < 0,05$) foi utilizado para avaliar a correlação entre todas as variáveis. Para realização das análises estatísticas foi utilizando o aplicativo R versão 3.6.1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a Tabela 1 o teste F foi significativo a 1% para variável esporos micorrízicos (ESP), evidenciando que as diferentes culturas (F1) e níveis de água no solo em relação a capacidade de campo (F2) influenciaram a esporulação micorrízica. Por outro lado, a respiração microbiana (RM) e a colonização micorrízica (CM) apresentaram interação significativa entre as diferentes fontes de variação (F1) x (F2).

Tabela 1. Valores de F para respiração microbiana (RM), número de esporos micorrízicos (ESP) e colonização micorrízica (CM) para pinhão manso (*J. curcas*) e maracujá (*P. edulis*) (F1) sob diferentes umidades no solo em relação a capacidade de campo (F2) e interação (F1 e F2) na produção de mudas.

Table 1. F values for microbial respiration (MR), number of mycorrhizal spores (SPO) and mycorrhizal colonization (MC) for jatropha (*J. curcas*) and passion fruit (*P. edulis*) (F1) cultures under different moistures in the soil in relation to field capacity (F2) and interaction (F1 and F2) in seedling production.

Fontes de Variação	RM	ESP	CM
	Efeito Simples		
Culturas (F1)	10,20**	104,73**	86,18**
Umidade do solo em relação a Capacidade de Campo (F2)	52,84**	9,85**	7,19**
	Interação		
(F1) x (F2)	2,38**	1,84 ^{ns}	6,15**
CV (%)	14,13	33,26	22,83

*, ** e ^{ns}: significativo a 5% e 1% de probabilidade e não-significativo respectivamente. CV: Coeficiente de Variação.

Os dados de RM para o solo cultivado com mudas de maracujá, apresentou um modelo de regressão linear crescente ($R^2=0,93$), em função do aumento dos níveis de água (Figura 1), ou seja, quanto maior a umidade do solo, maior a taxa de liberação de CO_2 pelos microrganismos do solo. Resposta semelhante foi encontrada por SILVA et al. (2017) em estudo na qual analisaram a dinâmica de serrapilheira e efluxo de CO_2 em uma floresta sazonalmente inundável no Pantanal Mato-Grossense, onde a média anual do efluxo foi de $1,11 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, e o menor valor foi encontrado no mês mais seco, $0,691 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Segundo BUTENSCHOEN et al. (2011), este comportamento pode ser explicado pela economia de energia da comunidade microbiana para manutenção em vez de crescimento em condições de déficit hídrico, comprovando que os padrões de liberação de CO_2 pelos microrganismos acompanham a dinâmica de umidade do solo, decaindo ou aumentando conforme as condições de umidade e temperatura do meio.

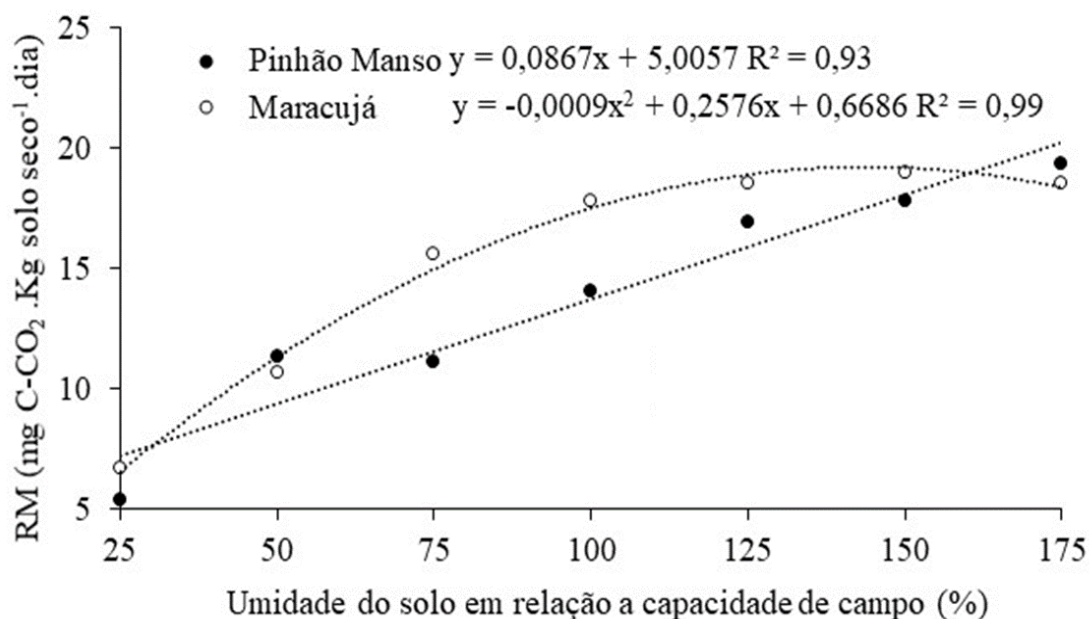


Figura 1. Respiração microbiana (RM) sob diferentes conteúdos de água no solo em relação a capacidade de campo, na produção de mudas de pinhão manso (*J. curcas*) e maracujá (*P. edulis*).

Figure 1. Microbial respiration (MR) under different soil water contents in relation to field capacity, in the production of jatropha (*J. curcas*) and passion fruit (*P. edulis*) seedlings.

Diferentemente do solo cultivado com mudas de maracujá, o solo com pinhão manso apresentou valores de RM com comportamento quadrático significativo ($R^2=0,99$) (Figura 1). Resultado este que corrobora com estudo onde avaliou-se os efeitos da seca prolongada na dinâmica das florestas tropicais (MATSUNAGA et al. 2018). Estes autores encontraram menor respiração nas parcelas de exclusão de umidade, onde a RM reduz indicando menor atividade ou morte de parte desses microrganismos.

Analisando a população e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção, FERREIRA et al. (2017) observaram a influência do regime hídrico na população microbiana do solo, onde com o aumento da umidade, houve também um incremento significativo na RM. Tal alteração é justificada pelo aumento da comunidade bacteriana do solo, uma vez que as comunidades de fungos, actinomicetos e diazotróficos associativos apresentaram quantitativamente pouca variação, o que pode explicar o aumento da RM até 143,1% de umidade do solo em relação a capacidade de campo (Figura 1).

Verifica-se na Figura 2 que o número de esporos micorrízicos em 50 g de solo no pinhão manso foi significativamente superior aos encontrados no maracujá. Esse resultado era esperado, pois, segundo CHAROENPAKDEE et al. (2010) o pinhão manso apresenta alta dependência micorrízica sendo usada como cultura armadilha para produção de esporos micorrízicos. Em outro estudo CAVALCANTE et al. (2001) avaliando a inoculação micorrízica em plantas de maracujá sob diferentes níveis de P no solo classificaram o maracujazeiro como facultativamente micotrófico, onde de maneira geral houve maior micorrização em níveis mais baixos de P, o que pode explicar em parte a menor micorrização das plantas de maracujá no presente trabalho.

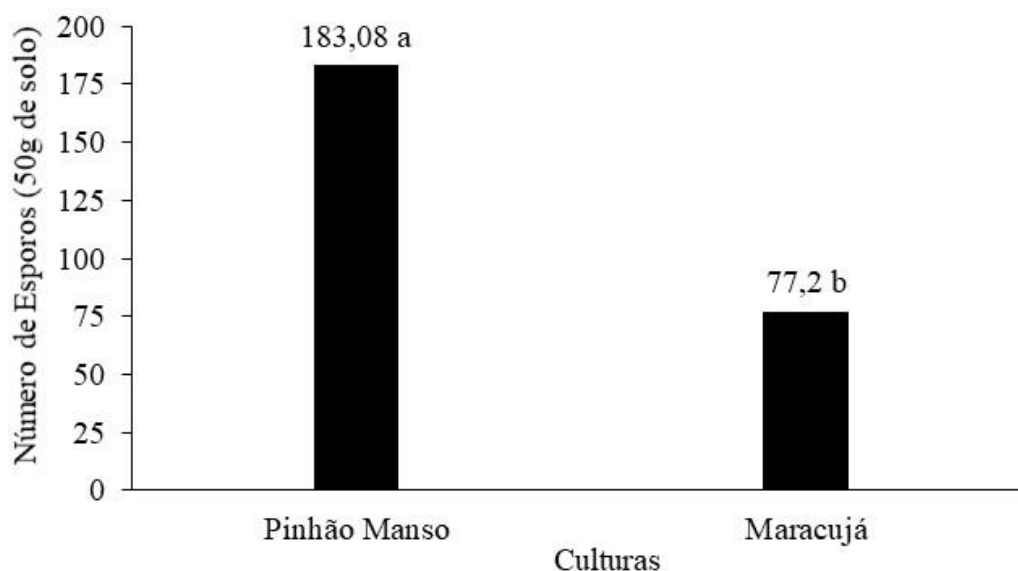


Figura 2. Número de esporos micorrízicos em 50 gramas de solo na produção de mudas de pinhão manso (*J. curcas*) e maracujá (*P. edulis*).

Figure 2. Number of mycorrhizal spores in 50 grams of soil in the production of *jatropha* (*J. curcas*) and passion fruit (*P. edulis*) seedlings.

Os diferentes níveis de água revelaram um modelo quadrático em relação ao número de esporos do solo cultivado com mudas de ambas as culturas (Figura 3). Com menor valor observado para nível de água a 108,24% da capacidade de campo, demonstrando que em situação de estresse há maior esporulação, no caso do presente estudo com escassez ou excesso de água no solo, em parte comportamento semelhante foi descrito por COSCOLIN et al. (2019) onde plantas de amendoim apresentaram menor densidade de esporos micorrízicos sobre escassez hídrica.

Autores como SILVA et al. (2019) avaliando a densidade de rizóbio e esporos micorrízicos em áreas impactadas pela exploração de petróleo, durante as estações seca e chuvosa do ano, sendo a menor densidade de esporos (1 esporo por 50 cm³ de solo) encontrada na estação chuvosa, e a mais alta (73 esporos por 50 cm³ de solo) na estação seca, MIRANDA et al. (2005) estudando fungos micorrízicos em leguminosas atribuíram uma maior esporulação ao aumento da concentração de nitrogênio na região rizosférica das plantas, o que pode explicar o observado no presente trabalho onde ambas as culturas em condições de estresse hídrico provavelmente deram continuidade das atividades fisiológicas aumentando a concentração de nitrogênio nas raízes.

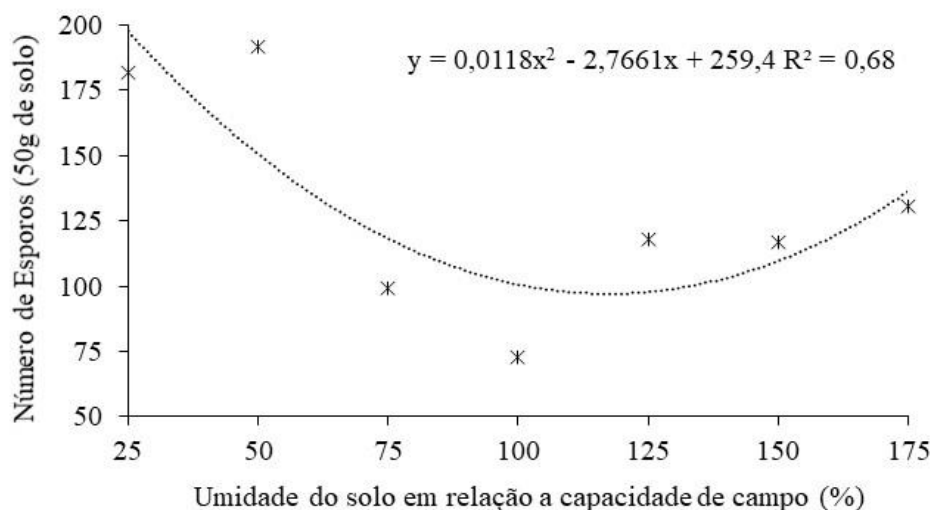


Figura 3. Número de esporos micorrízicos sob diferentes conteúdos de água no solo em relação a capacidade de campo, na produção de mudas de pinhão manso (*J. curcas*) e maracujá (*P. edulis*).

Figure 3. Number of mycorrhizal spores under different soil water contents in relation to field capacity, in the production of *jatropha* (*J. curcas*) and passion fruit (*P. edulis*) seedlings.

Por outro lado, GOMIDE et al. (2014) determinando a riqueza e abundância de esporos de FMA nas diferentes fitofisionomias do Pantanal, encontraram uma redução de 16 a 24% na abundância de esporos do período seco para chuvoso. Contudo, os mesmos autores encontraram resultados discrepantes ao nosso onde considerando uma situação de alagamento, identificaram baixo número de esporos em áreas de beira de lagoa e com alta saturação hídrica do solo. Fatores ecológicos como saturação de água, podem criar condições anaeróbicas e restritivas à esporulação dos FMAs em ambientes ripários, assim como alto teor de matéria orgânica no solo favorece a proliferação de microrganismos saprofitos atuarem como parasitas dos esporos (RUBIN & STURMER 2015).

De acordo com a Figura 4 as mudas de pinhão manso e maracujá apresentaram comportamentos distintos para colonização micorrízica, mostrando-se quadrático para mudas de pinhão manso e linear para o maracujá nos diferentes níveis de umidade, porém ambas apresentaram maiores valores de colonização micorrízica em condições de déficit. Tendência semelhante aos resultados encontrados nas mudas de maracujá foi observado por FAKHECH et al. (2019) que avaliando a tolerância ao estresse hídrico de duas espécies leguminosas utilizadas em programas de reflorestamento, demonstrou que a taxa de micorrização diminuiu significativamente com a redução da capacidade de campo.

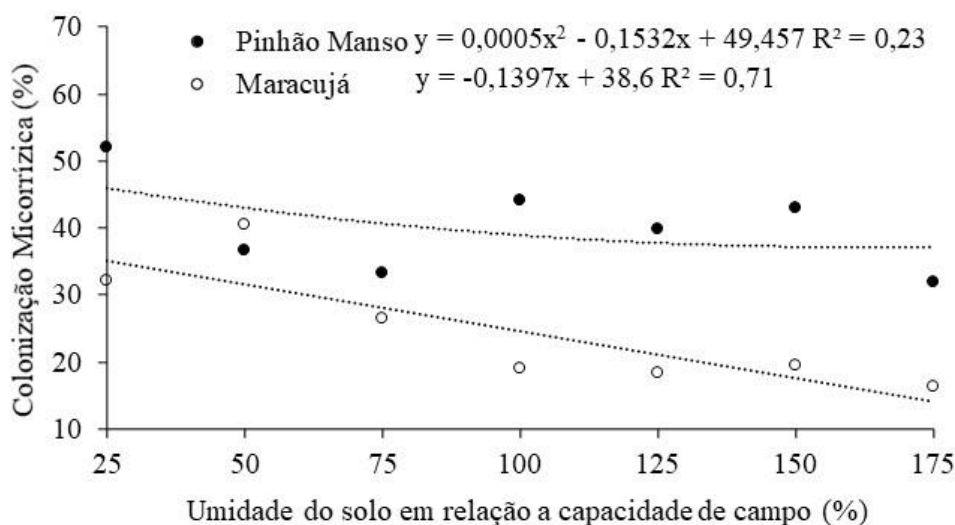


Figura 4. Colonização micorrízica sob diferentes conteúdos de água no solo em relação a capacidade de campo, na produção de mudas de pinhão manso (*J. curcas*) e maracujá (*P. edulis*).

Figure 4. Mycorrhizal colonization under different soil water contents in relation to field capacity, in the production of *jatropha* (*J. curcas*) and passion fruit (*P. edulis*) seedlings.

O resultado do presente trabalho pode ser explicado uma vez que o pinhão manso (KUMAR et al. 2010) e o maracujazeiro (VITORAZI FILHO et al. 2012) são culturas micorrízicas facultativas, e necessitam dessa associação micorrízica sob condições de estresse, contudo no presente trabalho o pinhão manso obteve sempre valores superiores, em média 38,5% maiores de colonização micorrízica em relação ao maracujá, indicando que dentre as duas culturas pode ser mais impactada pelo estresse hídrico.

No trabalho realizado por SABOYA et al. (2012), avaliando os efeitos da inoculação de quatro espécies de fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e nutrição de mudas de pinhão manso, os dados revelaram uma média de colonização das raízes de 54,4%, no entanto, no presente estudo todos os tratamentos apresentaram níveis de colonização micorrízica abaixo de 53% (Figura 4) o que podem ser considerados de médio a baixo, porém SCHIAVO et al. (2010) relata que taxas de colonização micorrízica de apenas 5%, já se mostraram suficientes para um bom desempenho da planta.

De acordo com a Tabela 2 houve uma correlação linear significativa negativa entre colonização micorrízica e respiração microbiana ($r=-0,36^*$) e ($r=-0,63^{**}$) para o solo cultivado com mudas de pinhão manso e maracujá, respectivamente. Neste sentido LI et al. (2008) analisando o efeito da inoculação de 17 cepas de bactérias do gênero *Paenibacillus* juntamente com a espécie de FMA *Glomus intraradices* em plantas de pepino observaram que em algumas houve uma supressão da colonização micorrízica por parte das bactérias, o que pode também ter ocorrido em parte no presente trabalho, na qual a presença de hifas extra radiculares liberaram exsudatos, aumentando a população de bactérias e por consequência a respiração microbiana do solo e essa por sua vez posteriormente vieram a suprir o processo de colonização micorrízica.

Tabela 2. Correlação linear simples entre os parâmetros microbiológicos estudados, na produção de mudas de pinhão manso (*J. curcas*) e maracujá (*P. edulis*).

Table 2. Simple linear correlation between the studied microbiological parameters in the production of jatropa (*J. curcas*) and passion fruit (*P. edulis*) seedlings.

Pinhão Manso (<i>J. curcas</i>)		
Variável	Número de esporos	Colonização Micorrízica (%)
Respiração Microbiana	-0,17 ^{ns}	-0,36 [*]
Número de esporos	-	-0,01 ^{ns}
Colonização micorrízica (%)	-	-
Maracujá (<i>P. edulis</i>)		
Variável	Número de esporos	Colonização Micorrízica (%)
Respiração Microbiana	-0,86 ^{**}	-0,63 ^{**}
Número de esporos	-	0,69 ^{**}
Colonização micorrízica (%)	-	-

* e **: significativo a 5% e 1% respectivamente; ^{ns} não significativo.

Por outro lado, BATTINI et al. (2017) inocularam cepas bacterianas advindas de esporos micorrízicos e aplicaram em plantas de milho, e observaram uma grande resposta de crescimento vegetal e na extensão das hifas extra radiculares principalmente pelo gênero *Streptomyces* demonstrando uma interação positiva.

O número de esporos apresentou uma relação inversamente proporcional com a atividade microbiana para o maracujá ($r=-0,86^{**}$) (Tabela 2), no qual é justificada por OLIVEIRA et al. (2019) onde relatam que plantas exsudam substâncias pelas raízes em condições de déficit hídrico, induzindo assim a germinação dos esporos, deste modo, com aumento da liberação de compostos pela raiz eleva-se a atividade microbiana, incentivando a germinação dos esporos, por conseguinte reduz o número dos mesmos no solo. Segundo GOMIDE et al. (2014) fator abiótico como umidade do solo vem demonstrando interferir na atividade da microbiota do solo, no caso dos esporos que são estruturas de resistência, sua permanência no sistema costuma ser reduzida no período de chuvas, quando as hifas são mais abundantes.

Ainda para a cultura do maracujá (Tabela 2) houve correlação linear significativa positiva entre número de esporos e colonização micorrízica ($r=0,69^{**}$), apesar de raros os trabalhos relatarem essa situação. Resultado semelhante foi encontrado por CORDEIRO et al. (2005) em áreas de gramíneas presente no cerrado, onde tal situação pode ser justificada segundo DANIELS HETRICK & BLOOM (1986) devido ao desenvolvimento rápido do sistema radicular rápido e abundante, o que proporciona uma boa área de contato entre raízes e propágulos de FMA e grande capacidade de fornecer fotossintatos ao fungo.

Contradizendo o presente trabalho SCABORA et al. (2011) relata que a umidade do solo promove interferência na simbiose, sendo que em ambientes mais úmidos favorece a germinação dos esporos, favorecendo alta colonização e baixa permanência dos mesmos no solo, o que é corroborado por MELLONI

et al. (2018) avaliando sistemas agroflorestais (Cafeeiro-Araucária) e seu efeito na microbiota do solo, onde também observaram uma relação oposta entre densidade de esporos e colonização micorrízica.

CONCLUSÃO

Em termos de RM a microbiota do solo sob mudas de pinhão manso se mostrou mais adaptada até aos 175% da CC que do maracujá a alteração da umidade.

A condição de excesso hídrico provocou uma diminuição no ESP do solo de ambas a culturas, porém com efeito sendo mais significativo sob mudas de maracujá.

A CM de mudas de pinhão manso e maracujá foram afetadas negativamente com o aumento dos níveis de umidade do solo

De maneira geral a microbiota do solo e os FMAs sob mudas de pinhão manso responderam melhor ao estresse hídrico.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Ipameri, ao Grupo de Estudo e Pesquisa em Biologia do Solo (GEPBIOS), ao Grupo de Pesquisa em Fisiologia da Produção Vegetal e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado (88882.4480018/2019-01) ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-SALAM E et al. 2018. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi alleviates harmful effects of drought stress on damask rose. *Saudi Journal of Biological Sciences* 25: 1772-1780.
- ALVARES CA et al. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22: 711-728.
- ANDERSON TH & DOMSCH KH 1993. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry* 21: 471-479.
- ARAÚJO EA et al. 2012. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. *Applied Research & Agrotechnology* 5: 187-206.
- BATTINI F et al. 2017. Facilitation of phosphorus uptake in maize plants by mycorrhizosphere bacteria. *Scientific Reports* 7: 1-11.
- BOROWIK A & WYSZKOWSKA J. 2016. Soil moisture as a factor affecting the microbiological and biochemical activity of soil. *Plant, Soil and Environment* 62: 250-255.
- BUTENSCHOEN O et al. 2011. Interactive effects of warming, soil humidity and plant diversity on litter decomposition and microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry* 43: 1902-1907.
- CAVALCANTE UMT et al. 2001. Mycorrhizal dependency of passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). *Fruits* 56: 317-324.
- CHAROENPAKDEE S et al. 2010. Compatible arbuscular mycorrhizal fungi of *Jatropha curcas* and spore multiplication using cereal crops. *Mycosphere* 1: 195-204.
- CORDEIRO MAS et al. 2005. Colonização e densidade de esporos de fungos micorrízicos em dois solos do cerrado sob diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 35: 147-153.
- COSCOLIN RBS et al. 2019. Associação de fungos micorrízicos no cultivo do amendoim sob deficiência hídrica. *Revista AgroFIB* 1: 85-94.
- DANIELS HETRICK BA & BLOOM J. 1986. The influence of host plant on production and colonization ability of vesicular-arbuscular mycorrhizal spores. *Mycologia* 78: 32-36.
- EMBRAPA. 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5.ed. Brasília: Embrapa Solos. 201p.
- EWUNIE GA et al. 2021. Factors affecting the potential of *Jatropha curcas* for sustainable biodiesel production: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 137: 1-18.
- FAKHECH A et al. 2019. Contributions of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi to growth of *Retama monosperma* and *Acacia gummifera* under water stress (case study: essaouira sand dunes forest). *Journal of Sustainable Forestry* 38: 686-696.
- FALEIRO FG & JUNQUEIRA NTV. 2016. Maracujá: O produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: Embrapa Cerrados. Livro técnico (INFOTECA-E). 341p.
- FERREIRA EPB et al. 2017. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. *Revista Ciência Agronômica* 48: 22-31.
- FOLLI-PEREIRA MS et al. 2012. Micorriza Arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36: 1663-1679.
- GERDEMANN JB & NICOLSON TH. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society* 46: 235-244.
- GIOVANNETTI JW & MOSSE B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *The New Phytologist* 84: 489-500.

- GOMIDE PHO et al. 2014. Fungos micorrízicos arbusculares em fitofisionomias do pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 38: 1114-1127.
- HAMZAH NHC et al. 2020. Potential of *Jatropha curcas* L. as Biodiesel Feedstock in Malaysia: A Concise Review. *Processes* 7: 1-11.
- HORSCHUTZ ACO et al. 2012. Crescimento e produtividade do pinhão-mansão em função do espaçamento e irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 16: 1093-1099.
- IBGE. 2020. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção Agrícola Nacional, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/15/0>. Acesso em: 05 nov. 2021.
- JENKINS WR. 1964. A Rapid Centrifugal-Flotation Technique for Separating Nematodes from Soil. *Plant Disease Report* 48: 692.
- KUMAR A et al. 2010. Influence of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi and salinity on seedling growth, solute accumulation, and mycorrhizal dependency of *Jatropha curcas* L. *Journal of Plant Growth Regulation* 29: 297-306.
- LI B et al. 2008. Differential effects of *Paenibacillus* spp. on cucumber mycorrhizas. *Mycological Progress* 7: 277-284.
- LI J et al. 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi alleviate drought stress in C3 (*Leymus chinensis*) and C4 (*Hemarthria altissima*) grasses via altering antioxidant enzyme activities and photosynthesis. *Frontiers in Plant Science* 10: 1-12.
- MAPA. 2018. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano Nacional de Desenvolvimento da Fruticultura. 41p.
- MATOS FS et al. 2018. Fatores que influenciam na produção de látex de *Jatropha curcas* L. *Bragantia* 77: 74-82.
- MATSUNAGA WK et al. 2018. Atributos microbiológicos de solo, relacionados às atividades da microfauna em solo na floresta Amazônica. *Anuário do Instituto de Geociências* 41: 630-638.
- MELLONI R et al. 2018. Sistemas agroflorestais cafeeiro-araucária e seu efeito na microbiota do solo e seus processos. *Ciência Florestal* 28: 784-795.
- MIRANDA JCC et al. 2005. Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 40: 1005-1014.
- OLIVEIRA JS et al. 2017. Importância dos maracujás (*Passiflora* L. spp.) e seu uso comercial. *Revista RG News* 3: 72-81.
- OLIVEIRA TC et al. 2019. Produtividade da soja em associação ao fungo micorrízico arbuscular *Rhizophagus clarus* cultivada em condições de campo. *Revista de Ciências Agroveterinárias* 18: 530-535.
- PHILLIPS JM & HAYMAN DS 1970. Improved procedures for clearing roots for rapid assessment of infection. *Transaction of British Mycology Society* 55: 158-161.
- QIN H et al. 2016. Arbuscular mycorrhizal fungal hyphae alter soil bacterial community and enhance polychlorinated biphenyls dissipation. *Frontiers in Microbiology* 7: 1-10.
- RUBIN JGKR & STURMER SL. 2015. Potencial de inóculo micorrízico e importância do comprimento do micélio para a agregação de solos de ambiente fluvial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 39: 59-68.
- SABOYA RCCF et al. 2012. Fungos micorrízicos arbusculares afetando a produção de mudas de pinhão-mansão na região Sul do Estado de Tocantins, Brasil. *Revista Ceres* 59: 142-146.
- SCABORA MH et al. 2011. Associação micorrízica em espécies arbóreas, atividade microbiana e fertilidade do solo em áreas degradadas de cerrado. *Ciência Florestal* 21: 289-301.
- SCHEUBLIN TR et al. 2010. Characterisation of microbial communities colonising the hyphal surfaces of arbuscular mycorrhizal fungi. *The Isme Journal* 4: 752-763.
- SCHIAVO JA et al. 2010. Composto orgânico e inoculação micorrízica na produção de mudas de pinhão manso. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 40: 322-329.
- SILVA FF et al. 2019. Characterization of rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi in areas impacted by gravel mining in Brazil. *Revista Caatinga* 32: 995-1004.
- SILVA LB et al. 2017. Serrapilheira e Efluxo de CO₂ do Solo em Floresta Sazonalmente Alagável no Pantanal Brasileiro. *Revista Ensaios e Ciências* 21: 178-182.
- SILVA RRD et al. 2010. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes – MG. *Revista Brasileira Ciência do Solo* 34: 1585-1592.
- SINGH PK et al. 2013. Glomalin: an arbuscular mycorrhizal fungal soil protein. *Protoplasma* 250: 663-669.
- VITORAZI FILHO JA et al. 2012. Crescimento de mudas de maracujazeiro-doce inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e bactérias diazotróficas sob diferentes doses de fósforo. *Revista Brasileira de Fruticultura* 34: 442-450.