



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM AGRONOMIA**

ANNE ROEFERO TOLOSA

**RESPOSTAS DA BATATA-DOCE À INOCULAÇÃO DE MICORRIZA E
RIZOBACTÉRIA**

Presidente Prudente - SP

2021



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM AGRONOMIA**

ANNE ROEFERO TOLOSA

**RESPOSTAS DA BATATA-DOCE À INOCULAÇÃO DE MICORRIZA E
RIZOBACTÉRIA**

Dissertação apresentada a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração: Fisiologia e Tecnologia da Produção Vegetal.

Orientador: Ana Cláudia Pacheco Santo

Presidente Prudente - SP

2021

632.32
T653r

Tolosa, Anne Roefero.

Respostas da batata-doce à inoculação de micorriza e rizobactéria / Anne Roefero Tolosa. – Presidente Prudente, 2021.

70 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, SP, 2021.

Bibliografia.

Orientador: Ana Cláudia Pacheco Santo.

1. *Ipomoea batatas* L. 2. Raízes Tuberosas. 3. Absorção Mineral. 4. Microrganismos Promotores do Crescimento em Plantas. 5. Biomassa Microbiana do Solo. I. Título.

TÍTULO: "RESPOSTAS DA BATATA-DOCE À INOCULAÇÃO DE MICORRIZA E RIZOBACTÉRIA"

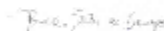
AUTOR(A): ANNE ROEFERO TOLOSA

ORIENTADOR(A): Dra. ANA CLAUDIA PACHECO SANTOS

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE em AGRONOMIA

Área de Concentração PRODUÇÃO VEGETAL, pela Comissão Examinadora:

Dra. Mônica Sartori de Camargo



APTA - Agência Paulista de Tecnologia do Agronegócio / Piracicaba (SP)

Dra. Rita de Cássia Lima Mazzuchelli



UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

Dra. Ana Claudia Pacheco Santos



UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

Data da realização: Presidente Prudente, 01 de setembro de 2021.

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado aos meus familiares, pais, irmã e avós que sempre me apoiaram, ao meu namorado que não mede esforços para me ajudar e estar comigo sempre, aos meus sogros que são minha segunda família e me acolhem como filha, meu grandioso agradecimento a todos!

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Cristiane, ao meu pai Sergio, à minha irmã Gabi, aos meus avós Ivanilde e Abilio, Neide e Paulo, ao apoio nessa jornada.

À Luciana do laboratório de solos pela amizade, apoio, auxílio e incentivo. Ao Diego do laboratório de microbiologia por toda assistência durante as análises e sempre que precisei.

Em especial a minha orientadora Prof.^a Dr.^a Ana Claudia Pacheco Santos que me acolheu durante o último ano e aceitou desafiar o tempo para iniciar um novo projeto, por compartilhar sua extraordinária sabedoria e me permitir conhecê-la e admirá-la ainda mais pela grande profissional e mulher que é.

A Prof.^a Dr.^a Rita de Cássia Mazzuchelli, outra mulher e profissional que admiro grandemente, sempre disposta a me auxiliar em tudo o que precisei.

Aos amigos que reencontrei no mestrado e aos novos que tive o prazer de conhecer. Aos amigos da vida que comemoram comigo todas as conquistas.

Ao Centro de Estudos em Ecofisiologia Vegetal do Oeste Paulista (CEVOP) pela colaboração durante a pesquisa.

*“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar.
Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”. (Madre Teresa de Calcuta)*

RESUMO

Respostas da batata-doce à inoculação de micorriza e rizobactéria

Considerada uma importante cultura e base alimentar em países em desenvolvimento, a batata-doce [*Ipomoea batatas* (L.)] é uma cultura rústica por não demandar altas tecnologias, além de apresentar baixo custo de produção. Seu rendimento pode ser afetado por fatores abióticos como a deficiência hídrica e nutricional, e como alternativa, tem-se adotado o emprego de novas tecnologias sustentáveis que trazem maior produtividade e ao mesmo tempo reduzem os impactos ambientais, dentre elas a inoculação com microrganismos. Sendo assim, esse estudo teve como objetivo avaliar repostas biométricas (área foliar e massa seca aérea e radicular), e bioquímicas (pigmentos fotossintéticos e compostos secundários nas folhas e teor de beta caroteno nas raízes) em plantas de batata-doce inoculadas com fungo micorrízico arbuscular - FMA (*Rhizophagus clarus*) e rizobactéria (*Bacillus subtilis*), de forma isolada. Adicionalmente, foram avaliados parâmetros de atividade biológica no solo. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com 3 tratamentos (controle, inoculação com micorriza e inoculação com rizobactéria) e 10 repetições. As plantas inoculadas com FMA apresentaram aumentos no teor de clorofila, carotenoides e fenóis totais nas folhas, assim como na atividade da enzima desidrogenase e na respiração basal do solo. Porém, houve redução na massa seca de raízes adventícias e tuberosas. A inoculação das plantas com a rizobactéria não resultou em diferenças na massa seca da parte aérea e radicular como nos parâmetros bioquímicos avaliados, ocorrendo apenas aumento da atividade da enzima desidrogenase e da respiração basal do solo.

Palavras-chave: *Ipomoea batatas* L. Raízes Tuberosas. Absorção Mineral. Microrganismos Promotores do Crescimento em Plantas. Biomassa Microbiana do Solo.

ABSTRACT

Sweet potato responses to mycorrhiza and rhizobacteria inoculation

Considered an important crop and food base in developing countries, sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.)] is a rustic crop because it does not require high technologies, in addition to its low production cost. Its yield can be affected by abiotic factors such as water and nutritional deficiencies, and as an alternative, new sustainable technologies have been adopted that bring greater productivity and at the same time reduce environmental impacts, including inoculation with microorganisms. Therefore, this study aimed to evaluate biometric responses (leaf area and aerial and root dry mass), and biochemical (photosynthetic pigments and secondary compounds in leaves and beta carotene content in roots) in sweet potato plants inoculated with mycorrhizal fungus arbuscular - FMA (*Rhizophagus clarus*) and rhizobacteria (*Bacillus subtilis*), in isolation. Additionally, parameters of biological activity in the soil were evaluated. The experimental design was completely randomized, with 3 treatments (control, inoculation with mycorrhiza and inoculation with rhizobacteria) and 10 replications. Plants inoculated with AMF showed increases in the content of chlorophylls, carotenoids and total phenols in leaves, as well as in dehydrogenase enzyme activity and basal soil respiration. However, there was a reduction in the dry mass of adventitious and tuberous roots. The inoculation of plants with rhizobacteria did not result in differences either in the dry mass of the aerial and root parts, as well as in the biochemical parameters evaluated, with only an increase in the activity of the dehydrogenase enzyme and in the basal respiration of the soil.

Keywords: *Ipomoea batatas* L. Tuberous Roots. Mineral Absorption. Growth-promoting Microorganisms in Plants. Soil Microbial Biomass.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Comparação visual dos tratamentos antes da colheita, plantas com 133 DPP.....	39
Figura 2 -	Raízes adventícias e raízes tuberosas em plantas de batata-doce inoculadas com rizobactéria e fungo micorrízico (T=testemunha; M= micorriza).....	42
Figura 3 -	Raízes tuberosas não comerciais e raízes não tuberosas (T= testemunha; B= <i>Bacillus s.</i>).....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Características químicas do solo utilizado nos vasos.....	31
Tabela 2	- Massa seca de folhas, hastes, parte aérea e área foliar de plantas de batata-doce inoculadas com rizobactéria (<i>Bacillus subtilis</i>) e fungo micorrízico (<i>Rizhophagus clarus</i>).....	40
Tabela 3	- Massas fresca (MF) e seca (MS) de raiz tuberosa e raiz adventícia em plantas de batata-doce inoculadas com rizobactéria (<i>Bacillus subtilis</i>) e fungo micorrízico (<i>Rizhophagus clarus</i>).....	41
Tabela 4	- Parâmetros de área foliar específica (AFE), razão de área foliar (RAF) e relação raiz/parte aérea (R/PA) em plantas de batata-doce inoculadas com rizobactéria (<i>Bacillus subtilis</i>) e fungo micorrízico (<i>Rizhophagus clarus</i>).....	43
Tabela 5	- Teor foliar de macronutrientes em plantas de batata-doce inoculadas com rizobactéria (<i>Bacillus subtilis</i>) e fungo micorrízico (<i>Rizhophagus clarus</i>).....	44
Tabela 6	- Teor foliar de compostos fenólicos totais e flavonoides totais e teor de beta-caroteno nas raízes de plantas de batata-doce inoculadas com rizobactéria (<i>Bacillus subtilis</i>) e fungo micorrízico (<i>RizHophagus clarus</i>).....	45
Tabela 7	- Pigmentos fotossintéticos em plantas de batata-doce inoculadas com rizobactéria (<i>Bacillus subtilis</i>) e fungo micorrízico (<i>Rizhophagus clarus</i>).....	46
Tabela 8	- C da biomassa microbiana (CBM), N da biomassa microbiana (NBM); atividade enzimática da desidrogenase (AED), respiração basal do solo (RBS), fosfatase ácida (FA) e quociente metabólico (QCO ₂) do solo cultivado com plantas de batata-doce inoculadas com rizobactéria (<i>Bacillus subtilis</i>) e fungo micorrízico (<i>Rizhophagus clarus</i>).....	48
Tabela 9	- Colonização radicular de micorriza em plantas de batata-doce inoculadas com rizobactéria (<i>Bacillus subtilis</i>) e fungo micorrízico (<i>Rizhophagus clarus</i>).....	49
Tabela 10	- C da biomassa microbiana (CBM), N da biomassa microbiana (NBM); atividade enzimática da desidrogenase (AED), respiração basal do solo (RBS), fosfatase ácida (FA) e quociente metabólico (qCO ₂) do solo cultivado com plantas de batata-doce inoculadas com rizobactéria (<i>Bacillus subtilis</i>) e fungo micorrízico (<i>Rizhophagus clarus</i>).....	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1	Batata-doce.....	14
2.2	Micorrizas.....	14
2.3	Efeitos da associação entre plantas e fungos micorrízicos arbusculares (FMA)	18
2.3.1	Efeitos morfológicos e fisiológicos.....	18
2.3.2	Efeitos nutricionais.....	18
2.3.3	Efeitos sobre o teor de substâncias e qualidade nutricional.....	19
2.3.4	Maior resistência aos estresses abióticos.....	21
2.4	Aplicação de micorrizas em batata-doce.....	23
2.5	Rizobactéria Promotora de Crescimento em Planta (RPCP).....	24
2.5.1	Efeitos morfológicos e fisiológicos.....	25
2.5.2	Efeitos nutricionais.....	26
2.5.3	Maior resistência à estresses.....	27
2.5.4	Rizobactérias em batata-doce.....	28
3	OBJETIVO.....	30
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
5.1	Análises fisiológicas.....	39
5.1.1	Biomassa da parte aérea, raiz e área foliar.....	39
5.1.2	Nutrição.....	43
5.2	Análises bioquímicas.....	46
5.3	Considerações finais.....	52
6	CONCLUSÃO.....	54

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a batata-doce, é considerada como uma cultura rústica e bastante antiga, é cultivada principalmente pelos pequenos agricultores e utilizada como base alimentar pela população de baixa renda e por países em desenvolvimento (ZERO; LIMA, 2005). Considerada o sexto alimento mais importante produzido no mundo (CIP, 2010), não demanda grandes tecnologias para seu cultivo e apresenta grande resistência a pragas, boa resposta a aplicação de fertilizantes e capacidade de desenvolvimento mesmo em solos degradados e de baixa fertilidade (MOULIN *et al.*, 2014). Pode ser esse o motivo pelo qual os produtores não procuram devida orientação profissional, obtendo baixos índices de produtividade no país (ZERO; LIMA, 2005).

Uma maior demanda por alimentos está sendo gerada pelo aumento da população mundial, e como consequência, a busca pelo desenvolvimento de tecnologias que melhorem a produtividade de forma sustentável em grande escala. Nos tempos atuais, onde a procura por alimentos naturais e saudáveis estão ganhando espaço, é importante garantir grandes produções mantendo a qualidade do alimento, zelando pelos recursos naturais.

A produção sustentável está ligada ao desenvolvimento de tecnologias que reduzem os impactos ambientais e minimizem a aplicação de insumos não renováveis, como os fertilizantes a base de fósforo (NOVAIS; SIQUEIRA, 2009). Diante disso, estudos sobre a microbiota do solo são de grande interesse, em vista da vasta gama de organismos, dentre eles fungos e bactérias considerados essenciais ao ecossistema e no processo de ciclagem de nutrientes, aptos a tornarem as produções agrícolas mais sustentáveis (AHEMAD; KHAN, 2009), em especial aqueles que incluem grupos funcionais, como os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e as rizobactérias (COSTA; MELLONI, 2019).

Segundo Schoebitz, López e Roldán (2013), o uso de inoculantes a base de microrganismos promotores de crescimento em plantas apresenta resultados satisfatórios quando adotados em uma produção agrícola sustentável. Esses microrganismos promovem alterações benéficas nas plantas, atuando na morfologia do sistema radicular, em processos fisiológicos tais como a fotossíntese e a absorção mineral, na qualidade nutricional e no aumento de compostos de defesa da

planta; tendo sido testados com resultados positivos em diferentes culturas agrícolas.

Existem poucos estudos na literatura com informações sobre a utilização de fungos micorrízicos e rizobactérias na cultura da batata-doce, evidenciando a necessidade de se conhecer melhor os efeitos benéficos destes microrganismos como promotores de crescimento e indutores de tolerância aos estresses bióticos e abióticos. Como uma tecnologia alternativa capaz de gerar aumento de produtividade, este estudo avaliou os efeitos da inoculação da batata-doce com a espécie de fungo micorrízico *Rizophagos clarus* e com a espécie de rizobactéria *Bacillus subtilis*.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Batata-doce

Pertencente à família Convolvulaceae, a batata-doce é uma cultura rústica, com baixo custo de produção e elevada capacidade nutritiva, destacando-se na agricultura familiar (GOMES, 2007). Seu cultivo é recomendado para climas quentes, com temperatura média acima de 24°C e tem preferência por solos arenosos, com pH ligeiramente ácido e sem presença de alumínio tóxico (SILVA; LOPES; MAGALHÃES, 2008). Apesar de ser rústica, a exposição a baixas temperaturas pode acarretar atraso no desenvolvimento, em contrapartida, altas temperaturas (acima de 34°C) afetam a taxa fotossintética e atrasam ou impedem o início da tuberização, devido a lignificação das raízes adventícias (RAVI *et al.*, 2009; ERPEN *et al.*, 2013).

É uma planta herbácea dicotiledônea com hábito rastejante, com ramas que variam de 3 e 5 metros com tons arroxeados ou verdes (MOHAMMAD *et al.*, 2014). Passa por três fases fenológicas durante seu ciclo: a primeira onde ocorre a predominância do desenvolvimento da parte aérea e raízes adventícias; a segunda onde ocorre a tuberização e crescimento vegetativo, e por último, a fase em que ocorre o enchimento dos tubérculos (QUEIROGA *et al.*, 2007).

A batata-doce apresenta dois tipos de raízes: a absorvente, encarregada da estabilidade da cultura no solo, absorção e condução de água e nutrientes, e a raiz tuberosa, tida como o órgão de interesse comercial da planta, denominada “batata”, onde armazena energia em forma de amido e outras substâncias (FREITAS, 2018). Comumente é vista apenas como uma cultura de subsistência, em virtude da difusão na alimentação familiar, sendo consumida assada ou cozinha, no entanto, exerce função importante também como matéria prima industrial, com alto valor nutricional, devido a presença de β caroteno, carboidratos e antocianinas, compostos fenólicos, fibra dietética, ácido ascórbico e fenólico, provitamina A e sais minerais (VIZZOTTO *et al.*, 2018).

A China é o maior produtor mundial, com produtividade média de 21,35 t ha⁻¹, e apesar do alto potencial produtivo no Brasil, o país encontra-se em 15º nesse ranking, com produtividade equivalente a 67,9% (14,51t ha⁻¹) a da chinesa

(ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA- FAO, 2019). A nutrição é um dos elementos que mais contribuem para a elevação da produtividade e quantidade de tubérculos e deve ser aplicada de acordo com as exigências da cultura (CORASPE-LEÓN *et al.*, 2009). A batata-doce demanda grande quantidade de N durante o ciclo de desenvolvimento, segundo Ferreira (2017) foi o nutriente mais acumulado nas raízes e parte aérea, seguido pelo K e Ca, resultado semelhante aos de Echer, Dominato e Creste (2009).

2.2. Micorrizas

O termo micorriza existe desde 1885 quando proposto pelo botânico alemão Albert Bernard Frank, vem do grego “mico” (fungo) e “riza” (raízes) (SOUZA *et al.*, 2006). Mas somente em 1984, após anos de pesquisas, demonstrou-se de maneira convincente que essa associação não era parasítica como se suspeitava, e que o fungo seria incapaz de causar qualquer disfunção nas raízes, sendo assim caracterizada por uma associação mutualista (SIQUEIRA; FRANCO, 1988 apud SOUZA *et al.*, 2006).

Com a necessidade de sobrevivência, fungos e plantas desenvolveram associações para que, através de mecanismos de comunicação molecular, fosse possível estabelecer a interação morfológica, funcional e intercelular, formando assim uma relação simbiótica, como se verifica nas micorrizas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Os fungos micorrízicos possuem hifas, estruturas que atuam como extensão das raízes das plantas e desempenham papéis importantes, como a absorção de nutrientes e água, estruturação do solo, promoção de tolerância a estresses e resistência a doenças (CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

Após anos de estudos, foi comprovado que quase todas as plantas necessitam de associações mutualísticas com fungos, em especial os micorrízicos, os quais conferem alterações na planta através de mecanismos físicos, como o auxílio aos pêlos radiculares na absorção de água e nutrientes em quantidades demandadas pela planta para sobrevivência (BERUDE, 2015) devido a maior exploração do solo pelas raízes, atingindo sítios distantes pelas radículas das plantas (AZEVEDO, 2010). Nessa simbiose, o fungo obtém carboidratos e substâncias essenciais para o seu desenvolvimento e esporulação, enquanto a planta hospedeira recebe do solo água e nutrientes inorgânicos (CRUZ *et al.*, 2020).

Dentre os nutrientes, destaca-se o fósforo (P), considerado o fator edáfico que mais intervém no percentual de colonização e os efeitos da simbiose nas plantas (MOREIRA *et al.*, 2019).

Tomazello Filho e Krügener (1982) classificaram as micorrizas pelo arranjo das hifas formadas no tecido da raiz, sendo que as principais são as ectomicorrizas, endomicorrizas e ectendomicorrizas. Dentre elas, as mais relevantes por serem mais frequentes na maioria dos ecossistemas, são as endomicorrizas (penetram a raiz) e as ectomicorrizas (crescem externamente à raiz).

As endomicorrizas, mais conhecidas como fungos micorrízicos arbusculares (FMA), são capazes de penetrar de forma intercelular sem causar modificações morfológicas (COGO *et al.*, 2019) e suas estruturas são denominadas de arbúsculos, que posteriormente formarão o micélio extrarradicular, proporcionando assim maior eficiência na absorção de nutrientes do solo através do mecanismo de transferência, onde os mesmos são transferidos para as raízes micorrizadas (SMITH; READ, 2008).

Quando a colonização por FMA ocorre, as hifas do fungo podem crescer externamente da raiz até o solo através do micélio externo, chegando à extensão de 10cm a partir da superfície da raiz, o que permite a exploração de um maior volume de solo e captura especialmente dos nutrientes de baixa mobilidade, além de conferir às plantas uma maior capacidade de tolerância aos estresses, como a salinidade, seca, ataque de patógenos, etc. (BAREA *et al.*, 2016). Vários fatores são apontados como influenciadores na associação do fungo com o sistema radicular das plantas, tais como o teor de P (SMITH; READ, 2008), matéria orgânica, umidade e aspectos físicos do solo (SMITH; SMITH, 2011b).

Os FMA são também conhecidos por aumentar a eficiência na absorção de P, induzir o crescimento do hospedeiro e promover tolerância a estresses (EMBRAPA, 2006). Sua colonização inicia-se com o crescimento de hifas infectivas que se desenvolvem na rizosfera e ao entrar em contato com as raízes, formam uma estrutura de penetração do tipo apressório. Após o reconhecimento celular da superfície, ocorrem a infecção e posteriormente a penetração, possibilitando a colonização do apoplasto e das células do córtex (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Segundo Marschner e Dell (1994), o fungo micorrízico arbuscular, através da simbiose, pode fornecer nutricionalmente por volta de 80% do fósforo, 25% do nitrogênio, 10% do potássio e 25% do zinco. Outro ponto importante é a capacidade

do fungo de consumir cerca de 20% do carbono dos fotoassimilados do hospedeiro (FENG *et al.*, 2002), logo, quando colonizada por FMA a raiz da planta funciona como um dreno de carboidrato, promovendo o equilíbrio de C por toda a planta (WRIGHT; SCHOLLES; READ, 1998) podendo causar maior acúmulo de açúcares nos tecidos vegetais (CRUZ *et al.*, 2020)

Vários fatores são apontados como influenciadores na associação do fungo com o sistema radicular das plantas, tais como o teor de fósforo (SMITH; READ, 2008), matéria orgânica, umidade e aspectos físicos do solo (SMITH; SMITH, 2011b). Os metais pesados existentes no solo em concentrações tóxicas exercem grande influência sobre os FMA, reduzindo a germinação dos esporos, o crescimento micelial, a colonização e, à vista disso, causando grande impacto em sua ecologia e diversidade (MARTINEZ; JOHNSON, 2010)

Os fungos micorrízicos arbusculares são biotróficos, dependem do seu hospedeiro vivo, o que afeta sua comercialização por conta da dificuldade para produção em grande escala (ENDRES, 2018). Um inoculante a base de *Rhizophagus clarus* foi utilizado em culturas de algodão e soja por Cely *et al.* (2016) expressando seu potencial e viabilizando sua utilidade na agricultura, observando-se diferenças significativas principalmente na absorção do P quando comparado ao controle sem adubação e inoculação. Silva e Siqueira (1997) realizaram um experimento analisando o potencial de inóculo do *R. clarus* em soja e ao compará-lo com outras espécies de FMA, observou-se um desempenho superior do mesmo na colonização ao hospedeiro, chegando a 98%. A autora Sala (2002), também usando soja em seu experimento, relata aumento de até 262% no crescimento em relação a outro fungo (*Azospirillum* spp), resultando em benefícios na produção de matéria seca e fotossíntese.

2.3. Efeitos da associação entre plantas e fungos micorrízicos arbusculares (FMA).

2.3.1 Efeitos morfológicos e fisiológicos

Relatos de efeitos comuns são encontrados em plantas hospedeiras de FMA, sendo eles o aumento em altura, massa seca, brotações e raízes (SILVA *et al.*, 2004).

Os resultados de Kumar *et al.* (2015) mostram o crescimento em dobro da matéria seca da parte aérea, raiz e altura em milho inoculado com FMA em comparação ao controle. Segundo ele, os parâmetros físicos químicos influenciados pelo efeito da micorriza foram os responsáveis por esse crescimento. Resultados semelhantes de ganho de biomassa em plantas inoculadas foram relatados por Fonseca *et al.* (2019), avaliando os mesmos parâmetros em *Coffea arabica* L., os quais foram independentes do genótipo avaliado. Rodrigues *et al.* (2018) mencionam em seu trabalho utilizando *Rhizophagus clarus* um aumento significativo de 45% na altura de plantas de *Tectona grandis* LF e 80% na biomassa foliar quando comparados ao controle.

Kaschuk *et al.* (2009), descreve o aumento do desempenho da fotossíntese em legumes proveniente dos maiores níveis de pigmentos fotossintéticos nas folhas, ocasionando um maior índice de exportação de triose fosfato para o citoplasma; ativando o ciclo de Calvin, que tem como efeito a maior produção dos metabólitos primários, precursores de vias do metabolismo secundário.

Em estudos realizados por Fortuna *et al.* (1996) com maçã e ameixa, foi constatada a eficácia dos FMA na rápida aclimatização e crescimento de microestacas enraizadas *in vivo*, intensificação da ramificação das raízes e indução da retomada da fotossíntese e crescimento apical durante a aclimatação.

2.3.2 Efeitos nutricionais

A absorção de nutrientes também é otimizada em plantas micorrizadas, sendo observados aumentos nos níveis de macronutrientes, em especial o P (MATSUBARA; ISHIGAKI; KOSHIKAWA, 2009) e de micronutrientes (CHU *et al.*, 2001).

Em geral, a disponibilidade de P no solo é baixa devido à sua difícil solubilidade e mobilidade, de modo que este nutriente carece da atividade microbiana para ser liberado das formas orgânicas, e dessa forma, ser absorvido pelas raízes. Existem alguns fatores que influenciam a absorção do P do solo, os quais estão mais relacionados à capacidade do sistema radicular de alcançar este macronutriente e também ao transporte (SMITH, 2011b). Liu *et al.* (2016) cita a ocorrência do aumento de até 80% na capacidade de absorção de P pelas plantas associadas à fungos micorrízicos arbusculares, reduzindo os custos com

fertilizantes, principalmente aqueles com fosfato. Esse mesmo relato é encontrado em trabalhos mais recentes, como o de Nunes *et al.* (2019), que conclui que o uso do FMA *Rhizophagus clarus* melhorou o desempenho das plantas de milho por meio do aumento do fornecimento de P.

O mecanismo envolvido na absorção de nutrientes minerais baseia-se na exploração do solo pelo micélio do fungo, onde os genes transportadores de fosfato são diferencialmente expressos (SBRANA; AVIO; GIOVANNETTI, 2014). O aumento da absorção de nutrientes é subsequente do aumento da área de crescimento radicular proveniente da atividade micorrízica (GAO *et al.*, 2012). Giovannetti *et al.* (2012) relata em seus estudos com tomate, obtenção da maior produção em plantas inoculadas com FMA, além da elevação no teor de nutrientes como P, Ca, K e Zn encontrada em comparação às plantas controle.

2.3.3 Efeitos sobre o teor de substâncias ativas e qualidade nutricional

Na indústria alimentícia, estudos recentes buscam o melhoramento nutricional dos vegetais em função da obtenção de um alimento com alto valor nutricional e que possa ser satisfatório mesmo ingerido em menores quantidades (EFTEKHARI *et al.*, 2012; LINGUA *et al.*, 2013). Esse melhoramento pode ser obtido de forma convencional ou através da biotecnologia, entretanto, o sucesso dessas tecnologias dependeria da aceitação do público, e por esse motivo, Baslam (2012) optou por avaliar o efeito da aplicação de FMA em alface para elevar a qualidade nutricional sem riscos à saúde humana e meio ambiente, e concluiu que essa associação é uma alternativa viável e satisfatória.

A batata-doce possui compostos bioativos, como carotenoides, antocianinas, ácidos fenólicos, flavonoides e vitamina C (TRUONG *et al.*, 2007), além de uma mistura única de compostos fenólicos, como ácidos hidroxicinâmicos, antioxidante primário em grande parte dos cultivares comerciais (PADDA; PICHA, 2008). Dentre os fitoquímicos, os favinóides e fenóis são os mais importantes pelos benefícios antioxidantes e anticâncer, atuando fortemente na eliminação de radicais superóxido (REN *et al.*, 2003; GOMES *et al.*, 2003). Ela é rica em β -caroteno, precursor da vitamina A que auxilia na prevenção de algumas deficiências causadas pela falta dessa vitamina (VAN DEN BERG *et al.*, 2000).

Diversos estudos têm sido realizados para avaliar as respostas da associação entre espécies medicinais e FMA, tendo como objetivo aumentar o rendimento e melhorar a qualidade das plantas pelo aumento nos teores de metabólitos secundários (ZUBEK *et al.* 2012; ZENG *et al.*, 2013). A aplicação de fungos micorrízicos arbusculares é uma técnica que já vem sendo utilizada em plantas medicinais (ZUBEK, 2012) com o intuito de induzir a acumulação de metabólitos secundários, contribuindo no desenvolvimento da agricultura sustentável e, dessa forma, reduzindo o uso de fertilizantes químicos (PEDONE-BONFIM *et al.*, 2012).

Enquanto os metabólitos primários estão presentes em todo o reino vegetal, os metabólitos secundários têm uma disposição mais limitada e funções específicas. Portanto, embora possam não ser essenciais para a vida, podem ter grande importância para a sobrevivência das plantas e seu sucesso reprodutivo (PEDONE-BONFIM *et al.*, 2012). Os metabólitos secundários são divididos em classes, os compostos fenólicos são uma delas, incluindo os flavonoides e fenóis simples

Dentre os metabólitos secundário de plantas, os fenóis são de grande importância para a saúde humana por serem antioxidantes, anti-inflamatórios, ter propriedades antibacterianas e antivirais; além de atuarem na própria planta como atrativo para polinizadores e como compostos de defesa em estresses bióticos e abióticos (STEINKELLNER *et al.*, 2007). Souza Ferrari *et al.* (2020) menciona em suas pesquisas com *Curcuma longa* L. que alterações na produção de compostos fenólicos e na atividade antioxidante podem ocorrer pela ação de FMA. Cruz *et al.* (2020) também relata em seus estudos com capim limão o aumento do nível fenólico encontrado no extrato da planta no tratamento com o fungo em comparação ao controle. Foi demonstrado por Toussaint, Smith e Smith (2007) em seus estudos com FMA em manjerição, a indução da produção de antioxidantes na parte aérea da planta, resultado esse obtido por meio da concentração de P nos tecidos, comparando com o controle que não foi inoculado.

Em um experimento conduzido em estufa com plantas de *Vitis vinifera* inoculadas com diferentes espécies de fungos micorrízicos arbusculares, Krishna *et al.* (2005) observou o aumento de nutrientes minerais, carotenóides e uma elevação de até nove vezes no conteúdo de fenólicos totais em folhas, em relação às plantas não colonizadas.

Acredita-se que as alterações do metabolismo secundário provêm do aumento da nutrição mineral como resposta da planta à colonização fúngica, justificando o impacto dos FMA na produção de ácidos fenólicos e flavonoides (SBRANA; AVIO; GIOVANNETTI, 2014; ZUBEK, 2015). Alguns autores sugerem a hipótese de que as mudanças na produção de compostos fenólicos podem estar relacionadas ao aumento da atividade enzimática envolvida na síntese de flavonoides (IBRAHIM; JAAFAR, 2011). Harrison e Dixon (1994) analisaram raízes de plantas inoculadas com FMA e encontraram resultados que mostram o aumento de fenilalanina amônia-liase (FAL) induzida pelos fungos, a qual é considerada a enzima chave para a biossíntese de compostos fenólicos (HAO *et al.*, 1996)

2.3.4 Maior resistência aos estresses abióticos

Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) têm sido cada vez mais usados para minimizar estresses bióticos e abióticos e para adequar a planta as condições ambientais para alcançar um melhor desenvolvimento de safra (BRUISSON, 2016). Estudos sobre os FMA evidenciam a contribuição da simbiose na promoção de tolerância das plantas a estresses abióticos provenientes de efeitos físicos, nutricionais, fisiológicos e celulares (RUIZ-LOZANO, 2003). Mecanismos que explicam a atividade protetora do fungo micorrízico às plantas incluem a melhoria da nutrição mineral, concedendo vigor e resistência por meio das hifas que aumentam a absorção de nutrientes, e o aumento da concentração de aminoácidos nas raízes da batata-doce (ISSA *et al.*, 2017) A colonização é capaz de aumentar na presença de estresse hídrico, influenciando na relação entre solo/ água/ planta, impactando os aspectos fisiológicos, como a fotossíntese (AUGÉ, 2001). A presença de FMA tem se mostrado influenciadora na promoção de tolerância em virtude do aumento do vigor das raízes, da produção de hormônios vegetais pela planta e no aumento da expressão de genes responsivos ao estresse (YAO; ZHU; CHEN, 2005).

Em condições de estresse hídrico, as plantas inoculadas com FMA possuem múltiplos mecanismos, como o enriquecimento de P e proteínas transportadoras de açúcares nas raízes, regulação de proteínas aquaporinas e aumento de antioxidantes (RAPPARINI; PEÑUELAS, 2014). Ruiz-Lozano (2003) propõe outros mecanismos, tais como o ajuste osmótico reforçado, hidratação das folhas e reduzido dano oxidativo causado pelas espécies reativas do oxigênio (ROS). O

ajuste osmótico também foi relatado em folhas de plantas de manjeriço inoculadas com micorrizas durante um período de seca (KUBIKOVA *et al.*, 2001). Da mesma forma, um menor dano oxidativo para lipídeos e proteínas nos nódulos da soja inoculada com FMA foi observado em comparação às plantas não inoculadas, isso ocorreu devido à proteção contra a senescência do nódulo (PORCEL; BAREA; RUIZ-LOZANO, 2003).

Em estudos realizados por Porcel e Ruiz-Lozano (2004) o efeito da inoculação do FMA em plantas de soja mediante estresse hídrico apresentou melhora de 27% na brota em comparação aos tratamentos sem o inóculo, resultado semelhante foi encontrado no desenvolvimento de raiz e potencial hídrico das folhas. Essa contribuição para a tolerância à seca pode estar relacionada com os mecanismos de captação de água pela hifa do fungo (MARULANDA; AZCON; RUIZ-LOZANO, 2003) ou pelas alterações micorrízicas ocorridas na morfologia radicular da planta (KOTHARI; MARSCHNER; GEORGE, 1990). Em estudos com manjeriço, os autores Toussaint, Smith e Smith (2007) descrevem a relação do fungo quanto ao estresse hídrico e relaciona esse potencial a indução da produção de antioxidantes na parte aérea da planta. Os autores Akula e Ravishankar (2011) relatam em seus estudos utilizando plantas medicinais, que, sob de estresse hídrico, maiores teores de compostos fenólicos são encontrados nas plantas, os quais conferem resistência ao estresse.

Atualmente, outro meio de combate considerado é o emprego de bioinoculantes com rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCP), essa pratica tem-se mostrado eficiente no combate as mudanças induzidas pelo clima abiótico que limita o desempenho das plantas sob estresse (ALORI *et al.*, 2017). Esse mecanismo pode acontecer por meio da produção da enzima desaminase (SALEEM *et al.*, 2015), nodulação na raiz (MASCIARELLI; LLANES; LUNA, 2014), produção de hormônio vegetal ácido indol acético (GUJRAL *et al.*, 2013), ácido salicílico (EKINCI *et al.*, 2014), solubilizante PO₄²⁻ (KUMARI; KHANNA 2016), dentre outros compostos.

As RPCP são de grande importância na luta pelo desenvolvimento sustentável das plantas em estresse abiótico, e uma das classes de destaques são os *Bacillus* (KASIM *et al.*, 2016). Um estudo na rizosfera de cactos mostrou que isolados do *Bacillus* sp. apresentaram bons resultados na promoção de crescimento

da planta através da produção de ácido indol acético, solubilização de PO_4^{2-} e produção de cianeto de hidrogênio e NH_3 (ENEBE; BABALOLA, 2018).

2.4 Aplicação de micorrizas em batata-doce

Considerada uma importante fonte de carboidrato, a batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.)) serve como fonte de alimento rico em micronutrientes e betacaroteno (LAURIE *et al.*, 2012). Dentre os elementos essenciais para seu crescimento, o P é o grande destaque devido ao seu papel crucial no desenvolvimento da planta, dado que, atua na respiração, fotossíntese e na formação de ligações de pirofosfato que concedem transferência de energia (BAILEY *et al.*, 2009). Entretanto, o P é naturalmente deficiente em alguns solos em virtude da sua baixa mobilidade e sua alta fixação pelos colóides do solo (EMBRAPA, 1995).

A dependência da batata para o crescimento e melhor absorção de nutrientes pela micorriza já foi bem estabelecida. Estudos de Harikumar e Potty (2002) com raízes de batata-doce em um solo com baixos níveis de P, revelaram aumento na porcentagem da colonização e infecção do FMA, quando comparado a altos níveis de P.

A aplicação de FMA em batata-doce, combinada à fertilização do solo, pode aumentar o rendimento de raízes (MUKHONGO *et al.*, 2017). Segundo este autor, existe a hipótese de que o FMA melhora a disponibilidade do P através de sua solubilização.

Sob condições de baixa disponibilidade de P, tem sido constatado que a simbiose entre a batata-doce e os FMA é eficiente (NEUMANN *et al.*, 2009). Segundo Mukhongo *et al.* (2017), quando há interação entre a inoculação de FMA e aplicação de baixas taxas de fertilizantes inorgânicos, o efeito é benéfico ao crescimento e rendimento da batata-doce, melhorando a morfologia e os teores de açúcar e β -caroteno no tubérculo, evoluções estas importantes, para atender as exigências de um mercado de alimentos voltado à saúde (TONG *et al.*, 2013).

O prolongamento do comprimento da raiz é de alta importância para fornecer nutrientes como K e Zn, além do P, para batata-doce (MARSCHNER, 2012) e aperfeiçoar a produção (SHARMA; SHARMA, 2017). Rakshit e Bhadoria (2008) revelam que não existem níveis padrões de P disponível no solo para obtenção do melhor benefício do FMA, contudo, estes autores citam faixas entre 20 e 150mg kg⁻¹

de P como propícias para melhor colonização de FMA no solo, visando efeitos promissores no crescimento e rendimento da batata-doce.

Yooyongwech *et al.* (2016) analisou o efeito da simbiose entre FMA e cultivares de batata-doce sensíveis ao déficit hídrico. Houve regulação osmótica resultante da ação do FMA, potencializando o uso da água no nível celular; enquanto que no tratamento irrigado, o peso seco, peso fresco, comprimento de raiz e peso dos tubérculos das plantas inoculadas aumentaram consideravelmente.

2.4 Rizobactéria Promotora de Crescimento em Planta (RPCP)

A estreita área do solo em torno do sistema radicular é denominada rizosfera. O termo rizobactérias é conferido às bactérias que se desenvolvem na região da raiz e quando possuem algum efeito benéfico para as plantas, são intituladas de rizobactérias promotoras de crescimento -RPCP (WALKER *et al.*, 2003). Capazes de mobilizar, transformar e solubilizar nutrientes, as rizobactérias são mais eficientes do que as bactérias de vida livre no solo (HAYAT *et al.*, 2010).

A rizobactéria *Bacillus subtilis* é uma bactéria Gram-positiva comumente encontrada no solo (LAKSHMANAN *et al.*, 2013). Considerada não patogênica, tem sido usada como organismo modelo para estudar a produção de metabólitos secundários, formação de esporos, desenvolvimento de biofilme, fixação às raízes das plantas, etc. (KOVÁCS, 2019).

As rizobactérias são microrganismos altamente resistentes em condições adversas presentes no meio ambiente, devido à capacidade de formação de esporos, que suportam extremos de temperatura e pH, dessecação, radiação UV e diversos produtos químicos (OLIVEIRA, 2006). Inúmeras rizobactérias são capazes de promover o crescimento em plantas, efeito esse atribuído a produção de substâncias reguladoras de crescimento, produção de antibióticos, mineralização e solubilização de nutrientes, como o P, através do alongamento radicular que também permite maior acesso à água (MOREIRA; ARAÚJO, 2013). Sua ação benéfica induz diretamente também a germinação dos esporos de FMA, produzindo compostos como o CO₂, etileno, amônia, aminas, álcoois, (XAVIER; GERMIDA, 2003) dentre outros influenciadores da fisiologia da planta, atuando na maior permeabilidade celular da raiz, favorecendo a penetração de fungos e a formação de micorriza com as raízes das plantas (VIVAS *et al.*, 2003).

A inoculação de rizobactérias pode ocorrer pela aplicação direta dos esporos na superfície das raízes ou do solo, preservando diretamente as plantas contra doenças (LOPÉZ, 2017). Alguns microrganismos promotores de crescimento em planta são comercializados em bioprodutos, alguns deles registrados pelo U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), dentre estes, 14 são bactérias e 12 são fungos, o quais são indicados para culturas como o algodão, tomate, soja, amendoim, milho, hortaliças e etc. No Brasil, ainda não há produtos comerciais registrados contendo *B. subtilis*, porém, o produto Serenade®, da Agraquest encontra-se em fase de registro (OLIVEIRA JÚNIOR, 2020).

2.4.1 Efeitos morfológicos e fisiológicos

O gênero *Bacillus* tem grande potencial para ser usado como inóculo na agricultura e até mesmo na indústria. Este gênero contribui expressivamente para a saúde das plantas devido aos seus múltiplos benefícios. Autores relatam elevação de diversos parâmetros morfológicos na cultura do arroz (SHARMA; GARG, 2018), tomate (DURUKAN *et al.*, 2019), cevada (JAMILY *et al.*, 2019), alface (LEE *et al.*, 2020), entre outros. No caso do pimentão, a aplicação de *B. subtilis* proporcionou crescimento de variados germoplasmas (ÁLVAREZ-SOLÍS *et al.*, 2016; HAGHIGHI; BARZEGAR, 2018; HUANG; KLOEPPER, 2020).

Baset *et al.* (2010) declaram que a RPCP age alterando as camadas externas do córtex da raiz em função do aumento da divisão celular que ocorre nas regiões periféricas das mesmas. Além de alterar a arquitetura da raiz, o *Bacillus* induz a produção de diferentes fitormônios, como o ácido indolacético (AIA), ácido giberélico, citocininas (KLOEPPER; GUTIERREZ-ESTRADA; MCINROY, 2007), ácido abscísico e etileno (KUDOYAROVA *et al.*, 2019). O AIA é conhecido por estimular o crescimento da planta, aumentando a área da superfície da raiz, induzindo seu alongamento (LU *et al.*, 2015), proliferando também as raízes laterais, e, por conseguinte, elevando a capacidade de absorção de nutrientes e minerais pela planta, em especial o P (SURESHBABU; AMARESAN; KUMAR, 2016; ACUÑA *et al.*, 2011; MARSCHNER; CROWLEY; RENGEL, 2011).

Wang *et al.* (2019) relata a capacidade do *B. subtilis* em produzir os ácidos orgânicos citados acima e também sua atuação na liberação de P solúvel no solo,

macroelemento importante utilizado na fotossíntese, energia, síntese e degradação de fontes de carbono.

2.4.2 Efeitos nutricionais

Em busca de maximizar a produtividade, fertilizantes artificiais têm sido constantemente usados (ALOO *et al.*, 2019), não só elevando os custos de produção, mas também a degradação ambiental (YOUSSEF e EISSA, 2014). Há uma pressão por parte dos agricultores para conseguir reduzir os níveis de fertilizantes recomendados para que haja o rendimento esperado, contudo, tais reduções podem acarretar estresse abiótico nas plantas. Deste modo, estudos que avaliam a hipótese de que a RPCP consiga manter a produtividade com redução na aplicação de fertilizantes já forneceram resultados preliminares promitentes (GROVER *et al.*, 2011).

Rizobactérias com a capacidade de solubilizar nutrientes insolúveis são biofertilizantes promissores (DAMAN *et al.* 2016) e vale a pena explorar para uso na produção de batata-doce. Bem como outras culturas, nutrientes importantes que limitam o crescimento da batata-doce são N, P, K, e embora o teor médio de P na maior parte dos solos seja se 0,05%, somente cerca de 0,1% está disponível livremente para ser absorvido pelas culturas devido a sua baixa mobilidade e solubilidade (JORQUERA *et al.*, 2011; ALORI *et al.* 2017). Estudos investigando a habilidade de espécies microbianas em solubilizar fósforo e potássio (YASIN; MUNIR; FAISAL, 2016) mostram o gênero *Bacillus* em destaque (PRAKASH; ARORA, 2019). Concentrações elevadas de NPK em brotos e tubérculos de batata-doce já foram observadas ao utilizar cepas de RPCP, em comparação ao tratamento controle sem cepas (FARZANA *et al.*, 2007);

A nutrição de P é essencial para o desenvolvimento do tubérculo na batata-doce, bem como na manutenção da alta taxa fotossintética durante o enchimento do tubérculo e melhoria do conteúdo de proteína (WU *et al.*, 2013; MISHRA; MOHAN; MISHRA, 2007). Hanif *et al.* (2015) em um experimento em casa de vegetação utilizando batata comum inoculada com *B. subtilis* e com adição de fitatos (substância orgânica de P na forma insolúvel), relatou aumento do comprimento de raízes e parte aérea, no peso seco e úmido de parte aérea e raízes, mostrando também o potencial da rizobactéria em converter o substrato orgânico de P. Em

outro estudo conduzido por Hassani *et al.* (2015) também utilizando batata comum, o *B. subtilis* mostrou efeito significativo no rendimento de tubérculos. Sabendo que as pontas e superfícies das raízes são locais onde ocorrem grande absorção de nutrientes, é possível que o mecanismo pelo qual as RPCP administram a crescente absorção de nutrientes seja mediante a estimulação do desenvolvimento radicular (YANG; KLOEPPER; RYU, 2009).

2.4.3 Maior resistência à estresses

Nos últimos anos, bioestimulantes estão em desenvolvimento com a promessa de auxiliar as plantas ao estresse abiótico (AKHTAR; SIDDIQUI, 2008; PORCEL; AROCA; RUIZ-LOZANO, 2012; WOO; PEPE, 2018). A definição para bioestimulante para as plantas é de qualquer substância e/ou microrganismo com finalidade em elevar a eficiência nutricional, tolerância a estresse abiótico, vigor, dentre outros, independente do seu teor nutricional (DU JARDIN, 2015). Atualmente, já é de grande interesse o uso de bioestimulantes com RPCP com a finalidade de aprimorar a germinação de sementes e sua capacidade emergencial sob estresse biótico e abiótico (SELVAKUMAR *et al.*, 2017; LIU *et al.*, 2017; COSTA-GUTIERREZ *et al.*, 2020; RAFIQ *et al.*, 2020).

O *Bacillus* spp. é uma das espécies de RPCP de biocontrole mais estudada em batata comum (PAVLO *et al.* 2011) e é considerado importante não só por suas habilidades bioprotetoras (promissor contra *Pectobacterium* spp e doenças transmitidas pelo solo da batata, como o cancro do caule e do estolão (CHOUDHARY *et al.*, 2009; LARKIN; TAVANTZIS, 2013), mas também devido a produção de endósporos que oferecem proteção contra estresses ambientais (ADESEMOYE *et al.*, 2017).

Estudos evidenciam a habilidade das RPCP em promover eficiência no uso da água em grandes culturas como o trigo, milho e alface (CREUS *et al.*, 2004; FIGUEIREDO *et al.*, 2008; MARULANDA; BAREA; AZCÓN, 2009). Li *et al.* (2016) notaram a influência do *B. subtilis* no fechamento dos estômatos, aprimorando o uso da água em *Vicia faba*. Outros autores (COHEN *et al.*, 2008; ZHANG *et al.* 2008; LI *et al.*, 2016) também observaram influência do *B. subtilis* na condutância estomática, persuadindo diretamente na capacidade fotossintética e na tolerância à desidratação celular. No trigo, valores superiores de taxa de assimilação de CO² em plantas

expostas ao estresse hídrico foram encontrados em plantas inoculadas com *B. subtilis* em comparação com as não inoculadas (BARNAWAL *et al.*, 2017).

Outro modo de mitigar as sequelas dos estresses abióticos pelo qual as RPCP atuam, é a redução de danos oxidativos causado pelas EROS (espécies reativas de oxigênio), mediante atividade enzimática antioxidante ou eliminatória das EROS, ambos acometidos pelas plantas em resposta a esses estresses (KANG *et al.*, 2014; YOU; CHAN, 2015).

2.4.4 Rizobactérias em batata-doce

Muito pouco ainda se sabe sobre os efeitos do *Bacillus* na rizosfera da batata-doce. De acordo com Hungria, Nogueira e Araujo (2013) e Aloo *et al.* (2019), muitas investigações ainda são necessárias para compreender tais mecanismos, uma vez que as informações sobre o papel de colonização e potencial de promoção de crescimento são amplamente inexploradas nessa cultura.

Em relatos que dizem respeito à atividade do *Bacillus* em batata-doce (variedade “Melody”), o autor Ekin (2009) concluiu que o *Bacillus* pode ser utilizado com a finalidade de promover o crescimento e otimizar a absorção mineral em batata-doce. As ramas foram tratadas com suspensão bacteriana (diluída em água deionizada) preparada em laboratório, e no tratamento contendo rizobactéria, houve aumento de 3,1% na altura; 23,1% no número de ramificações e 3,1% no peso dos tubérculos quando comparadas ao controle sem aplicação.

Marques *et al.* (2014) estudou *Bacillus* naturalmente retirado da própria rizosfera e replicado, revelando que a rizobactéria foi predominantemente enriquecida na rizosfera dos tubérculos de todos os três genótipos de batata-doce estudados. Segundo o autor, esses resultados são de suma importância, pois podem ser usados como informações valiosas para a seleção de RPCP para elevar a produtividade da batata-doce futuramente.

3. OBJETIVO

O objetivo desse estudo foi avaliar repostas biométricas, fisiológicas, bioquímicas e biológicas do solo em plantas de batata-doce inoculadas com fungo micorrízico e rizobactéria, de forma isolada.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação (com controle de temperatura e umidade), instalado na Área Experimental do Centro de Estudos em Ecofisiologia Vegetal do Oeste Paulista – CEVOP - UNOESTE, em Presidente Prudente/SP. As mudas de batata-doce foram obtidas a partir de plantas matrizes da variedade “Canadense” presentes no banco de germoplasma da UNOESTE. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, constando de 3 tratamentos (controle, inoculação com micorriza e inoculação com rizobactéria). Cada tratamento foi composto por 10 repetições, totalizando 30 vasos. Para fim de melhor correção e conhecimento da nutrição, foi realizada análise do solo.

TABELA 1. Características químicas do solo utilizado nos vasos.

Prof. (cm)	pH (CaCl ₂)	M.O. (g dm ⁻³)	P _{resina} (mg dm ⁻³)	H+Al	K	Ca	Mg	CTC	V
				—————(mmol _c dm ³)					%
0-15	4,2	3,5	9,1	24,2	0,8	4,9	1,2	31,1	22,3

Os vasos com capacidade para 8 litros foram preenchidos com solo corrigido quanto ao pH (elevação da saturação de bases para 70% CITAR A REFERÊNCIA PARA ESSA ELEVAÇÃO DE BASES). As mudas/ramas foram coletadas das plantas matrizes da coleção de germoplasma da batata-doce da UNOESTE, medindo-se 20cm a partir da região apical e plantadas nos vasos (uma rama por vaso).

No tratamento com o uso da micorriza, a inoculação ocorreu no momento do plantio. Utilizou-se 800g de solo micorrizado com a espécie *Rizopagus clarus* para cada quilo de solo no vaso (aproximadamente 2 esporos por grama de solo = 1600 esporos por vaso).

A adubação de plantio ocorreu de acordo com a análise do solo e a recomendação para a cultura, excluindo-se o fósforo apenas no tratamento com o fungo.

No tratamento com a rizobactéria, a inoculação ocorreu aos 30 dias após o plantio, aplicando-se a quantidade de 2 mL do isolado diluído em 100 mL de água deionizada diretamente na superfície do solo, com a finalidade de alcançar a quantidade de $5,0 \times 10^8$ bactérias por grama de solo. Para isso, foi utilizado o isolado de *Bacillus subtilis* AP-3, caracterizado por Araújo *et al.* (2005). A multiplicação do isolado bacteriano se deu em placas de Petri, com meio de cultura sólido ágar nutriente (3 g L^{-1} de extrato de levedura, 5 g L^{-1} de peptona e 20 g L^{-1} de ágar) e foram mantidas em estufa por 48 horas, a 32° C . Pelo método de diluição seriada e plaqueamento, a concentração da suspensão bacteriana foi calculada e ajustada para aproximadamente $5,0 \times 10^8$ UFC (unidades formadoras de colônias) por mL^{-1} . Dessa suspensão foi retirado o volume de inóculo para atender a concentração de bactérias a ser inoculadas no solo.

Os tratamentos (controle sem inoculação e inoculação de microrganismos) receberam duas adubações de cobertura com NPK aos 45 e 90 dias após o plantio das ramas nos vasos. No tratamento com micorriza, tanto a adubação de plantio como a de cobertura foram isentas de fósforo.

Para melhorar as condições de compactação do solo e prevenir a influência desse fator no desenvolvimento das plantas, houve adição de 2kg do substrato comercial (Carolina) esterilizado em todos os vasos aos 57 dias após o plantio (DAP). O experimento passou a receber irrigação automatizada diária quatro vezes ao dia até o final do experimento.

Ao final do período experimental (133 DAP) as plantas foram retiradas dos vasos, separando-se a parte aérea e as raízes. Foram coletadas 3 folhas frescas por planta com imediato congelamento das mesmas em ultrafreezer (-80° C) para posterior execução das análises bioquímicas.

O efeito da inoculação dos microrganismos sobre as plantas de batata-doce foi avaliado através de características fisiológicas, bioquímicas e de microbiologia do solo, a saber:

a) Parâmetros fisiológicos:

A área foliar (AF - cm²) foi avaliada por método destrutivo, através de medidor portátil de área (modelo LI - 3000A, LI-COR, USA), utilizando-se 4 plantas/repetições por tratamento.

Nas demais repetições foram determinadas as massas secas de parte aérea (folhas + hastes - g planta⁻¹) e raízes (raízes adventícias + raízes tuberosas não comerciais - g planta⁻¹) após a secagem das mesmas separadamente, em estufa com circulação de ar à temperatura de 70° C até a obtenção de peso constante. Posteriormente, calculou-se a área foliar específica (obtida pela relação entre a área foliar e a fitomassa seca das folhas), a razão de área foliar (obtida pela razão entre a área foliar e a fitomassa seca total das plantas) e a relação raiz / parte aérea (obtida pela divisão entre massa seca total de raiz e a massa seca da parte aérea) (QUEIROGA *et al.*, 2007).

b) Parâmetro Bioquímicos:

Extração de pigmentos foliares: a extração foi realizada em folhas frescas de acordo com o método de Wellburn (1994) acrescentando-se dimetilsulfóxido (DMSO) neutralizado com carbonato de cálcio às amostras de tecido foliar. As leituras efetuadas em espectrofotômetro, em triplicata, usando o DMSO como branco. Os valores são expressos em µg L⁻¹:

Teor de fenóis totais nas folhas: a determinação foi realizada no extrato etanólico foliar, de acordo com o método Folin-Ciocalteu e solução de carbonato de sódio 25 % (STAGOS *et al.*, 2012), usando ácido gálico como padrão. Os valores são expressos em µg.mL⁻¹.

Atividade antioxidante nas folhas: A determinação foi realizada no extrato etanólico foliar, de acordo com o método baseado na atividade sequestradora do radical livre DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazila), segundo a metodologia descrita por Blois (1958) com algumas modificações. As absorvâncias foram determinadas em espectrofotômetro UV-visível a 517nm.

Teor de macronutrientes nas folhas: os teores de N, P, K, Mg, Ca e S foram determinados em material seco conforme métodos descritos por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) e expressos em g kg⁻¹.

Colonização radicular para FMA: foram coletadas cerca de três raízes não tuberosas com no mínimo 1 cm de todas as plantas de todos os tratamentos e enviadas ao laboratório da Universidade Paranaense—UNIPAR para estimativa de colonização de FMA na raiz. As mesmas foram limpas em água deionizada, clarificadas em 10% KOH (90 °C for 1 h) e acidificadas com 5% HCl (90 °C for 30 min). Tonalizou-se com corante trypan azul e manter em banho maria (90 °C por 30 minutos). Após a coloração, as raízes foram preservadas em lactoglicérol, até a montagem das lâminas (PHILLIPS *et al.*, 1970). Os segmentos que foram colonizados foram observados em placas sobrepostas por lâminas. O resultado da colonização da raiz por FMA foi obtida pela equação: $Col.t = (\text{ArcSen}\sqrt{Col. (\%)/100}) \cdot (180/\pi)$, onde Col.t é colonização total; (%) porcentagem; Pi (π) proporção numérica derivada da relação entre as magnitudes do perímetro de uma circunferência e sua diâmetro com um valor de 3,14.

A taxa de colonização radicular foi determinada somente para o tratamento com a micorriza. O tratamento com a rizobactéria continha amostras de raízes adventícias finas e sem nodulações visíveis, tornando o processo de contagem da bactéria inviável, já que o mesmo é realizado pela contagem de nódulos.

c) Atividade biológica no solo:

No final do experimento foram coletadas amostras de solo as quais foram posteriormente encaminhadas para o laboratório, onde passaram por peneiramento e adequação de umidade para condição de capacidade de campo e em seguida foram encaminhadas para as seguintes análises biológicas: carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (FERREIRA *et al.*, 1999; TEDESCO *et al.*, 1995), atividade enzimática da desidrogenase (VAN OS; GINKEL, 2001) e fosfatase ácida (TABATABAI, 1994), respiração basal do solo (JENKINSON; POWLSON, 1976), quociente metabólico (calculado a partir da razão entre o C-CO₂ liberado pela respiração do solo pelo carbono da biomassa microbiana) (ANDERSON; DOMSCH, 1993).

Análise da biomassa microbiana do solo – carbono e nitrogênio (CBM e NBM): a análise de biomassa microbiana do solo - BMS foi realizada em duplicata, utilizando a metodologia descrita por Ferreira *et al.* (1999), onde o solo foi seco em estufa com ventilação a 30° C por 24 horas, após este processo as amostras foram passadas em peneira de 2,0 mm de malha. Depois foram pesadas em erlenmeyer de 250 mL, 2 amostras de 50 g de cada parcela, foram reumedecidas com 3 mL de água destilada para atingir aproximadamente 25% da capacidade de campo de um solo arenoso (REICHARDT, 1988), agitadas para uniformizar a distribuição da umidade e colocada 1 amostra de cada tratamento para irradiar no microondas por 70 segundos, tempo obtido pela fórmula:

$$T = r.m_t / P$$

Onde:

T= tempo real de exposição das amostras ao microondas.

R = 800J g⁻¹ de solo, quantidade de energia necessária para exposição;

m_t= Massa total das amostras a serem irradiadas em gramas;

P = Potência real do aparelho em W.

A potência real do aparelho foi calculada pela seguinte fórmula:

$$P = \frac{C_p \cdot K \cdot \Delta t \cdot m}{T}$$

Onde:

P = Potência real do aparelho em W;

C_p = 1 J ml⁻¹ °K⁻¹, capacidade da água de receber calor;

K = 4,184, fator de correção de cal m⁻¹ ° K⁻¹ para watts (J s⁻¹);

Δt = Variação de temperatura em °C de 1 L de água em 2 minutos de exposição;

m = 1000g, massa da água em gramas;

$t = 120s$, tempo de exposição da água ao microondas

As amostras irradiadas e não – irradiadas foram submetidas à extração com 50mL de Sulfato de Potássio - K_2SO_4 ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$) por 30 minutos, em agitador rotatório circular. Deixados decantar e filtrados em papel filtro. Deste filtrado, 10 mL foram utilizados para a análise do carbono e 10 mL foram guardados em tubo rosca mantidos sob refrigeração para a análise do nitrogênio da biomassa microbiana.

A determinação do Carbono nos extratos irradiados e não irradiados foi realizada utilizando-se 10 mL do extrato, oriundo dos 50mL após filtração, e adicionando-se em seguida 2 mL de $K_2Cr_2O_7$ ($0,066 \text{ mol L}^{-1}$), 10mL de H_2SO_4 concentrado e 5mL de H_3PO_4 concentrado. Após o resfriamento foi adicionado 50mL de água destilada.

A titulação foi feita utilizando sulfato ferroso amoniacal ($0,04 \text{ mol L}^{-1}$) com fenil-alanina como indicador.

O C extraído do solo foi calculado pela fórmula:

$$C \text{ (mg kg}^{-1}\text{)} = \frac{(V_b - V_a) \cdot N \cdot 1000 \cdot V_{\text{extrator}}}{(\text{volume do extrato} \times \text{massa do solo seco})}$$

Onde:

C = carbono extraído do solo;

V_b = Volume (mL) do $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ gasto na titulação do branco;

V_a = Volume (mL) do $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ gasto na titulação da amostra;

N = normalidade exata do $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$, $N = 0,677$;

V_{extrator} = Volume de K_2SO_4 utilizado na extração = 50mL;

V_{extrato} = Volume de K_2SO_4 utilizado para análise = 10mL;

Massa do solo seco em gramas = 50g

O C_{mic} é calculado pela fórmula:

$$C_{mic} \text{ (mg Kg}^{-1}\text{)} = C_I - C_{NI}$$

K_{ec}

Onde:

C_i = carbono extraído do solo irradiado

C_{NI} = carbono extraído do solo não irradiado

K_{ec} = proporção total do carbono microbiano extraído após irradiação = 0,21 (FRIGHETTO, 2000). O fator de correção K_{ec} citados na literatura são muito variáveis (0,21 a 0,45), não havendo um consenso a respeito do valor a ser utilizado. Neste trabalho adotou-se o valor de 0,21 (FRIGHETTO, 2000).

Para a determinação do nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), os extratos foram submetidos ao método da ninhidrina (JOERGENSEN; BROOKES, 1990), retirando 0,6 mL do extrato, adicionando 1,4 mL de ácido cítrico ($0,1 \text{ mol L}^{-1}$) e 1 mL do reagente ninhidrina, as amostras foram levadas ao banho-maria a 100°C por 20 minutos. A solução é deixada para ficar em temperatura ambiente e adicionado 4 mL de etanol, procedendo a realização da leitura no espectrofotômetro a 570 nm de comprimento de onda.

Respiração do solo: A respiração do solo foi avaliada segundo Alef e Nannipieri (1995). Foram utilizadas amostras de 50g de solo. Estas foram homogeneizadas e mantidas dentro de frascos herméticos. Sobre a superfície do solo, em cada frasco colocou um becker de 50 ml contendo 40 mL de solução de NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$. Os frascos ficaram incubados pelo período de 24 horas. Para avaliar a retenção de CO_2 na solução, utilizou o método condutimétrico (RODELLA; SABOYA, 1999) com leitura de condutividade na solução de NaOH após 24 horas, empregando-se um condutivímetro HI99301 (Hanna instruments). A quantidade de CO_2 produzida pela respiração foi calculada utilizando-se fórmula definida por Rodella e Saboya (1999) e os resultados foram expressos em $\text{mg de C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

Quociente metabólico ($q\text{CO}_2$): O quociente metabólico foi calculado a partir da razão entre o C-CO_2 liberado pela respiração do solo pelo C na biomassa microbiana, expresso em $\text{mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ BMS} - \text{C h}^{-1}$ (ANDERSON; DOMSCH, 1993).

Atividade da enzima desidrogenase (ED): A atividade da enzima desidrogenase foi estimada segundo Van Os e Ginkel (2001), foram realizadas em

triplicatas, sendo pesadas 5 g de solo de cada amostra, e estas foram colocadas em tubos de ensaio. Posteriormente, foram adicionados 2 mL da solução T.T.C a 1%, juntamente com 1mL de glicose a 0,1%. Na amostra “branco” foram adicionadas 1mL de glicose a 0,1% e 2 mL de solução tampão tris a 0,1M (pH= 7,6). As amostras foram misturadas em agitador tipo VORTEX e incubadas em tubo de ensaio a 30 °C, por 18h. Após a incubação, foi adicionado 9 mL de metanol em todas as amostras, e logo em seguida, foram filtradas para a realização da leitura no espectrofotômetro em 530nm. Os resultados foram ajustados em curva padrão e expressos na forma de concentração de TTF – formazan ($\mu\text{g.g}^{-1}$).

Atividade da enzima fosfatase ácida (FA): A atividade da fosfatase ácida realizada segundo a metodologia proposta por Tabatabai (1994). Foram realizadas em triplicadas, sendo pesadas amostras de 1 g de solo em tubos de ensaio. Às amostras de solo foram adicionados 1 mL de p-nitrofenyl fosfato e 4 mL de tampão MUB (pH 6,5) para realização da atividade fosfatase ácida. Após incubação (37 °C, 1 hora) foram adicionados 1 mL de CaCl_2 0,5 M e 4,0 mL de NaOH 0,5 M à suspensão de solo, e filtradas (Whatman n1). Nos controles, a solução de p-NPP 0,025 M foi acrescentada 1 mL de CaCl_2 0,5 M e 4 mL de NaOH 0,5 M. A atividade da fosfatase foi obtida pela quantificação espectrométrica a 400 nm do p-nitrofenol liberado na mistura filtrada.

d) Análise estatística dos resultados

Todos os dados foram submetidos ao teste de normalidade por Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk e teste de homogeneidade de variância pelo teste de Leveni ($p \leq 0,05$). Quando significativos, os parâmetros foram submetidos ao teste de Tukey ($p < 0,05$). Toda a análise estatística dos dados foi realizada utilizando o software SAS 9.2.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises fisiológicas

5.1.1 Biomassa da parte aérea, raiz e área foliar

Não houve diferenças visuais no estado das plantas de todos os tratamentos durante o período do experimento (Figura 1). Os valores de massa seca de folhas e hastes, e área foliar não diferiram significativamente entre os tratamentos (Tabela 2).

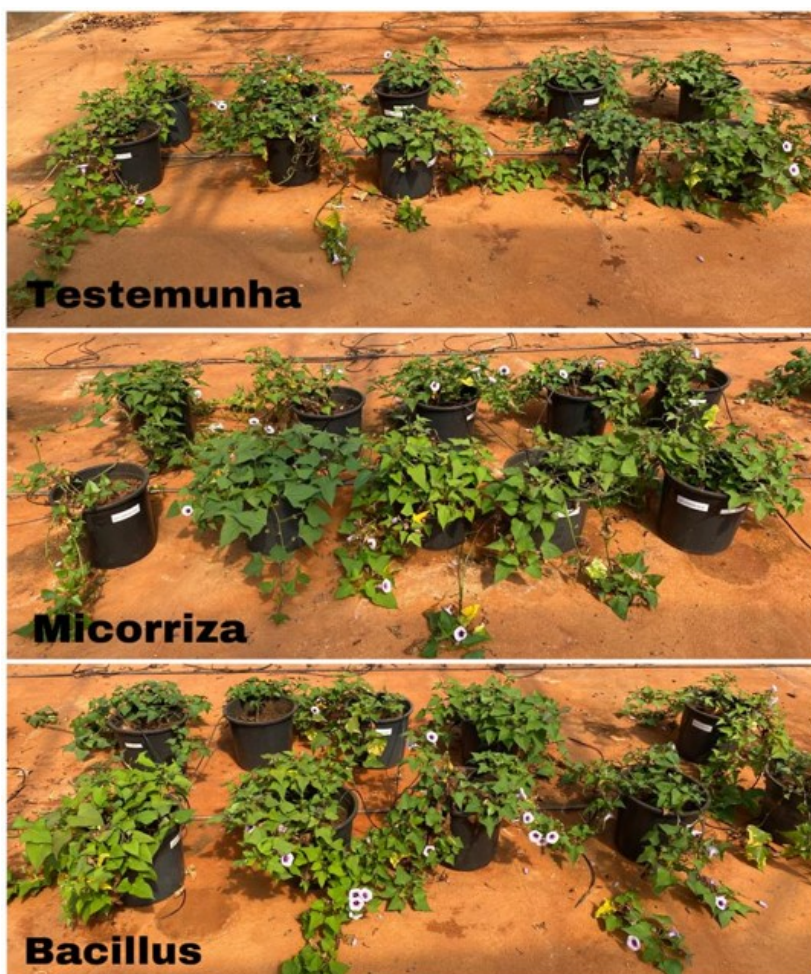


Figura 1- Comparação visual dos tratamentos antes da colheita, plantas com 133 DAP. Fonte: autoral.

TABELA 2 – Massa seca de folhas, hastes, parte aérea e área foliar de plantas de batata-doce inoculadas com rizobactéria (*Bacillus subtilis*) e fungo micorrízico (*Rizhophagus clarus*).

Tratamento	Massa seca (g/planta ⁻¹)			Área foliar (cm ²)
	Folhas	Hastes	Folhas+hastes	
Controle	15,74 a	23,47 a	39,18 a	3587,77 a
Micorriza	17,15 a	27,36 a	41,68 a	3124,60 a
Rizobactéria	18,07 a	25,61 a	43,05 a	3587,43 a
C.V. (%)	18,92	18,13	22,17	13,42

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação às raízes tuberosas, houve diminuição das massas fresca e seca para o tratamento com micorriza, em comparação ao controle (Tabela 3 e Figuras 2). É provável que no tratamento com micorriza o baixo teor de P disponível no solo foi insuficiente para suprir as necessidades da planta, o que afetou o processo de tuberização, sendo que não houve compensação dessa menor disponibilidade de fósforo pela atividade do fungo micorrízico. Ferreira *et al.* (2018), relatou o aumento da produção de matéria seca da raiz em *Mucuna cinereum* favorecido pela adição de P no solo em tratamentos com o FMA *Rizhophagus clarus*.

As plantas inoculadas com a rizobactéria não apresentaram diferenças em relação às plantas controle quanto às massas fresca e seca de raízes tuberosas (Tabela 3 e Figura 3). Entretanto, em estudos realizados por Ekin *et al.* (2009) com batata inglesa e Yasmin, Othman e Maziz (2020) com batata-doce, há relatos positivos quanto ao maior rendimento de tubérculos e raízes tuberosas em resposta à aplicação de *B. subtilis* associada à fertilização nitrogenada. Ambos os autores citados utilizaram ramas tratadas com suspensão bacteriana preparadas localmente. Ekin *et al.* (2009) trabalharam com uma concentração final de 109 CFU mL⁻¹ e prepararam seu solo com NPK em plantio e pós plantio, quando as plantas se encontravam com 15-25 cm de altura, enquanto Yasmin, Othman e Maziz (2020) administraram três doses de fertilizante nitrogenado nos tratamentos microbianos, além do P e K, e não citou a concentração de rizobactéria utilizada.

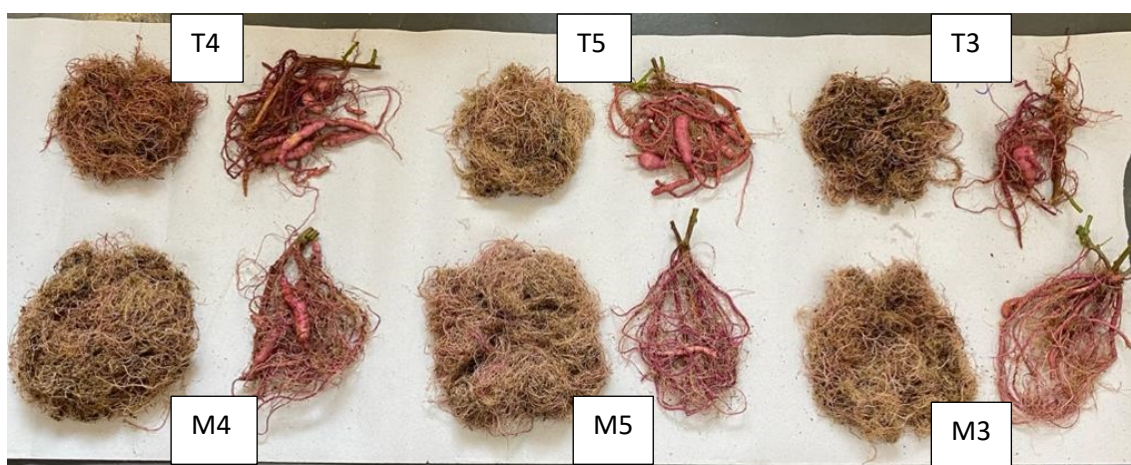
Efeitos semelhantes de aumento de produção de tubérculos também foram encontrados por Uysa e Kantar (2020) em batata inglesa inoculada com as rizobactérias *Bacillus subtilis*, utilizando uma metodologia alternativa das citadas anteriormente. A autora aplicou fertilizante microbiano, mistura comercial contendo três cepas de *B. subtilis* VKPM B-10641 (DSM 24613), *B. amyloliquefaciens* VKPM B-10642 (DSM 24614) e *B. amyloliquefaciens* B-10643 (DSM 24615), (1mL/ 10L de água) nas ramas durante o plantio e posteriormente, com o mesmo produto, mas na quantidade de 1 mL/100 L água/ha no início da floração. A concentração bacteriana do fertilizante comercial é de 1×10^9 cfu/ml, disponível em frascos com 10 ml.

TABELA 3 – Massas fresca (MF) e seca (MS) de raízesz tuberosas e adventícias em plantas de batata-doce inoculadas com rizobactéria (*Bacillus subtilis*) e fungo micorrízico (*Rizhophagus clarus*).

Tratamentos	Raiz tuberosa		Raiz adventícia	
	----- (g/planta ⁻¹) -----			
	MF	MS	MF	MS
Controle	116,75 a	66,40 a	135,75 a	34,29 a
Micorriza	64,20 b	19,51 b	164,66 a	28,13 a
Rizobactéria	99,50 a	58,45 a	176,57 a	36,18 a
C.V. (%)	42,08	55,61	30,92	59,37

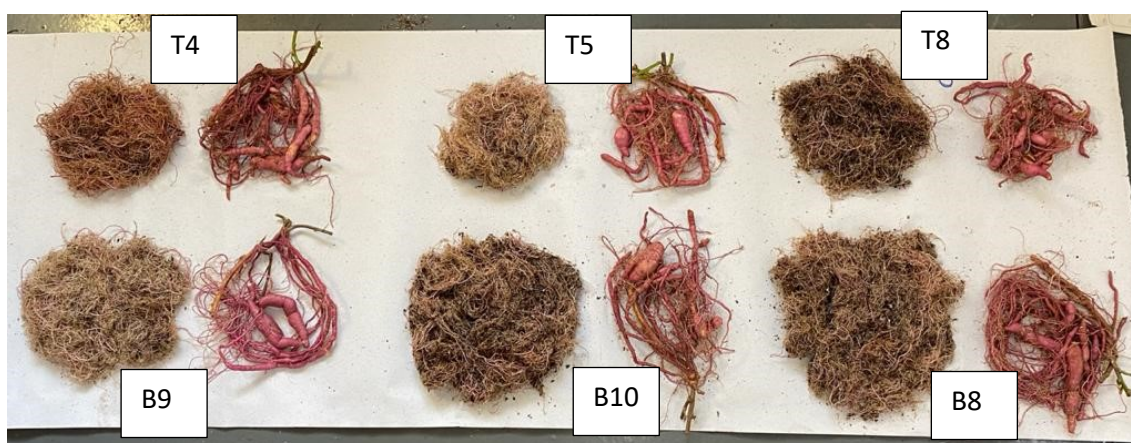
*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 2- Raízes adventícias e raízes tuberosas em plantas de batata doce inoculadas com *Rizophagus clarus* (T= testemunha; M= micorriza).



Fonte: autoral.

Figura 3 – Raízes adventícias e raízes tuberosas em plantas de batata doce inoculadas com *Bacillus subtilis* (T= testemunha; B= rizobactéria.)



Fonte: autoral.

Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos com inoculação de microrganismos em relação ao controle quanto aos parâmetros de área foliar específica e razão de área foliar (Tabela 4), demonstrando a ausência de efeitos positivos da inoculação sobre o crescimento das plantas. Assis *et al.* (2020), em seus estudos com *Melissa officinalis* L. encontraram resultados que mostram a influência do teor de matéria orgânica no solo sob a atividade do FMA em relação a AFE, onde, tratamentos com fertilização orgânica + fungo apresentaram médias significativamente maiores do que nos tratamentos sem adição de matéria orgânica. No presente estudo, o teor de MOS no solo utilizado para o experimento foi de 3,5

g/dm³, considerado baixo, fator este que pode ter influenciado para a baixa atividade dos microrganismos.

A relação raiz / parte aérea foi 25% maior nos tratamentos com micorriza, quando comparadas ao controle (Tabela 4). Isto significa que as plantas inoculadas com o fungo micorrízico apresentaram maior crescimento do sistema radicular (raízes adventícias e tuberosas em conjunto) em relação à parte aérea.

TABELA 4 – Parâmetros de área foliar específica (AFE), razão de área foliar (RAF) e relação raiz/parte aérea (R/PA) em plantas de batata-doce inoculadas com rizobactéria (*Bacillus subtilis*) e fungo micorrízico (*Rizhophagus clarus*).

Tratamentos	AFE	RAF	R/PA
Controle	182,88 a	26,09 a	1,52 b
Micorriza	173,65 a	32,33 a	1,90 a
Rizobactéria	154,64 a	21,31 a	1,52 b
C.V. (%)	21,70	24,67	19,70

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

5.1.2 Nutrição

Em relação ao teor de macronutrientes nas folhas, verifica-se que as plantas inoculadas com micorriza apresentaram concentração de P semelhante às plantas controle (Tabela 5), apesar de não terem recebido adubação fosfatada. Os FMA são de grande importância para ciclo do P (fornecendo fosfato inorgânico do solo para as plantas e o convertendo em fosfato orgânico) (MUKHONGO *et al.*, 2017). Moreira e Siqueira (2002) relatam a importante influência da quantidade desse nutriente aos FMA que estão no solo, enfatizando o favorecimento da germinação e crescimento assimiótico, quando o P se encontra em baixas quantidades.

Neumann *et al.* (2009), enfatizam a simbiose entre a batata-doce e os FMA como eficiente na disponibilização do P. Segundo Smith e Read (2008), a presença de P no solo podem influenciar a capacidade de associação entre o FMA e o sistema radicular das plantas. As plantas também podem afetar essa conexão; o micélio fúngico que cresce nas plantas é controlado pela homeostase da mesma, enquanto

o micélio fúngico que cresce no solo é controlado pelas condições ambientais (SMITH; SMITH, 2011).

Já no tratamento com *B. subtilis*, no qual houve adição de P ao solo, o teor desse nutriente nas folhas não foi diferente em relação ao tratamento controle (Tabela 5). Este fator pode ser explicado pelo próprio mecanismo de ação da rizobactéria, que consiste em diminuir as buscas para solubilização do P imobilizado no solo quando o nutriente já se encontra disponível (pela adubação fosfatada de plantio e de cobertura) e vice-versa (ALORI *et al.*, 2017).

Em relação aos demais macronutrientes, foram verificados menores teores de Ca e Mg nas plantas inoculadas com a micorriza e maior teor de K nas plantas inoculadas com a rizobactéria (Tabela 5). A elevação do teor de K é interessante para as hortaliças que produzem raízes tuberosas como a batata-doce por este elemento estar relacionado com atividades importantes de enzimas de ativação, formação de proteínas, fotossíntese e respiração (FIGUEIREDO, 2019). Echer *et al.* (2015) citam o K como nutriente importante para formação dos tubérculos da batata doce.

TABELA 5 – Teor foliar de macronutrientes em plantas de batata-doce inoculadas com rizobactéria (*Bacillus subtilis*) e fungo micorrízico (*Rhizophagus clarus*).

Tratamentos	N TOTAL	P	K	Ca	Mg	S
----- (g/Kg ⁻¹) -----						
Controle	20,79 a	1,63 a	15,22 b	11,42 a	5,70 a	1,49 a
Micorriza	18,72 a	1,50 a	17,89 b	9,42 b	3,88 b	1,31 a
Rizobactéria	20,11 a	1,53 a	22,84 a	11,14 a	4,83 ab	1,31 a
C.V. (%)	21,80	11,80	22,30	16,69	24,80	23,06

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na análise do teor de macronutrientes radicular, verificou-se menor teor de Ca nas raízes das plantas inoculadas com micorriza em relação ao controle (Tabela 6). As plantas inoculadas com a micorriza apresentaram maior teor de N em relação às plantas inoculadas com a rizobactéria (Tabela 6). Amezquita *et al.* (2011) encontrou efeito positivo no teor de N nos tecidos de *Acacia mangium* inoculadas com FMA. Segundo George *et al.* (1992) quando o N se encontra na forma de

amônio, observa-se o aumento de sua absorção em plantas micorrizadas, as hifas penetram com mais facilidade em material orgânico em decomposição, devido ao seu pequeno diâmetro, competindo melhor pelo N que foi recentemente mineralizado (HODGE, 2001).

TABELA 6 – Teor de macronutrientes nas raízes adventícias de plantas de batata-doce inoculadas com rizobactéria (*Bacillus subtilis*) e fungo micorrízico (*Rizhophagus clarus*).

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
----- (g/Kg ⁻¹) -----						
Controle	6,99 ab	0,39 a	0,78 a	1,46 a	8,70 a	0,88 a
Micorriza	9,59 a	0,67 a	2,77 a	1,63 b	11,48 a	1,00 a
Rizobactéria	6,56 b	0,44 a	0,74 a	1,41 a	11,09 a	0,92 a
C.V. (%)	35,80	58,20	19,40	14,07	62,70	48,30

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Um ponto importante a se destacar é a necessidade de uma afinidade entre a planta hospedeira e a espécie de micorriza para uma efetiva associação. Estudos tem demonstrado que as diferentes espécies de FMA e até mesmo diferentes isolados de uma mesma espécie diferem em sua habilidade em promover a absorção de nutrientes e o crescimento da planta, podendo haver aumento, decréscimo ou pouco efeito. Gai *et al.* (2006) avaliaram os efeitos de diferentes isolados de FMA retirados da rizosfera em áreas de cultivo de batata-doce, verificando que os mais eficientes dentre todos os testados foram espécies do gênero *Glomus*, capaz de aumentar a absorção de P e a biomassa em geral, enquanto os outros se mostraram pouco eficientes. Portanto, a ausência de respostas de promoção de crescimento observada neste experimento pode ser em parte atribuída à baixa afinidade entre a batata-doce e a espécie *Rizhophagus clarus*. Um estudo mais aprofundado e abrangendo a comunidade micorrízica torna-se necessário para responder se o *R. clarus* foi incapaz de estabelecer-se corretamente no solo, ou se o tempo do experimento foi insuficiente para promoção de benefícios à planta.

5.2 Análises bioquímicas

Nas folhas da batata-doce são encontrados diferentes compostos fenólicos com atividade biológica, os quais geralmente se apresentam em maior concentração do que nas raízes tuberosas, destacando-se os ácidos fenólicos, flavonoides e antocianinas (WANG *et al.*, 2018).

Já é de interesse de alguns pesquisadores buscar aumentar a síntese de fenóis e flavonoides em lavouras por meio de técnicas de manejo no campo. As plantas são aptas a interagir com uma ampla variedade de estímulos de fontes internas e externas para modificar suas atividades metabólicas. Alguns compostos conhecidos como elicitores ou bioestimulantes aumentam a síntese de fitoquímicos em plantas que possuem importante função de defesa em situações de estresses bióticos e abióticos, tais como os fenóis e os flavonóides (GHASEMZADEH *et al.*, 2016). A inoculação das plantas com micorriza resultou em aumento no teor de compostos fenólicos totais nas folhas da batata-doce e redução no teor de flavonoides e beta caroteno, em relação ao tratamento controle (Tabela 7).

TABELA 7 – Teor foliar de compostos fenólicos totais e flavonoides totais e teor de beta-caroteno nas raízes de plantas de batata-doce inoculadas com rizobactéria (*Bacillus subtilis*) e fungo micorrízico (*Rizhophagus clarus*).

Tratamentos	Fenóis	Flavonóides	β-Caroteno
	----- (ug.mL ⁻¹) -----		
Controle	22,18 b	4350,99 a	1,52 a
Micorriza	54,14 a	2526,66 b	0,76 b
Rizobactéria	19,15 b	4085,33 a	1,75 a
C.V. (%)	97,31	21,84	13,15

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A eficiência da micorriza em elevar compostos secundários pode estar relacionada a capacidade de aumento do número de plastídios, mitocôndrias,

absorção de nutrientes e da indução de respostas de defesa na planta. Todos esses fatores podem favorecer o aumento de compostos biologicamente ativos (CECCARELLI *et al.*, 2010). Isso acontece devido à indução do sistema antioxidante da planta em resposta ao FMA, desempenhando papel importante na tolerância da planta às condições de estresse (LATEF; HAMED, 2011). Resultado semelhante foi encontrado por Riter Netto *et al.* (2014), em estudos com maracujá (*Passiflora alata*), onde o autor discorre sobre a relação entre fenóis e adubação fosfatada, relatando redução de 73% nos teores de fenóis no tratamento com adição de P e sem inoculação de FMA.

O β -caroteno é um pigmento de coloração alaranjada ao vermelho, abundante em plantas e frutos, pertencente à família dos carotenoides. Em folhas, pode ser encontrado nos centros de reação dos fotossistemas exercendo papel fotoprotetor contra danos oxidativos (GUL *et al.*, 2015; JING *et al.*, 2016). O teor de β -caroteno nas raízes de batata doce foi menor nas plantas inoculadas com FMA (Tabela 7). Este resultado difere daquele obtido por Tong *et al.* (2013), onde a inoculação de batata doce com os FMA *Glomus intrarradices* e *Glomus mosseae* associada com baixo suprimento de fósforo às plantas resultou em maiores concentrações de β -caroteno nas raízes tuberosas.

As clorofilas (clorofila a, clorofila b e clorofila total) são pigmentos que estão integralmente ligados às funções fisiológicas das folhas, absorvem energia luminosa e a transferem ao aparato fotossintético (SIMS; GAMON, 2002), permitindo-se estabelecer uma associação direta entre a concentração de clorofilas e o potencial de atividade fotossintética da planta (ALMEIDA *et al.*, 2014).

Na fotossíntese estão envolvidos os pigmentos: clorofilas *a* e *b*, carotenóides e as ficobilinas. As clorofilas *a* e *b* são utilizadas na etapa fotoquímica, o primeiro estágio dos processos fotossintéticos (ALMEIDA, *et al.*, 2014), enquanto que os outros pigmentos atuam na absorção de luz e no transporte de energia radiante para os centros de reação, sendo chamados de pigmentos acessórios (STREIT *et al.*, 2005). Nas plantas, os carotenoides também atuam como reguladores de estresse (DIVYA *et al.*, 2018)

As plantas inoculadas com FMA apresentaram maiores teores de clorofilas *a*, *b*, total e carotenóides em relação às plantas controle (Tabela 8), resultados estes semelhantes ao estudo de Rafiq *et al.* (2015) com batata inglesa (variedade Jyoti). Em condições de carência de P, as plantas liberam estrigolactonas, sintetizadas a

partir dos carotenoides, que são percebidos pelo FMA como molécula de sinalização e despertam múltiplas respostas como: alongamento das hifas, germinação de esporos, formação de hifópodes, dentre outros (AKIYAMA *et al.*, 2005). Estudos sugerem que há diferentes finalidades para a via dos carotenoides na simbiose com o FMA, atuando como sinalizadores durante a pré-simbiose; marcadores da colonização na raiz e caule; e como medidor indireto da ativação do sistema de defesa da planta (KAUR; SUSEELA, 2020).

TABELA 8 – Pigmentos fotossintéticos em plantas de batata-doce inoculadas com rizobactéria (*Bacillus subtilis*) e fungo micorrízico (*Rizhophagus clarus*).

Tratamentos	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total	Carotenoides
----- (ug/g ⁻¹ m.f) -----				
Controle	7,72 b	1,43 b	9,15 a	2,17 b
Micorriza	9,37 a	1,76 a	11,13 a	2,75 a
Rizobactéria	7,66 b	1,43 b	9,09 a	2,47 ab
C.V. (%)	13,39	12,47	14,26	13,99

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A colonização micorrízica é uma característica que pode ser afetada por inúmeros fatores, dentre eles, a própria espécie vegetal, a densidade de raízes, o manejo adotado, entre outros (AFEK *et al.* 1990). Os tratamentos controle e micorriza apresentaram resultados semelhantes de taxa de colonização radicular (Tabela 9), já o tratamento com a rizobactéria apresentou menor taxa em relação ao controle. Apesar das plantas controle não terem recebido qualquer tipo de inoculação, havia a presença de FMA nas raízes. Isso pode ser explicado pela presença de diversas colônias microbianas nativas no solo que foi utilizado para a montagem do experimento.

É válido destacar que um dos motivos do valor inferior encontrado no tratamento com rizobactéria é o comportamento repelente do *Bacillus S.* em meio a outros microrganismos, que através da formação de biofilme, domina maior parte da raiz, impedindo nesse caso a colonização do fungo micorrízico.

Os resultados para colonização radicular de micorrizas encontrados no presente estudo diferem-se dos relatados por Mustafa *et al.* (2016), que afirmam que a redução no teor de P ocasiona o aumento significativo no percentual de micorrização nas raízes. Tal questão pode ser explicada por uma elevação na permeabilidade da membrana celular, induzindo a liberação de metabólitos importantes pela raiz, para o desenvolvimento inicial dos esporos, já que no tratamento controle houve adição de P no plantio e posteriormente em cobertura. Endres (2018) obteve resultado semelhante ao encontrar alta porcentagem de colonização de FMA em raízes de tabaco do tratamento controle (sem inóculo), demonstrando que a cultura é altamente micotrófica.

TABELA 9 – Colonização radicular de micorriza em plantas de batata-doce inoculadas com rizobactéria (*Bacillus subtilis*) e fungo micorrízico (*Rizophagus clarus*).

Tratamentos	%Col. radicular
Controle	86,07 a
Micorriza	87,07 a
Rizobactéria	79,03 b
C.V. (%)	8,14

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

A CBM, atividade enzimática e taxa de respiração são ferramentas que indicam sensíveis alterações ambientais e auxiliam no planejamento das práticas do manejo do solo (SPADOTTO *et al.*, 2004). A biomassa microbiana é importante para compreender a decomposição dos resíduos orgânicos, a ciclagem de nutrientes e o fluxo de energia do solo, podendo influenciar tanto no estoque de carbono e outros nutrientes minerais, quanto na transformação da MOS (matéria orgânica do solo) (JENKINSON; LADD, 1981). Um solo com maior biomassa microbiana é tido como saudável biologicamente, contribuindo com a necessidade nutricional da cultura (ALVES, 2014).

As análises de microbiologia do solo mostraram que o teor de N na biomassa microbiana (NBM) foi superior no tratamento com *R. clarus* em comparação ao tratamento com rizobactéria, e o oposto aconteceu no CBM, onde

obtivemos resultado inferior no tratamento com a micorriza em relação aos demais (Tabela 10). Valores elevados desses parâmetros apontam atividade de imobilização temporária dos nutrientes, resultando em menores perdas destes nutrientes no sistema solo-planta (SOUZA FERRARI *et al.*, 2020).

TABELA 10– Carbono da biomassa microbiana (CBM), nitrogênio da biomassa microbiana (NBM); atividade enzimática da desidrogenase (AED), respiração basal do solo (RBS), atividade enzimática da fosfatase ácida (FA) e quociente metabólico (qCO_2) do solo cultivado com plantas de batata-doce inoculadas com rizobactéria (*Bacillus subtilis*) e fungo micorrízico (*Rizhophagus clarus*).

Tratamentos	CBM	NBM	AED	RBS	FA	qCO_2
	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(ug TTF/g)	(mg CO ₂ dia ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg/kg/h)
Controle	99,14 a	9,98 a	0,52 b	3,57 c	52,88 a	0,03 b
Micorriza	79,81 b	10,17 a	1,08 a	6,07 b	63,68 a	0,07 a
Rizobactéria	103,29 a	7,316 b	0,99 a	7,39 a	50,58 a	0,07 a
C.V. (%)	15,22	15,95	44,53	20,30	28,20	28,01

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A análise de respiração basal do solo (RBS) consiste em medir a liberação de CO₂ decorrente da atividade metabólica do solo de microrganismos e raízes vivas (MEDEIROS *et al.*, 2019). Nos tratamentos com FMA e rizobactéria houve aumento da RBS em relação ao controle (Tabela 10), confirmando a presença destes microrganismos no solo. Observa-se ainda que no tratamento com FMA houve menor valor da RBS em relação ao tratamento com a rizobactéria. Tal fato pode ser explicado pelo menor período de sobrevivência dos FMA no solo (KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010).

A atividade da enzima desidrogenase no solo retrata a ação oxidativa total da microbiota, e como é intracelular de baixa atividade, quando esta enzima se encontra em condições livres no solo, pode funcionar como um bom indicador da atividade microbiana (GARCIA; HERNANDEZ; COSTA, 1997). Ambos os tratamentos com microrganismos mostraram boa relação com a atividade da enzima desidrogenase (Tabela 10). Já em relação à enzima fosfatase ácida, não houve diferença entre os tratamentos. Ferreira *et al.* (2018) mencionam em seu estudo com

Mucuna cinereum utilizando *Rizophagus clarus* que a atividade das fosfatases ácidas no solo também não foi influenciada pela inoculação de FMA.

O índice de quociente metabólico de CO₂ foi maior nos dois tratamentos com inoculação dos microrganismos (Tabela 10); resultado este semelhante ao encontrado por Lermen, Mohr e Alberton (2015) em seu estudo com capim-limão utilizando FMA. O qCO₂ é considerado como indicador de estresse microbiano, onde valores inferiores podem indicar baixo uso de energia e demonstram um ambiente mais estável ou mais próximo de seu equilíbrio, em contrapartida, valores altos indicam condições de estresse ou perturbações (LERMEN; MOHR; ALBERTON, 2015). Segundo Matsuoka (2006) é preciso atentar-se que apenas 15 a 30% da biomassa microbiana do solo é metabolicamente ativa, o índice de qCO₂ representa apenas a atividade microbiana em relação a todo o C presente da biomassa microbiana.

Segundo Tótola e Chaer (2002) altas taxas de respiração nem sempre indicam condições desejáveis, podendo significar a curto prazo liberação de nutrientes para as plantas e, a longo prazo perda de carbono orgânico do solo para a atmosfera. Já em relação ao qCO₂ baixas taxas indicam economia na utilização de energia podendo estar relacionado a um ambiente mais estável ou próximo do seu estado de equilíbrio. E uma alta taxa de respiração pode indicar tanto um distúrbio ecológico, como um alto nível de produtividade do ecossistema (ISLAM; WEIL, 2000; TU; RISTAINO; HU, 2006). Segundo Moreira e Siquera (2006) pode haver variação de comportamento da população microbiana de acordo com a espécie vegetal, até mesmo entre diferentes variedades, em virtude da diferença qualitativa e quantitativa dos exsudados liberados. Segundo as características químicas do solo do presente estudo, o teor de M.O é de 3,5 g/dm³ (Tabela 1) considerado baixo (arenoso) segundo o Instituto Agrônômico (IAC), por esta razão o teor de qCO₂ encontra-se elevado e em desequilíbrio nos tratamentos com microrganismos, já que os mesmos, ao serem adicionados, geraram consumo de M.O.

5.3. Considerações Finais

Após a inoculação micorrízica e da rizobactéria, espera-se que as plantas apresentem maior crescimento vegetal, massa seca da parte aérea e raiz, melhor

estado nutricional, se tratando principalmente do P, maior produção de metabólitos secundários e outros. Entretanto, essas condições não foram observadas na grande maioria dos parâmetros analisados no presente trabalho. Em outros estudos utilizando fungos micorrízicos arbusculares, os autores atribuíram a carência de benefícios da inoculação à comunidade nativa, ressaltando a necessidade da presença dos fungos nativos no solo inoculado com FMA para que possa acontecer a expressão dos seus possíveis efeitos, destacando a importância dessa associação e a falta de benefício às plantas em solos que são esterilizados (SILVA; SIQUEIRA; STÜRMER, 2009; TAFFOUO *et al.*, 2014).

Embora a habilidade de diferentes espécies isoladas de FMA em colonizar a raiz das plantas tenha sido demonstrada experimentalmente em plantas envasadas, é visto que nos ecossistemas naturais ou em áreas agrícolas, o sistema radicular de uma planta é geralmente colonizado por comunidades mistas de fungos micorrízicos arbusculares, envolvendo várias espécies (YANG *et al.*, 2010). Essa múltipla inoculação possibilita que os isolados fúngicos atuem em sinergismo, oferecendo benefícios para a planta hospedeira.

Em relação à rizobactéria, os estudos com a utilização de *Bacillus subtilis* em outras culturas são extensivos, entretanto, em batata doce ainda são iniciais. Pesquisas futuras são necessárias para uma melhor compreensão dos mecanismos de ação da rizobactéria na planta de batata doce e na sua produção de raízes tuberosas, tais como capacidade de colonização, solubilização de nutrientes, dentre outros, para facilitar seu uso como componente sustentável na produtividade dessa cultura. Estudos em batata inglesa (*Solanum tuberosum* L.) (WU *et al.*, 2013) e outras diversas hortaliças tuberosas (GUIMARÃES *et al.*, 2016) mostram comunidades diversas de bactérias que habitam sua rizosfera, enfatizando a importância de se conhecer melhor o modo de ação destes microrganismos benéficos para possibilitar sua aplicação ao cultivo sustentável da batata doce,

Diversas revisões discutem a interação entre rizobactérias e micorrizas nos quesitos promoção de crescimento, biofortificação e controle biológico em condições normais (sem estresse) ou em estresse, dentre outros (NADEEM *et al.*, 2014). A avaliação das diferentes metodologias de aplicação dos microrganismos, a associação destes com a fertilização das plantas e o estudo dos múltiplos fatores atuantes nos diferentes ambientes agrícolas é de suma importância para a obtenção de resultados positivos da utilização destes microrganismos.

6. CONCLUSÃO

A inoculação das plantas de batata doce com o fungo micorrízico arbuscular *Rhizophagos clarus* promoveu aumento no teor de clorofilas, carotenoides e fenóis totais nas folhas; assim como na atividade da enzima desidrogenase e respiração basal do solo. Proporcionou aumento na de 25% razão raiz/parte aérea das plantas. Não houve efeito deste microrganismo sobre o crescimento da parte aérea; porém ocorreu redução na massa seca de raízes adventícias e tuberosas.

A inoculação das plantas de batata-doce com a rizobactéria *Bacillus subtilis* proporcionou aumento de 50% na concentração de potássio foliar, mas não resultou em diferenças tanto na massa seca da parte aérea e radicular como nos parâmetros bioquímicos avaliados, ocorrendo apenas aumento da atividade da enzima desidrogenase e da respiração basal do solo.

REFERÊNCIAS

- ACUÑA, J. J. *et al.* Indole acetic acid and phytase activity produced by rhizosphere bacilli as affected by pH and metals. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 11, n. 3, p. 1-12, 2011.
- ADESEMOYE, A. O.; YUEN, Gary; WATTS, Dexter Brown. Microbial inoculants for optimized plant nutrient use in integrated pest and input management systems. *In: Probiotics and plant health.* **Springer**, Singapore, 2017.
- AHEMAD, M.; M.S. KHAN, M. S. Effect of insecticide-tolerant and plant growth promoting Mesorhizobium on the performance of chickpea grown in insecticide stressed alluvial soils. **Journal of Crop Scienc and Biotechnology**, Switzerland, v. 12, n. 4, p. 213- 222, 2009.
- AFEK, U. *et al.* Mycorrhizal species, root age, and position of mycorrhizal inoculum influence colonization of cotton, onion, and pepper seedlings. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 115, n. 6, p. 938-942, 1990.
- AKHTAR, M. S.; SIDDIQUI, Z. A. Arbuscular mycorrhizal fungi as potential bioprotectants against plant pathogens. *In: Mycorrhizae: Sustainable agriculture and forestry.* Springer, Dordrecht, 2008.
- AKIYAMA, K.; MATSUZAKI, K.; HAYASHI, H. Plant sesquiterpenes induce hyphal branching in arbuscular mycorrhizal fungi. **Nature**, v. 435, n. 7043, p. 824-827, 2005.
- AKULA, R.; RAVISHANKAR, G. A. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. **Plant Signaling & Behavior**, v. 6, n. 11, p. 1720-1731, 2011.
- ALMEIDA, D. S.; RIVA, M. M.; CABANÊZ, P. A.; AMARAL, A. A. Micorrizas e sua importância agroecológica. **Enciclopédia Biosfera**, v.11, n. 22, 2015.
- ALMEIDA SILVA, M. *et al.* Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, 2014.
- ALORI, E. T.; GLICK, B. R.; BABALOLA, O. O. Microbial inoculants for soil quality and plant health. *In: Sustainable Agriculture Reviews.* v. 8, p. 971, 2017.
- ALORI, E. T.; GLICK, B. R.; BABALOLA, O. O. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, p. 971, 2017.
- ALOO, B. N.; MBEGA, E. R.; MAKUMBA, B. A. Rhizobacteria-based technology for sustainable cropping of potato (*Solanum tuberosum* L.). **Potato Research**, p. 1-21, 2019.
- ÁLVAREZ-SOLÍS, J. D. *et al.* Effect of bokashi and vermicompost leachate on yield and quality of pepper (*Capsicum annuum*) and onion (*Allium cepa*) under monoculture and intercropping cultures. **International Journal of Agriculture and Natural Resources**, v. 43, n. 2, p. 243-252, 2016.

- ALVES, M. S. da S. **Uso de indicadores biológicos para avaliação da qualidade do solo sob cultivo de culturas agroenergéticas em Pedro Afonso**. 2014. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2014.
- AMEZQUITA, S. P. M. *et al.* **Crescimento de mudas de Acacia mangium Willd. em resposta a nitrogênio, fósforo e micorriza**. 2011. 49 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal; Meio Ambiente e Conservação da Natureza; Silvicultura; Tecnologia e Utilização de) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, p. 393-395, 1993.
- ASSIS, R. M. A. *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi and organic manure enhance growth and accumulation of citral, total phenols, and flavonoids in *Melissa officinalis* L. **Industrial Crops and Products**, v. 158, p. 112-981, 2020.
- AUGÉ, R. M. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Mycorrhiza**, v. 11, n. 1, p. 3-42, 2001.
- AZEVEDO, J. M. A. **Variabilidade genética entre acessos de amendoim forrageiro quanto à associação micorrízica e resposta ao fósforo**. 2010. 154 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) - Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2010.
- BAILEY, J. S.; RAMAKRISHNA, A.; KIRCHHOF, G. An evaluation of nutritional constraints on sweet potato (*Ipomoea batatas*) production in the central highlands of Papua New Guinea. **Plant and soil**, v. 316, n. 1-2, p. 97-105, 2009.
- BAREA, J. M.; POZO, M. J.; AZCÓN A. Concepción. micorrizas. **Agricultura**, 2016.
- BARNAWAL, D. *et al.* Plant growth-promoting rhizobacteria enhance wheat salt and drought stress tolerance by altering endogenous phytohormone levels and TaCTR1/TaDREB2 expression. **Physiologia plantarum**, v. 161, n. 4, p. 502-514, 2017.
- BASET, M. *et al.* Effect of plant growth promoting rhizobacterial (PGPR) inoculation on growth and nitrogen incorporation of tissue-cultured'musa'plantlets under nitrogen-free hydroponics condition. **Australian Journal of Crop Science**, v. 4, n. 2, p. 85, 2010.
- BASLAM, M. *et al.* Effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) for inducing the accumulation of major carotenoids, chlorophylls and tocopherol in green and red leaf lettuces. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 97, n. 7, p. 3119-3128, 2012.
- BERUDE, M. C. *et al.* Micorrizas e sua importância agroecológica. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, p. 132, 2015.
- BLOIS, M. S. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical, **Nature**, v. 181, p. 1199- 1200, 1958.

BRUISSON, S. *et al.* Arbuscular mycorrhizal symbiosis stimulates key genes of the phenylpropanoid biosynthesis and stilbenoid production in grapevine leaves in response to downy mildew and grey mould infection. **Phytochemistry**, v. 131, p. 92-99, 2016.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2 ed. São Paulo: USP, 2016.

CECCARELLI, N. *et al.* Mycorrhizal colonization impacts on phenolic content and antioxidant properties of artichoke leaves and flower heads two years after field transplant. **Plant and Soil**, v. 335, n. 1, p. 311-323, 2010.

CELY, M. V.T *et al.* Inoculant of arbuscular mycorrhizal fungi (*Rhizophagus clarus*) increase yield of soybean and cotton under field conditions. **Frontiers in microbiology**, v. 7, p. 720, 2016.

CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA (CIP). **Facts and figures about sweetpotato**. Lima: CIP, 2010.

CHOUDHARY, D. K.; PRAKASH, A.; JOHRI, B. N. Induced systemic resistance (ISR) in plants: mechanism of action. **Indian Journal of Microbiology**, v. 47, n. 4, p. 289-297, 2007.

CHU, E. Y.; MÖLLER, M. R. F.; CARVALHO, J. G. Efeitos da inoculação micorrízica em mudas de gravioleira em solo fumigado e não fumigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 4, p. 671-680, 2001.

COGO, F. D. *et al.* Fungos micorrízicos arbusculares: abordagem no ensino de biologia. **Ciência ET Praxis (Qualis B3-2017-2018)**, v. 12, n. 23, p. 19-24, 2019.

COHEN, A. C.; BOTTINI, R.; PICCOLI, P. N. Azospirillum brasilense Sp 245 produces AzA in chemically-defined culture medium and increases ABA content in arabidopsis plants. **Plant Growth Regulation**, v. 54, n. 2, p. 97-103, 2008.

CORASPE-LEÓN, H.M.; MURAOKA, T.; FRANZINI, V.I.; PIEDADE, S.A.S. & GRANJA, N.P. Absorción de macronutrientes por plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) em la producción de tubérculo-semilla. **Interciencia**, v. 34, p. 57-63, 2009.

COSTA-GUTIERREZ, S. B. *et al.* Plant growth promotion by *Pseudomonas putida* KT2440 under saline stress: Role of eptA. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 104, n. 10, p. 4577-4592, 2020.

COSTA, S. M. L.; MELLONI, R. Relação de fungos micorrízicos arbusculares e rizobactérias no crescimento de mudas de oliveira (*Olea europaea*). **Ciência Floresta**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 169-180, 2019.

CREUS, C. M.; SUELDO, R. J.; BARASSI, C. A. Water relations and yield in *Azospirillum*-inoculated wheat exposed to drought in the field. **Canadian Journal of Botany**, v. 82, n. 2, p. 273-281, 2004.

DA CRUZ, R. M. S *et al.* Phytochemistry of *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting bacteria. **Industrial Crops and Products**, v. 149, p. 112-340, 2020.

DIVYA, P.; PUTHUSSERI, B.; SAVANUR, M. A.; LOKESH, V.; NEELWARNE, B. Effects of methyl jasmonate and carotenogenic inhibitors on gene expression and carotenoid accumulation in coriander (*Coriandrum sativum* L.) foliage. **Food Research International**, v. 111, p. 11-19, 2018.

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 3-14, 2015.

DURUKAN, H; DEMIRBAŞ, A; TUTAR, U. The effects of solid and liquid vermicompost application on yield and nutrient uptake of tomato plant. **Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology**, v. 7, n. 7, p. 1069-1074, 2019.

ECHER, R. F; CRESTE, E. J; TORRE, de J, R, E. **Nutrição e adubação da batata doce**. Presidente Prudente: Unoeste, 2015.

ECHER, F. R.; DOMINATO, J. C.; CRESTE, J. E. Absorção de nutrientes e distribuição da massa fresca e seca entre órgãos de batata-doce. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 176-182, 2009.

EFTEKHARI, M.; ALIZADEH, M.; EBRAHIMI, P. Evaluation of the total phenolics and quercetin content of foliage in mycorrhizal grape (*Vitis vinifera* L.) varieties and effect of postharvest drying on quercetin yield. **Industrial Crops and Products**, v. 38, p. 160-165, 2012.

EKIN, Z. *et al.* The effect of Bacillus sp. OSU-142 inoculation at various levels of nitrogen fertilization on growth, tuber distribution and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). **African Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 18, 2009.

EKINCI, M. *et al.* Effect of plant growth promoting rhizobacteria on growth, nutrient, organic acid, amino acid and hormone content of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) transplants. **Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus**, v. 13, n. 6, p. 71-85, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Cultivo da batatadoce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam)**: instruções técnicas, 7. 3. ed. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças (CNPQ), 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Marco referencial em agroecologia**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2006.

ENDRES, G. F. **Efeito da colonização com fungos micorrízicos arbusculares (*Rhizophagus clarus*) na produtividade de plantas de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) submetidas a diferentes doses de adubação nitrogenada**. 2018. 61 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente) - Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2018.

- ENEBE, M. C.; BABALOLA, O. O. The influence of plant growth-promoting rhizobacteria in plant tolerance to abiotic stress: a survival strategy. **Applied mMicrobiology and Biotechnology**, v. 102, n. 18, p. 7821-7835, 2018.
- ERPEN, L. STRECK, N. A.; UHLMANN, L. O.; FREITAS, C. P. O.; ANDRIOLO, J. L. Tuberização e produtividade de batata doce em função de datas de plantio em clima subtropical. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 4, p. 396-402, 2013.
- FARZANA, Y. *et al.* Effect of PGPR inoculation on growth and yield of sweetpotato. **Journal of Biological Sciences**, v. 7, n. 2, p. 421-424, 2007.
- FENG, G. *et al.* Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. **Mycorrhiza**, v. 12, n. 4, p. 185-190, 2002.
- FERREIRA, Marcos Aurélio Miranda. **Crescimento e acúmulo de nutrientes na cultura da batata-doce**. 2017. 51 f. Dissertação (Mestrado Produção Vegetal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2017.
- FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 4, p. 991-996, 1999.
- FERREIRA, P. A. A. *et al.* Effects of *Rhizophagus clarus* and P availability in the tolerance and physiological response of *Mucuna cinereum* to copper. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 122, p. 46-56, 2018.
- FIGUEIREDO, M. V. B. *et al.* Alleviation of drought stress in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by co-inoculation with *Paenibacillus polymyxa* and *Rhizobium tropici*. **Applied soil ecology**, v. 40, n. 1, p. 182-188, 2008.
- FIGUEIREDO, R. T. **Manejo da adubação potássica na cultura da batata-doce**. 2019. 107 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, Botucatu, 2019.
- FONSECA, A. J. *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungus on the initial growth and nutrition of *Coffea arabica* L. genotypes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, 2019.
- FORTUNA, P. *et al.* Influence of arbuscular mycorrhizae and phosphate fertilization on shoot apical growth of micropropagated apple and plum rootstocks. **Tree physiology**, v. 16, n. 9, p. 757-763, 1996.
- FREITAS, T. G. G. **Produção e qualidade pós-colheita de batata doce cultivada no semiárido nordestino**. 2018. 128 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2018.
- FRIGHETTO, R. T. S. Análise da biomassa microbiana em carbono: método de fumigação extração. *In*: FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J. **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo**. Brasília: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 157-166.
- GAI, J. P. *et al.* Screening of arbuscular mycorrhizal fungi for symbiotic efficiency with sweet potato. **Journal of Plant nutrition**, v. 29, n. 6, p. 1085-1094, 2006.

GAO, X. *et al.* Improving zinc bioavailability in transition from flooded to aerobic rice. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, n. 2, p. 465-478, 2012.

GARCIA, T.C; HERNANDEZ, T.; COSTA, F. Potential use of dehydrogenase activity as index of microbial activity in degraded soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 28, p. 123-134, 1997.

GEORGE, E.K; HAUSSIER,G.; VETTERLEIN, E.G; MARSCHENER, H.; Water and nutrient translocation by hyphae of *Gomus mosseae*. **Canadian Journal of Botany**, v. 70, p. 2130-2137, 1992.

GIOVANNETTI, M. *et al.* Nutraceutical value and safety of tomato fruits produced by mycorrhizal plants. **British Journal of Nutrition**, v. 107, n. 2, p. 242-251, 2012.

GHASEMZADEH, A. *et al.* Plant-growth regulators alter phytochemical constituents and pharmaceutical quality in Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). **BMC complementary and alternative medicine**, v. 16, n. 1, p. 1-13, 2016.

GOMES, J. C. C. **Sistema de produção de batata-doce**. Brasília: Embrapa Clima Temperado, 2007. (Sistema de Produção, 10). Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Batata-doce/SistemaProducaoBatata-doce/index.htm>. Acesso em: 15 maio 2021.

GOMES, C. A. *et al.* Anticancer activity of phenolic acids of natural or synthetic origin: a structure– activity study. **Journal of medicinal chemistry**, v. 46, n. 25, p. 5395-5401, 2003.

GROVER, M. *et al.* Role of microorganisms in adaptation of agriculture crops to abiotic stresses. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 27, n. 5, p. 1231-1240, 2011.

GUIMARAES, S. L. *et al.* Development of pigeon pea inoculated with *Rhizobium* isolated from cowpea trap host plants. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 4, p. 789-795, 2016.

GUJRAL, M. S. *et al.* Colonization and plant growth promotion of *Sorghum* seedlings by endorhizospheric *Serratia* sp. **Acta Biologica Indica**, v. 2, n. 1, p. 343-352, 2013.

GUL, K., TAK; A., SINGH, A. K.; SINGH, P.; YOUSUF, B.; WANI, A. A. Chemistry, encapsulation, and health benefits of β -carotene-A review. **Cogent Food & Agriculture**, v. 1, n. 1, p. 1018696, 2015

HAGHIGHI, M.; BARZEGAR, M. R. Growth, yield index, and photosynthesis traits of sweet pepper grown in vermicompost inoculated with Arbuscular mycorrhiza. **Iran Agricultural Research**, v. 37, n. 2, p. 69-80, 2018.

HANIF, K. *et al.* Isolation and characterization of a β -propeller gene containing phosphobacterium *Bacillus subtilis* strain KPS-11 for growth promotion of potato (*Solanum tuberosum* L.). **Frontiers in Microbiology**, v. 6, p. 583, 2015.

- HARIKUMAR, V. S.; POTTY, V. P. Technology for mass-multiplication of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi for field inoculation to sweet potato. **Mycorrhiza News**, v. 14, n. 1, p. 11-12, 2002.
- HARRISON, M J.; DIXON, Richard A. Spatial patterns of expression of flavonoid/isoflavonoid pathway genes during interactions between roots of *Medicago truncatula* and the mycorrhizal fungus *Glomus versiforme*. **The plant journal**, v. 6, n. 1, p. 9-20, 1994.
- HASSANI, F. *et al.* The impact of potato mini-tuber inoculation with plant growth promoting rhizobacteria on tuber yield and nutrients uptake. **Journal of Crops Improvement**, v. 17, n. 4, 2015.
- HAO, Z. *et al.* Purification and characterization of a phenylalanine ammonia-lyase from *Ocimum basilicum*. **Phytochemistry**, v. 43, n. 4, p. 735-739, 1996.
- HAYAT, R.; ALI, S.; AMARA, U.; KHALID, R.; AHMED, I. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. **Annals of Microbiology**, Heidelberg, v. 60, n. 1, p. 579–598, 2010.
- HODGE, A. Plant nitrogen capture from organic matter as affected by spatial dispersion, interspecific competition and mycorrhizal colonization. **New Phytologist**, Lancaster, v. 151, p. 725-734, 2001.
- HUANG, P.; XU, J.; KLOEPPER, J. W. Plant–microbe–soil fertility interaction impacts performance of a *Bacillus*-containing bioproduct on bell pepper. **Journal of basic microbiology**, v. 60, n. 1, p. 27-36, 2020.
- HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. **Biology and Fertility of Soils**, v. 49, n. 7, p. 791-801, 2013.
- INSTITUTO AGRONÔMICO (IAC). **Centro de pesquisa e desenvolvimento de solos e recursos ambientais**: informação sobre interpretação de análise de solo. Campinas: IAC, 2021. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/produtoseservicos/analisedosolo/interpretacaoanalise.php>. Acesso em: 07 ago. 2021.
- IBRAHIM, M. H.; JAAFAR, H. Z. E. Involvement of carbohydrate, protein and phenylalanine ammonia lyase in up-regulation of secondary metabolites in *Labisia pumila* under various CO₂ and N₂ level. **Molecules**, v. 16, n. 5, p. 4172-4190, 2011.
- ISSA, M. *et al.* Potentials of arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) and Neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) leaves extract as biological control agents against the sweet potato weevil (*Cylas puncticollis* Boh.) in two agro-ecological zones of Cameroon. **Journal of Experimental Agriculture International**, p. 1-13, 2017.
- ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. Agriculture, **Ecosystem Environment**, Amsterdam, v. 79, 2000.
- JAMILY, A. S. *et al.* Effects of inoculation with a commercial microbial inoculant *Bacillus subtilis* C-3102 mixture on rice and barley growth and its possible

mechanism in the plant growth stimulatory effect. **Journal of Plant Protection Research**, p. 193-205, 2019.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-I. Fumigation with chloroform. **Soil Biol. Biochem.**, 8:167-177, 1976.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. **Soil Biochemistry**, v. 5, n. 1, p. 415-471, 1981.

JING, K.; HE, S.; CHEN, T.; LU, Y.; NG, I. S. Enhancing beta-carotene biosynthesis and gene transcriptional regulation in *Blakeslea trispora* with sodium acetate. **Biochemical Engineering Journal**, v. 114, p. 10-17, 2016.

JOERGENSEN, R. G.; BROOKES, P. C. Ninhydrin-reactive nitrogen measurements of microbial biomass in 0.5 M K₂SO₄ soil extracts. **Soil Biol. Biochem.**, 22:1023-1027, 1990.

JORQUERA, M. A. *et al.* Identification of β -propeller phytase-encoding genes in culturable *Paenibacillus* and *Bacillus* spp. from the rhizosphere of pasture plants on volcanic soils. **FEMS microbiology ecology**, v. 75, n. 1, p. 163-172, 2011.

KABIR, Z. *et al.* Seasonal changes of arbuscular mycorrhizal fungi as affected by tillage practices and fertilization: hyphal density and mycorrhizal root colonization. **Plant and Soil**, v. 192, n. 2, p. 285-293, 1997.

KANG, S. M. *et al.* Gibberellin secreting rhizobacterium, *Pseudomonas putida* H-2-3 modulates the hormonal and stress physiology of soybean to improve the plant growth under saline and drought conditions. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 84, p. 115-124, 2014.

KASCHUK, G. *et al.* Are the rates of photosynthesis stimulated by the carbon sink strength of rhizobial and arbuscular mycorrhizal symbioses?. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, n. 6, p. 1233-1244, 2009.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 1, p. 1-13, 2010.

KASIM, W. A. *et al.* Effect of biofilm forming plant growth promoting rhizobacteria on salinity tolerance in barley. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 61, n. 2, p. 217-227, 2016.

KAUR, S.; SUSEELA, V. Unraveling Arbuscular Mycorrhiza-Induced Changes in Plant Primary and Secondary Metabolome. **Metabolites**, v. 10, n. 8, p. 335, 2020.

KLOEPPER, J. W.; GUTIERREZ-ESTRADA, A.; MCINROY, J. A. Photoperiod regulates elicitation of growth promotion but not induced resistance by plant growth-promoting rhizobacteria. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 53, n. 2, p. 159-167, 2007.

- KOTHARI, S. K.; MARSCHNER, H.; GEORGE, E. Effect of VA mycorrhizal fungi and rhizosphere microorganisms on root and shoot morphology, growth and water relations in maize. **New Phytologist**, v. 116, n. 2, p. 303-311, 1990.
- KOVÁCS, Ákos T. *Bacillus subtilis*. **Trends in Microbiology**, v. 27, n. 8, p. 724-725, 2019.
- KRISHNA, H. *et al.* Biochemical changes in micropropagated grape (*Vitis vinifera* L.) plantlets due to arbuscular-mycorrhizal fungi (AMF) inoculation during ex vitro acclimatization. **Scientia Horticulturae**, v. 106, n. 4, p. 554-567, 2005.
- KUBIKOVA, E. *et al.* Mycorrhizal impact on osmotic adjustment in *Ocimum basilicum* during a lethal drying episode. **Journal of Plant Physiology**, v. 158, n. 9, p. 1227-1230, 2001.
- KUDOYAROVA, G. *et al.* Phytohormone mediation of interactions between plants and non-symbiotic growth promoting bacteria under edaphic stresses. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1368, 2019.
- KUMAR, M. *et al.* Growth promoting characteristics of rhizobacteria and AM Fungi for biomass amelioration of *Zea mays*. **Archives of Biological Sciences**, v. 67, n. 3, p. 877-887, 2015.
- KUMARI, P.; KHANNA, V. Biodiversity of *Pseudomonas* and *Bacillus* possessing both bioantagonistic and plant growth promoting traits in chickpea rhizosphere. **Int J Sci Nat**, v. 7, n. 1, p. 153-158, 2016.
- LAKSHMANAN, V. *et al.* Root transcriptome analysis of *Arabidopsis thaliana* exposed to beneficial *Bacillus subtilis* FB17 rhizobacteria revealed genes for bacterial recruitment and plant defense independent of malate efflux. **Planta**, v. 238, n. 4, p. 657-668, 2013.
- LARKIN, R. P.; TAVANTZIS, S. Use of biocontrol organisms and compost amendments for improved control of soilborne diseases and increased potato production. **American Journal of Potato Research**, v. 90, n. 3, p. 261-270, 2013.
- LATEF, A.I; HAMED, A. Retraction: influence of arbuscular mycorrhizal fungi and copper on growth, accumulation of osmolyte, mineral nutrition and antioxidant enzyme activity of pepper (*Capsicum annuum* L.). **Mycorrhiza**, v. 21, n. 6, p. 495-503, 2011.
- LAURIE, S. M. *et al.* β -Carotene yield and productivity of orange-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* L. Lam.) as influenced by irrigation and fertilizer application treatments. **Scientia horticulturae**, v. 142, p. 180-184, 2012.
- LEE, S. *et al.* *Bacillus subtilis* strain L1 promotes nitrate reductase activity in *Arabidopsis* and elicits enhanced growth performance in *Arabidopsis*, lettuce, and wheat. **Journal of Plant Research**, v. 133, n. 2, p. 231-244, 2020.
- LERMEN, C.; MOHR, F. B. M.; ALBERTON, O. Growth of *Cymbopogon citratus* inoculated with mycorrhizal fungi under different levels of lead. **Scientia Horticulturae**, v. 186, p. 239-246, 2015.

LI, Y. *et al.* Bacillus subtilis-regulation of stomatal movement and instantaneous water use efficiency in Vicia faba. **Plant Growth Regulation**, v. 78, n. 1, p. 43-55, 2016.

LINGUA, G. *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting pseudomonads increases anthocyanin concentration in strawberry fruits (*Fragaria x ananassa* var. Selva) in conditions of reduced fertilization. **International journal of molecular sciences**, v. 14, n. 8, p. 16207-16225, 2013.

LIU, W. *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi in soil and roots respond differently to phosphorus inputs in an intensively managed calcareous agricultural soil. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 1-11, 2016.

LIU, X. *et al.* Plant growth promotion properties of bacterial strains isolated from the rhizosphere of the Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) adapted to saline-alkaline soils and their effect on wheat growth. **Canadian journal of microbiology**, v. 63, n. 3, p. 228-237, 2017.

LU, G. *et al.* OsPIN5b modulates rice (*Oryza sativa*) plant architecture and yield by changing auxin homeostasis, transport and distribution. **The Plant Journal**, v. 83, n. 5, p. 913-925, 2015.

MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos. 1997

MARQUES, J. M. *et al.* Plant age and genotype affect the bacterial community composition in the tuber rhizosphere of field-grown sweet potato plants. **FEMS microbiology ecology**, v. 88, n. 2, p. 424-435, 2014.

MARSCHNER, H.; DELL, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, v. 159, n. 1, p. 89-102, 1994.

MARSCHNER'S, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3. ed. Australia: Academic Press, 2012.

MARSCHNER, P.; CROWLEY, D.; RENGEL, Z. Rhizosphere interactions between microorganisms and plants govern iron and phosphorus acquisition along the root axis—model and research methods. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, n. 5, p. 883-894, 2011.

MARTINEZ, T. N.; JOHNSON, N.C. Agricultural management influences propagule densities and functioning of arbuscular mycorrhizas in low-and high-input agroecosystems in arid environments. **Applied Soil Ecology**, v. 46, n. 2, p. 300-306, 2010.

MARULANDA, A.; AZCON, R.; RUIZ-LOZANO, J. M. Contribution of six arbuscular mycorrhizal fungal isolates to water uptake by *Lactuca sativa* plants under drought stress. **Physiologia Plantarum**, v. 119, n. 4, p. 526-533, 2003.

MARULANDA, A.; BAREA, J. M.; AZCÓN, R. Stimulation of plant growth and drought tolerance by native microorganisms (AM fungi and bacteria) from dry environments:

mechanisms related to bacterial effectiveness. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 28, n. 2, p. 115-124, 2009.

MASCIARELLI, O.; LLANES, A.; LUNA, V. A new PGPR co-inoculated with *Bradyrhizobium japonicum* enhances soybean nodulation. **Microbiological research**, v. 169, n. 7-8, p. 609-615, 2014.

MATSUBARA, Y.; ISHIGAKI, T.; KOSHIKAWA, K. Changes in free amino acid concentrations in mycorrhizal strawberry plants. **Scientia Horticulturae**, v. 119, n. 4, p. 392-396, 2009.

MATSUOKA M. **Atributos biológicos de solos cultivados com videira na região da serra gaúcha**. 2006. 173 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

MISHRA, N.; MOHAN, A.; MISHRA, U. S. Effect of bio-fertilizers on biochemical and macronutrients of barley seeds. **Biosciences Biotechnology Research**, v. 4, p. 285-288, 2007.

MOHAMMAD, N.; MANSOREH, S.; KHANKAHDANI, H. H.; NASERI, E. Feasibility of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) growing in southern regions of Iran (Minab) climate. **Scientia Agriculturae**, Pantnagar, v. 8, n. 3, p. 67-72, 2014.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002.

MOREIRA, A. L. L.; ARAÚJO, F. F. Bioprospecção de isolados de *Bacillus* spp. como potenciais promotores de crescimento de *Eucalyptus urograndis*. **Revista Árvore**, v. 37, n. 5, p. 933-943, 2013.

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

MOREIRA, S. D. *et al.* Fungos micorrízicos arbusculares e doses de fósforo no crescimento do cafeeiro em solo não esterilizado. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 1, p. 72-80, 2019.

MOULIN, M. M. *et al.* Caracterização de acessos de batata-doce baseado em características morfológicas. **Biológicas & Saúde**, v. 4, n. 13, 2014.

MUKHONGO, R. W. *et al.* Combined application of biofertilizers and inorganic nutrients improves sweet potato yields. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 219, 2017.

MUSTAFA, G. *et al.* Phosphorus supply, arbuscular mycorrhizal fungal species, and plant genotype impact on the protective efficacy of mycorrhizal inoculation against wheat powdery mildew. **Mycorrhiza**, v. 26, n. 7, p. 685-697, 2016.

NADEEM, S. M. *et al.* The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. **Biotechnology advances**, v. 32, n. 2, p. 429-448, 2014.

- NEUMANN, E. *et al.* Extraradical development and contribution to plant performance of an arbuscular mycorrhizal symbiosis exposed to complete or partial rootzone drying. **Mycorrhiza**, v. 20, n. 1, p. 13-23, 2009.
- NOVAIS, C. B. de; SIQUEIRA, J. O. Aplicação de formononetina na colonização e esporulação de fungos micorrízicos em braquiária. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 44, n. 5, p. 496-502, 2009.
- NUNES, A. B. C. *et al.* Steel slag and phosphate nutrition of corn inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, 2019.
- OLIVEIRA, F. H. P. C. **Fisiologia de *Bacillus subtilis* R14**: crescimento e produção de lipopeptídeos em cultivos descontínuos. 2006. 83 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.
- OLIVEIRA JÚNIOR, P. P. de. ***Bacillus subtilis* na produção de alface**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2020.
- PADDA, M. S.; PICHA, D. H. Quantification of phenolic acids and antioxidant activity in sweetpotato genotypes. **Scientia Horticulturae**, v. 119, n. 1, p. 17-20, 2008.
- PAVLO, A. *et al.* Endophytic bacteria enhancing growth and disease resistance of potato (*Solanum tuberosum* L.). **Biological Control**, v. 56, n. 1, p. 43-49, 2011.
- PEDONE-BONFIM, M. V.; LINS, M. A.; COELHO, I. R.; SANTANA, A. S.; SILVA, F. S.; MAIA, L. C. Mycorrhizal technology and phosphorus in the production of primary and secondary metabolites in cebil (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan) seedlings. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 6, p. 1479–1484, 2012.
- PHILLIPS, J. M. *et al.* Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of the British mycological Society**, v. 55, n. 1, p. 158-161, 1970.
- PORCEL, R.; BAREA, J. M.; RUIZ-LOZANO, J. M. Antioxidant activities in mycorrhizal soybean plants under drought stress and their possible relationship to the process of nodule senescence. **New Phytologist**, v. 157, n. 1, p. 135-143, 2003.
- PORCEL, R.; RUIZ-LOZANO, J. M. Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. **Journal of experimental botany**, v. 55, n. 403, p. 1743-1750, 2004.
- PORCEL, R.; AROCA, R.; RUIZ-LOZANO, J. M. Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, n. 1, p. 181-200, 2012.
- PRAKASH, J.; ARORA, N. K.. Phosphate-solubilizing *Bacillus* sp. enhances growth, phosphorus uptake and oil yield of *Mentha arvensis* L. **3 Biotech**, v. 9, n. 4, p. 1-9, 2019.

QUEIROGA, R. C. F. D., SANTOS, M. A. D., MENEZES, M. A. D., VIEIRA, C. P. G., & SILVA, M. D. C. Fisiologia e produção de cultivares de batata-doce em função da época de colheita. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 3, p. 371-374, 2007.

RAFIQ, L. *et al.* Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and development of potato (*Solanum tuberosum*) plant. **Asian Journal of Crop Science**, v. 7, n. 3, p. 233-243, 2015.

RAFIQ, K. *et al.* Enhancement of salt tolerance in maize (*Zea mays* L.) using locally isolated *Bacillus* sp. SR-2-1/1. **Biologia**, p. 1-12, 2020.

RAKSHIT, A.; BHADORIA, P. B. S. Indigenous arbuscular mycorrhiza is more important for early growth period of groundnut (*Arachis hypogea* L.) for P influx in an Oxisol. **Acta Agric**, v. 91, p. 397-406, 2008.

RAPPARINI, F.; PEÑUELAS, J. Mycorrhizal fungi to alleviate drought stress on plant growth. *In*: MIRANSARI, M. (eds). **Use of microbes for the alleviation of soil stresses**. New York: Springer, 2014. p. 21-42. v. 1.

RAVI, V.; NASKAR, S. K.; MAKESHKUMAR, T.; BABU, B.; KRISHNAN, B. S. P. Molecular physiology of storage root formation and development in sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). **Journal of Root Crops**, v. 35, n. 1, p. 1-27, 2009.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, p. 211-216, 1988.

REN, W. *et al.* Flavonoids: promising anticancer agents. **Medicinal research reviews**, v. 23, n. 4, p. 519-534, 2003.

RITER NETTO, A. F. *et al.* Efeito de fungos micorrízicos arbusculares na bioprodução de fenóis totais e no crescimento de *Passiflora alata* Curtis. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 16, n. 1, p. 1-9, 2014

RODELLA, A. A.; SABOYA, L. V. Calibrations for conductimetric determination of carbon dioxide. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 31, n. 14, p. 2059-2060, 1999.

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

RUIZ-LOZANO, J. M. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. New perspectives for molecular studies. **Mycorrhiza**, v. 13, n. 6, p. 309-317, 2003.

SALA, V. M. R. **Atividade microbiana do solo e a interação de diazotróficos endofíticos e fungos micorrízicos arbusculares na cultura do trigo**. 2002. 137 f. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SALEEM, A. R. *et al.* Rhizobacteria capable of producing ACC deaminase promote growth of velvet bean (*Mucuna pruriens*) under water stress condition. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 17, n. 3, 2015.

SBRANA, C.; AVIO, L.; GIOVANNETTI, M. Beneficial mycorrhizal symbionts affecting the production of health-promoting phytochemicals. **Electrophoresis**, v. 35, n. 11, p. 1535-1546, 2014.

SCHOEBITZ, M.; LÓPEZ, M.; ROLDÁN, A. Bioencapsulation of microbial inoculants for better soil-plant fertilization: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 33, n. 4, p. 751-765, 2013.

SELVAKUMAR, G. *et al.* Spore associated bacteria of arbuscular mycorrhizal fungi improve maize tolerance to salinity by reducing ethylene stress level. **Plant growth regulation**, v. 81, n. 1, p. 159-165, 2017.

SHARMA, K; GARG, V. K. Comparative analysis of vermicompost quality produced from rice straw and paper waste employing earthworm *Eisenia fetida* (Sav.). **Bioresource Technology**, v. 250, p. 708-715, 2018.

SHARMA, I. P.; SHARMA, A. K. Physiological and biochemical changes in tomato cultivar PT-3 with dual inoculation of mycorrhiza and PGPR against root-knot nematode. **Symbiosis**, v. 71, n. 3, p. 175-183, 2017.

SIMS, D. A.; GAMON, J. A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. **Remote Sensing of Environment**, v. 81, n. 2-3, p. 337-354, 2002.

SILVA, G. A.; SIQUEIRA, J. O.; STÜRMER, S. L. Eficiência de fungos micorrízicos arbusculares isolados de solos sob diferentes sistemas de uso na região do Alto Solimões na Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 39, n. 3, p. 477-488, 2009.

SILVA J. P.; SIQUEIRA, J. O. Aplicação de formononetina sintética ao solo como estimulante da formação de micorriza no milho e na soja. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 1, n. 9, p. 35-41, 1997.

SILVA, M. A. *et al.* Crescimento de mudas de maracujazeiro-doce (*Passiflora alata* Curtis) associadas a fungos micorrízicos arbusculares (Glomeromycota). **Acta Botanica Brasilica**, v. 18, n. 4, p. 981-985, 2004.

SILVA, J. B. C.; LOPES, C. A.; MAGALHÃES, J. S. **Batata doce (*Ipomoea batatas*)**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008.

SMITH, S. E.; READ, D. J. The symbionts forming arbuscular mycorrhizas. **Mycorrhizal Symbiosis**, v. 2, p. 13-41, 2008.

SMITH, F. A; SMITH, S. E. What is the significance of the arbuscular mycorrhizal colonisation of many economically important crop plants?. **Plant and Soil**, v. 348, n. 1, p. 63-79, 2011.

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

STEINKELLNER, Siegrid *et al.* Flavonoids and strigolactones in root exudates as signals in symbiotic and pathogenic plant-fungus interactions. **Molecules**, v. 12, n. 7, p. 1290-1306, 2007.

STREIT, N. M. *et al.* As clorofilas. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 748-755, 2005.

SOUZA FERRARI, M. P. *et al.* Substrate-associated mycorrhizal fungi promote changes in terpene composition, antioxidant activity, and enzymes in *Curcuma longa* L. acclimatized plants. **Rhizosphere**, v. 13, p. 100-191, 2020.

SOUZA, V. C. de *et al.* Estudos sobre fungos micorrízicos. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 612-618, 2006.

SPADOTTO, Claudio A. *et al.* **Monitoramento do risco ambiental de agrotóxicos: princípios e recomendações**. Brasília: Embrapa Meio Ambiente-Documentos, 2004.

STAGOS, D. *et al.* Correlation of total polyphenolic content with antioxidant and antibacterial activity of 24 extracts from Greek domestic Lamiaceae species. **Food and Chemical Toxicology**, v. 50, n. 11, p. 4115-4124, 2012

SURESHBABU, K.; AMARESAN, N.; KUMAR, K. Amazing multiple function properties of plant growth promoting rhizobacteria in the rhizosphere soil. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 5, n. 2, p. 661-683, 2016.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. *In*: WEAVER CHAIR, R. W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P.; BEZDICEK, D.; SMITH S.; WOLLUM, A. **Methods of soil analysis: part 2: microbiological and biochemical properties**. EUA: Soil Science Society of America, 1994. p. 775-833.

TAFFOUO, V. D. *et al.* Influence of phosphorus application and arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, foliar nitrogen mobilization, and phosphorus partitioning in cowpea plants. **Mycorrhiza**, v. 24, p. 361–368, 2014.

TEDESCO, M. J.; BOHNEM, H.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

TOMAZELLO FILHO, M.; KRUGNER, T. L. Aspectos da associação micorrízica em *Pinus* ssp. **IPEF**, Piracicaba, v. 3, n. 9, p. 1-32, 1982.

TONG, Y. *et al.* Effects of single and mixed inoculation with two arbuscular mycorrhizal fungi in two different levels of phosphorus supply on β -carotene concentrations in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) tubers. **Plant and Soil**, v. 372, n. 1-2, p. 361-374, 2013.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microorganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade dos solos. *In*: ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Eds) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p. 195-276. v. 2.

TOUSSAINT, J.P.; SMITH, F. A.; SMITH, S. E. Arbuscular mycorrhizal fungi can induce the production of phytochemicals in sweet basil irrespective of phosphorus nutrition. **Mycorrhiza**, v. 17, n. 4, p. 291-297, 2007.

- TRUONG, V.D. *et al.* Phenolic acid content and composition in leaves and roots of common commercial sweetpotato (*Ipomea batatas* L.) cultivars in the United States. **Journal of Food Science**, v. 72, n. 6, p. C343-C349, 2007.
- TU, C.; RISTAINO, J.B. & HU, S. Soil microbial biomass and activity in organic tomato farming systems: Effects of organic inputs and straw mulching. **Soil Biology Biochemistry**, v. 38, p. 247-255, 2006.
- UYSA, Aysel; KANTAR, Faik. Effect of *Bacillus subtilis* and *Bacillus amyloliquefaciens* culture on the growth and yield of off-season potato (*Solanum tuberosum* L.). **Acta Agronómica**, v. 69, n. 1, p. 26-31, 2020.
- VAN DEN BERG, H. *et al.* The potential for the improvement of carotenoid levels in foods and the likely systemic effects. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, n. 7, p. 880-912, 2000.
- VAN OS, G. J.; GINKEL, J. H. Suppression of Pythium root rot in bulbous Iris in relation to biomass and activity of the soil microflora. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 33, n. 11, p. 1447-1454, 2001.
- VIVAS, A. *et al.* Influence of bacterial strains isolated from lead-polluted soil and their interactions with arbuscular mycorrhizae on the growth of *Trifolium pratense* L. under lead toxicity. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 49, n. 10, p. 577-588, 2003.
- VIZZOTTO, M.; PEREIRA, E. S.; CASTRO, L. A. S.; RAPHAELLI, C. O.; KROLOW, A. C. Composição mineral em genótipos de batata-doce de polpas coloridas e adequação de consumo para grupos de risco. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 21, p. 1-8, 2018.
- WALKER, T. S.; BAIS, H. P.; GROTEWOLD, E.; VIVANCO, J. M. Root exudation and rhizosphere biology. **Plant Physiology**, Rockville, v. 132, n. 1, p. 44–51, 2003.
- WANG, A. *et al.* A comparative metabolomics study of flavonoids in sweet potato with different flesh colors (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). **Food Chemistry**, v. 260, p. 124–134, 2018.
- WANG, S. *et al.* Efficiency of *Nannochloropsis oculata* and *Bacillus polymyxa* symbiotic composite at ammonium and phosphate removal from synthetic wastewater. **Environmental Technology**, v. 40, n. 19, p. 2494-2503, 2019.
- WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, v. 144, n. 3, p. 307-313, 1994.
- WOO, S. L.; PEPE, O. Microbial consortia: promising probiotics as plant biostimulants for sustainable agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1801, 2018.

WRIGHT, D. P.; SCHOLES, J. D.; READ, D. J. Effects of VA mycorrhizal colonization on photosynthesis and biomass production of *Trifolium repens* L. **Plant, Cell & Environment**, v. 21, n. 2, p. 209-216, 1998

WU, F. *et al.* Prospect of beneficial microorganisms applied in potato cultivation for sustainable agriculture. **African Journal of Microbiology Research**, v. 7, n. 20, p. 2150-2158, 2013.

XAVIER, Lisette JC; GERMIDA, James J. Bacteria associated with *Glomus clarum* spores influence mycorrhizal activity. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 35, n. 3, p. 471-478, 2003.

YANG, J.; KLOEPPER, J. W.; RYU, C. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. **Trends in Plant Science**, v. 14, n. 1, p. 1-4, 2009.

YANG C., HAMEL C, SCHELLENBERG MP, PEREZ JC, BERBARA RL. Diversity and functionality of arbuscular mycorrhizal fungi in three plant communities in semiarid Grasslands National Park, Canada. **Microbial Ecology**, v. 59, p. 724–733, 2010.

YAO, Q.; ZHU, H. H.; CHEN, J. Z. Growth responses and endogenous IAA and iPAs changes of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) seedlings induced by arbuscular mycorrhizal fungal inoculation. **Scientia Horticulturae**, v. 105, n. 1, p. 145-151, 2005.

YASIN, M.; MUNIR, I.; FAISAL, M. Can *Bacillus* spp. enhance K⁺ uptake in crop species. In: VIJAY, S. M. R.; SWAROOP, M. J.; PRAKASH, V.; BIHARI, R. M. **Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture**. New Delhi: Springer, 2016.

YASMIN, F.; OTHMAN, R.; MAZIZ, M N H.. Yield and nutrient content of sweet potato in response of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) Inoculation and N Fertilization. **Jordan Journal of Biological Sciences**, v. 13, n. 1, p. 117-122, 2020.

YOOYONGWECH, S. *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) improved water deficit tolerance in two different sweet potato genotypes involves osmotic adjustments via soluble sugar and free proline. **Scientia Horticulturae**, v. 198, p. 107-117, 2016.

YOU, J.; CHAN, Z. ROS regulation during abiotic stress responses in crop plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 1092, 2015.

YOUSSEF, M. M. A.; EISSA, M. F. M. Biofertilizers and their role in management of plant parasitic nematodes. A review. **Journal of Biotechnology and Pharmaceutical Research**, v. 5, n. 1, p. 1-6, 2014.

ZENG, Y. *et al.* Arbuscular mycorrhizal symbiosis and active ingredients of medicinal plants: current research status and prospectives. **Mycorrhiza**, v. 23, n. 4, p. 253-265, 2013.

ZERO, V. M.; LIMA, S. L. Manejo e produtividade da batata-doce (*Ipomoea batatas*) no Município de Presidente Prudente – SP. **Energia Agrícola**, Botucatu. v. 20, p. 94-117, 2005.

ZHANG, H. *et al.* Soil bacteria augment Arabidopsis photosynthesis by decreasing glucose sensing and abscisic acid levels in planta. **The Plant Journal**, v. 56, n. 2, p. 264-273, 2008.

ZUBEK, S. *et al.* Enhanced concentrations of elements and secondary metabolites in *Viola tricolor* L. induced by arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, v. 390, n. 1-2, p. 129-142, 2015.

ZUBEK, S.; MIELCAREK, S.; TURNAU, K. Hypericin and pseudohypericin concentrations of a valuable medicinal plant *Hypericum perforatum* L. are enhanced by arbuscular mycorrhizal fungi. **Mycorrhiza**, v. 22, n. 2, p. 149-156, 2012.