

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS**

**INOCULAÇÃO DE FUNGOS MICORRIZICOS ARBUSCULARES E
BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO NO
DESENVOLVIMENTO DE TECA E SOJA**

Larissa Venturini Della Flora

Engenheira Florestal

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

**CAMPUS UNIVERSITARIO DE SINOP
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS**

**INOCULAÇÃO DE FUNGOS MICORRIZICOS ARBUSCULARES E
BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO NO
DESENVOLVIMENTO DE TECA E SOJA**

Larissa Venturini Della Flora

Orientador: Profa. Dra. Martha Viviana Torres Celly

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Agronomia, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de concentração : Microbiologia do solo.

Novembro de 2020

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

V469i Flora, Larissa Venturini Della.
Inoculação de fungos micorrizicos arbusculares e bacterias solubilizadoras de fosfato no desenvolvimento de teca e soja / Larissa Venturini Della Flora. -- 2020
70 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Martha Viviana Torres Celly.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Sinop, 2020.
Inclui bibliografia.

1. Bactéria Solubilizadora de Fosfato. 2. Fungos Micorrizicos Arbusculares. 3. Tectona grandis. 4. viveiro. 5. soja. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Larissa Venturini Della Flora, nascida em 14 de julho de 1996, no município de São José do Cedro, Santa Catarina. Ingressou no curso de Engenharia Florestal em março de 2014, na Universidade Federal de Santa Maria, no Campus universitário de Frederico Westphalen no estado do Rio Grande do Sul, em janeiro de 2019 obteve o título de Engenheira Florestal. No mesmo ano iniciou a pós-graduação em Agronomia (PPGA) na Universidade Federal de Mato Grosso, campus Sinop, com ênfase em microbiologia de solo.

*A lei da mente é implacável.
O que você pensa, você cria;
O que você sente, você atrai;
O que você acredita
Torna-se realidade.*

-Buda

A Deus, que segue me iluminando e mostrando o caminho da evolução.

À minha família, Eduardo, Elenara e Carlos que sempre me apoiaram e me mantiveram forte nos momentos difíceis.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente á ele, meu senhor Deus, pelo dom da vida e a graça de passar por todos os obstáculos desta experiência e levar comigo o melhor dela.

Aos meus pais, Elenara e Carlos e ao meu irmão Eduardo, pelo amor incondicional e todo o apoio principalmente nesses anos dedicados inteiramente aos estudos e pesquisa.

Á minha orientadora Profa. Dra. Martha Viviana Torres Celly, pela paciência e dedicação envolvida na minha formação, por toda parceria e conselhos durante ataques de ansiedade e por ser a minha “pra sempre” mãe de pesquisa, e ainda, por ser um exemplo de profissional com seus alunos e orientados.

A todos os colegas do Laboratório de Microbiologia do solo e Biotecnologia Agrícola da Universidade Federal de Mato Grosso, *campus* Sinop, pelo auxílio na execução deste trabalho e por toda amizade e parceria criada neste período.

Á TRC e a equipe operacional do viveiro por todo o apoio e recursos cedidos para a execução desta pesquisa, em especial para o Fausto Hissashi Takisawa e o Eng. Florestal Joamir Barbosa Filho.

Ao laboratório de pesquisa e extensão AgriSciences, da Universidade Federal de Mato Grosso, *campus* Sinop, pela disponibilização da área e o apoio logístico em Lucas do Rio Verde para execução de parte da pesquisa.

Ao programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso e todo corpo docente por possibilitarem conhecimento e estrutura para consumação deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES pela bolsa e ao programa de pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso *campus* Sinop UFMT.

Um agradecimento especial, aos meus fieis amigos Cassio Kochhann, , Angela Reginato, Andressa Motta, Larissa Spironello, Emanuele Zamboni, Fabiana Cunha, Ivanildo guilherme Henrique, Bruno Veiga, Thais Mara, Paola Bueno e Ana Moura, Lucas Dias, Lucas Oziel e Aliadne pelos conselhos, apoio e principalmente pelo ombro amigos nos momentos de desespero.

E a todos que de alguma forma contribuíram para minha formação, meu muito obrigada!

SUMÁRIO

Página	
LISTA DE TABELA	x
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xii
CAPÍTULO 1- CONSIDERAÇÕES GERAIS	13
1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 Microrganismos na disponibilização e absorção do fósforo	14
2.1.1 Fungos Micorrizicos Arbusculares	16
2.1.2 Solubilizadores de Fosfato	18
2.2 O Fósforo como nutriente	21
2.3 Adubos fosfatados	25
2.4 Impactos ambientais da adubação fosfatada	26
2.5 Panorama geral da utilização de microrganismos na produção agrícola e florestal	27
2.6 Considerações finais	29
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	30
CAPÍTULO 2. Desempenho de Fungos Micorrízicos Arbusculares isolados de região tropical no desenvolvimento de mudas de <i>Tectona grandis</i> (Teca)	37
1 INTRODUÇÃO	39
2 MATERIAL E MÉTODO	40
2.1 Escolha dos morfotipos fúngicos	40
2.2 Preparo do Inóculo	40
2.3 Fase de viveiro	41
2.3.1 Inoculação do substrato e produção de mudas	41
2.3.2 Desenho experimental	42
2.3.3 Avaliações	42
2.4 Fase de Campo	42
2.4.1 Área experimental	42
2.4.2 Desenho experimental	43
2.4.3 Avaliações	43
2.5 Análises estatísticas	43
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
3.1 Fase viveiro	43

	10
3.1.1 Sobrevivência de mudas	43
3.1.2 Atributos biométricos de crescimento	45
3.1.3 Análise foliar de nutriente	49
3.2 Fase de campo	51
4 CONCLUSÃO	52
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	52
CAPÍTULO 3. Avaliação do Desenvolvimento da Soja Sobre Inoculação de Fungos Micorrízicos Arbusculares e Bactérias Solubilizadoras de Fosfato.	55
1 INTRODUÇÃO	57
2 MATERIAL E MÉTODOS	58
2.1 Área experimental	58
2.2 Desenho Experimental	59
2.3 Produção dos inóculos	60
2.4 Avaliações	61
2.5 Análise de Dados	62
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
4 CONCLUSÃO	65
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	66

RESUMO- A fim de aumentar a produtividade vegetal das culturas e reduzir insumos agrícolas, o uso de inoculantes biológicos, tecnologia altamente eficiente e já adotada para outros usos, se torna uma importante alternativa para contornar a problemática do fósforo nos solos. Neste trabalho utilizou-se duas espécies vegetais, uma agrícola e uma florestal de alto valor econômico tanto para o estado como para o mercado externo. O trabalho teve como objetivo, avaliar se a inoculação de microrganismos isolados do norte do Mato Grosso (bioma amazônico), influenciam na produtividade da soja e no crescimento e desenvolvimento da Teca em condição de viveiro e campo (cerrado). Para isto foram utilizados 4 isolados de Fungos Micorrízicos e uma bactéria solubilizadora. No primeiro trabalho (capítulo 2), foi testado o uso de quatro morfotipos de fungos micorrízicos arbusculares (denominados MF1, MF2, MF3, MF4), isolados de mata nativa em região tropical inoculados em 5 clones comerciais de Teca, avaliando seu efeito na produção de mudas clonais de teca em viveiro e na fase inicial em campo. No segundo experimento (capítulo 3), foi realizada a inoculação em sulco de plantio de soja um fungo micorrízico arbuscular (MF4) e uma bactéria solubilizadora de fósforo (MSB2), ambos isolados do Bioma amazônico. O uso dos 4 isolados de Fungos Micorrízicos testados em mudas de Teca, se mostraram promissores no aumento de sobrevivência de muda, alcançando taxas superiores a 80%, significando ao viveiro uma produção maior de mudas. O clone 6 apresentou maior crescimento em diâmetro na presença dos isolados MF1 e MF2 os demais clones não apresentaram crescimento em diâmetro significativo na presença dos isolados. Em altura os clones 1 e 3 apresentaram crescimento superior as mudas não inoculadas na presença dos isolados MF1, MF2 e MF3. Observa-se nitidamente que existe uma relação de efetividade simbiótica entre os diferentes clones e os fungos testados, onde, os efeitos diferem com as interações. Em campo, as mudas não apresentaram diferença significativa no desenvolvimento até as presentes avaliações. Na soja, a inoculação do FMA e adubação fosfatada resultou em ganhos de produtividade, assim como a inoculação de bactéria solubilizadora e adubação fosfatada também, ou seja, aumento de eficiência dos adubos fosfatados. A inoculação isolada, do FMA ou da bactéria não apresentou resultados tanto nos fatores de crescimento como de rendimento. Estes resultados nos permitem concluir que a escolha do fungo mais efetivo com cada clone resulta em maior rendimento de muda em viveiro, em campo serão necessárias ainda mais avaliações ao longo do tempo. Já na cultura da Soja o uso da inoculação em conjunto com adubação fosfatada aumento a eficiência da adubação na produção.

Palavra-chave: Bactéria Solubilizadora de Fósforo, Fungos Micorrízicos Arbusculares, *Tectona grandis*, viveiro, Soja

INOCULATION OF ARBUSCULAR MICORRIZIC FUNGI AND PHOSPHATE SOLUBILIZING BACTERIA IN THE DEVELOPMENT OF TEAK AND SOY

ABSTRACT- In order to increase crop productivity and reduce agricultural inputs, the use of biological inoculants, a highly efficient technology and already adopted for other uses, becomes an important alternative to circumvent the problem of phosphorus in soils. In this work, two plant species were used, one agricultural and one forest with high economic value for both the state and the foreign market. The objective of this work was to evaluate whether the inoculation of isolated microorganisms from northern Mato Grosso (Amazon biome), influence soybean productivity and Teak growth and development in nursery and field conditions (cerrado). For this, 4 isolates of Mycorrhizal Fungi and a solubilizing bacterium were used. In the first study (chapter 2), the use of four morphotypes of arbuscular mycorrhizal fungi (denuded MF1, MF2, MF3, MF4) was tested, isolated from native forest in a tropical region inoculated in 5 commercial Teak clones, evaluating their effect on production of clonal teak seedlings in the nursery and in the initial phase in the field. In the second experiment (chapter 3), an arbuscular mycorrhizal fungus (MF4) and a phosphate solubilizing bacteria (MSB2), both isolated from the Amazon biome, were inoculated in a soybean furrow. The use of the 4 isolates of Mycorrhizal Fungi tested in Teak seedlings, showed promise in increasing the survival of seedlings, reaching rates above 80%, meaning greater seedling production for the nursery. Clone 6 showed greater growth in diameter in the presence of MF1 and MF2 isolates; the other clones did not show significant diameter growth in the present isolates. In height, clones 1 and 3 showed higher growth than seedlings not inoculated in the presence of isolates MF1, MF2 and MF3. It is clearly observed that there is a symbiotic effectiveness relationship between the different clones and the tested fungi, where the effects differ with the interactions. In the field, the seedlings showed no significant difference in development until the present evaluations. In soy, the inoculation of FMA and phosphate fertilization resulted in productivity gains, as well as the inoculation of solubilizing bacteria and phosphate fertilization, that is, an increase in the efficiency of phosphate fertilizers. Isolated inoculation, FMA or bacteria did not show results in both growth and yield factors. These results allow us to conclude that the choice of the most effective fungus with each clone results in higher seedling yield in the nursery, in the field evaluations will be necessary over time. In the soybean culture, the use of inoculation in conjunction with phosphate fertilization increases the efficiency of fertilization in production.

Key-word: Phosphate Solubilizing Bacteria, Arbuscular Mycorrhizal Fungi, *Tectona grandis*, nursery, Soy

LISTA DE TABELA

Tabela 1 Tratamentos realizados em mudas de Teca em viveiro	41
Tabela 2 Análise de solo realizada nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, teor de pH, P, K, Matéria Orgânica (MO) e argila	43
Tabela 3 Médias e análise de variância em resposta a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) nativos do norte do estado de Mato Grosso, no desenvolvimento de 5 clones de Teca. Seguindo das interações FMA x Clone.	47
Tabela 4 Análise foliar, com teores dos macronutrientes (Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S)) expressos em g/Kg-1	49
Tabela 5 Análise foliar, com teores dos micronutrientes (Boro (B), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Molibdenio (Mn) e Zinco (Zn)) expressos em mg/Kg-1	50
Tabela 6 Análise de variância com dados coletados a campo, aos 90 e 270 dias após transplante de mudas.	51
Tabela 7 Análise de solo com profundidade de 0-20 cm, teor de pH, P, Na, K, S, Matéria orgânica (MO) e teor de Argila (%).	59
Tabela 8 Tratamentos aplicados à campo, na cultivar de soja RK8317	60
Tabela 9 Médias e análise de Variância em resposta aos tratamentos de inoculação com bactéria solubilizadora, fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e adubação fosfatada em Latossolo do Cerrado, no norte do estado de Mato Grosso, cultivado com Soja.	63
Tabela 10 Interação dos efeitos dos fatores Adubação fosfatada e bactéria solubilizadora de fosfato no número de vagens por planta e na colonização radicular e resposta da inoculação com Micorriza Arbuscular e Bactéria solubilizadora na produtividade de grãos e na colonização radicular.	64

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** Diagrama esquemático da mineralização do P orgânico e imobilização de P inorgânico por microrganismos do solo. Fonte: Saggart et. Al.; 1998. 15
- Figura 2** Mecanismos de solubilização de fosfato no solo, por meio de atividade microbiana e exsudação radicular. Fonte: (CARDOSO; ANDREOTE, 2016). 20
- Figura 3** Esquematização resumida do ciclo do Fósforo no solo. Fonte: CARDOSO; ANDREOTE, 2016. 22
- Figura 4** Mapeamento global da limitação prevista de N e P (a) em comparação com N diagnosticado em campo. Fonte: Du et. Al, 2020. Global patterns of terrestrial nitrogen and phosphorus limitation. Nature geosciences. Fig.3, a. 25
- Figura 5** Sobrevivência de mudas de teca em viveiro, aos 60 e 90 dias após obtenção das estacas. Obs.: barras pretas ilustram sobrevivência aos 60 dias e barras cinzas sobrevivência aos 90 dias. 44
- Figura 6** Taxa de colonização micorrizica contabilizada nas raízes dos clones comerciais de Teca, em resposta aos tratamentos com fungos micorrizicos arbusculares nativos do Norte de Mato Grosso, denominados MF1, MF2, MF3 e MF4 46
- Figura 7** Produtividades expressas em sc/ha obtidas em cada tratamento em experimento a campo. 64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	Alumínio
C	Carbono
DIC	Delineamento Inteiramente causalizado
Fe	Ferro
FMA	Fungos Micorrizicos Arbusculares
FN	Fosfato natural
FNR	Fosfato natural reativo
N	Nitrogênio
P	Fósforo
Pi	Fosforo Inorgânico
P-mic	Fósforo Microbiano
Po	Fósforo orgânico
PO ₄ ⁻³	Íon Fosfato
Ppm	partes por milhão
Ppre	Fósforo previamente adsorvido
S	Enxofre
SFT	Super Fosfato Triplo

CAPÍTULO 1- CONSIDERAÇÕES GERAIS

1 INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um nutriente essencial para as plantas, geralmente presente em formas de baixa disponibilidade nos solos altamente intemperizados das regiões tropicais e subtropicais do Brasil (NOVAIS; SMYTH, 1999). Isso ocorre devido à sua grande reatividade e à alta taxa de retenção de seus íons, relacionados a inúmeros constituintes dos solos (MENDES; REIS, 2003).

Em função da baixa mobilidade do P no solo, a adição de fertilizantes fosfatados em superfície no sistema plantio direto tem, gradualmente, saturado os sítios de maior afinidade por fósforo (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008). A fim de aumentar a produtividade e reduzir usos de insumos agrícolas, a microbiota do solo surge como importante ferramenta científica e tecnológica na produção agrícola mundial. Desde a década de 50 começou-se a observar o efeito das comunidades microbianas no solo e suas interações com o reino vegetal e a partir de então, passou-se a usufruir destas interações para aumento da produtividade agrícola. O conhecimento sobre fungos micorrízicos arbusculares, de grande ocorrência no solo e microrganismos solubilizadores de fosfatos vem ganhando maior atenção, devido a seus efeitos, já documentados, no aumento da eficiência de adubos fosfatados (COSTA et al., 2005. MIRANDA et al, 2016.).

No cenário atual, há uma infinidade de produtos inoculantes com uso de microrganismos, que visam o aumento da fixação de Nitrogênio as plantas, micróbios promotores de crescimento e para uso no controle de fitopatogenos do solo. Porém, ainda há uma lacuna relacionada ao uso de microrganismos eficientes no uso do fósforo, sendo um dos nutrientes altamente demandados pelas plantas e que está em baixa disponibilidade nos solos.

Para o presente trabalho, foram selecionados dois vegetais de grande importância tanto para o comércio estadual como para o PIB Brasileiro e mercado externo, que é a espécie arbórea e a leguminosa Soja. A Teca (*Tectona grandis* Linn. F.) pertence à família Lamiaceae e possui alto valor econômico devido às características de sua madeira (RONDON NETO; MACEDO; TSUKAMOTO-FILHO, 1998). Os reflorestamentos de teca no Brasil ocupam uma área de plantio de aproximadamente 94 mil hectares (IBÁ, 2019) com a maior área plantada da América Latina. O estado de Mato Grosso é o maior produtor da espécie no Brasil, com mais de 90% do total da área plantada (COUTINHO, 2017).

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma das culturas de maior importância econômica no mundo. Na última safra 2019/2020 a produção foi de 122.225,2 mil toneladas, destes,

33.406,5 mil toneladas produzido só no estado de Mato Grosso (maior produtor nacional de soja) (CONAB, 2020). A produtividade da soja é definida pela interação da planta com o ambiente e o manejo. Altos rendimentos somente serão obtidos quando as condições supracitadas forem favoráveis, em todos os estádios de crescimento da cultura (GILIOLI et al. 1995).

Muito se conhece dos efeitos benéficos dos Fungos Micorrizicos e bactérias solubilizadoras em solo de baixa fertilidade, porém, ainda há uma necessidade em encontrar estirpes bacterianas e FMAs que consigam promover crescimento e efeitos positivos em maior número de espécies vegetais, pois, existe uma relação de efetividade simbiótica ou efetividade de ação (bactérias) entre estes organismos e as plantas já documentadas.

Visto os desafios do uso do fósforo nos solos tropicais, e uma infinidade de microrganismos benéficos do solo, objetiva-se avaliar o uso de fungos micorrizicos arbusculares e bactérias solubilizadoras de fosfato, ambos isolados na região norte de Mato Grosso, e sua influência no crescimento quando inoculados no cultivo agrícola da soja e espécie arbórea Teca.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Microrganismos na disponibilização e absorção do fósforo

Desde o início do século 20 e principalmente a partir da década de 1950 cientistas têm estudado formas de aumentar os níveis de P disponível para as plantas por meio de processos microbiológicos. Nota-se uma tendência de maior ênfase nesses estudos nos países em desenvolvimento e/ou que não possuem reservas significativas de rochas fosfatadas para a produção, em larga escala, do adubo comercial. Claramente, as interações planta-microrganismo são complexas e, com poucas exceções, têm se mostrado de difícil controle (RICHARDSON, 2001).

A dinâmica do P no solo tem ganhado cada vez mais visibilidade, a fim de associar sua disponibilidade a sistemas de manejo eficientes em produção e decomposição de resíduos, com o intuito de aumentar a produtividade das culturas e as entradas de P ao solo, dando base a um decréscimo no uso de fertilizantes. O conhecimento das transformações do P por meio da microbiota do solo pode auxiliar neste ponto, promovendo melhorias e maior sustentabilidade dos plantios (CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

Como resposta evolutiva aos baixos níveis de P disponível nos solos, os vegetais desenvolveram diferentes estratégias morfológicas, bioquímicas e simbióticas adaptadas para incrementar a aquisição de Pi e melhorar a eficiência de absorção

interna (VANCE et al., 2003; LAMBERS et al., 2006; LAMBERS et al., 2011), sendo a mais importante delas, a associação das raízes com microrganismos presentes no solo, capazes de mineralizar e/ou solubilizar as fontes de P orgânicas e inorgânicas, respectivamente.

A atuação, de maneira direta ou indireta, dos microrganismos no ciclo do P e sua influência na capacidade de fornecimento do solo e absorção pelas raízes são bastante evidentes. Os microrganismos influenciam desde as transformações de P no solo ou na rizosfera até a absorção e translocação na planta. Como os vegetais e a microbiota absorve P da solução, os processos envolvidos nas transformações e absorção do P são importantes fatores do ciclo do nutriente e na produtividade agrícola (MOURA; SIQUEIRA, 2006).

A mineralização do fósforo orgânico (Po) do solo pode ser um indicador do potencial do solo em suprir a demanda de P pelas plantas, especialmente em solos onde a fração orgânica apresenta participação superior à do Pi (CONTE; ANGHINONI; RHEINHEIMER, 2002). A mineralização de Po é mediada pela atividade microbiana, através da produção de enzimas fosfatases, que catalisam a hidrólise dos componentes orgânicos de P (GEORGE et al., 2006), liberando Pi para a solução do solo, disponível para as plantas (GUERRA et al, 1996) **Figura 1**.

Enzimas do solo como fosfatases que incluem Fisates, Nucleases e fosfolipases são essenciais no processo de mineralização do P. As Fitases agem no hexafosfato de inositol, removendo fosfatos um a um, formando penta, tri, bi, monofosfato finalmente liberando o inositol. As nucleases despolimerizam as moléculas de DNA e RNA e as fosfolipases liberam o fosforo através de reações de hidrólise enzimática (CARDOSO et. al, 1992).

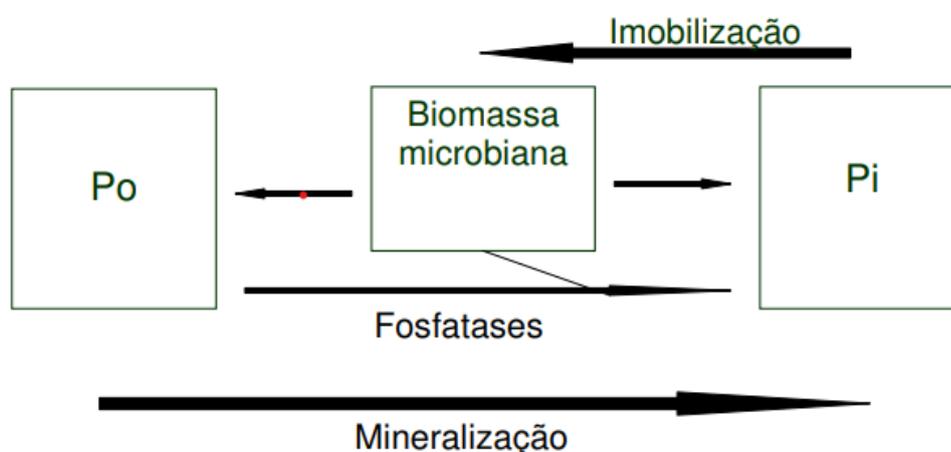


Figura 1 Diagrama esquemático da mineralização do P orgânico e imobilização de P inorgânico por microrganismos do solo. Fonte: Saggar et. Al.; 1998.

A mineralização do Po, sofre influência direta de diversos fatores, em especial as condições ambientais, nas quais interferem na densidade e atividade microbiana e pela mineralogia do solo (ZAIA, 2009). Estima-se que no clima temperado a mineralização de P varia de 1 a 10% por ano do total orgânico, enquanto nos trópicos essas taxas atingem 15 a 20% de P-orgânico, representando importantes mecanismos para a disponibilidade do nutriente (MOURA; SIQUEIRA, 2006).

Além da contribuição da microbiota no solo no processo de transformação do Po (não disponível) para o Pi disponível na solução do solo para absorção das plantas, os microrganismos afetam diretamente a habilidade das plantas em absorverem o P do solo por meio de mecanismos diversos. Esses mecanismos incluem ações como o incremento da área superficial das raízes pela extensão do sistema radicular (uma vez que o Fósforo é um elemento pouco móvel no solo, utilizando associações micorrízicas) ou mesmo pela promoção do crescimento de raízes laterais e pelos radiculares (promoção de crescimento por meio de fito-hormônios) e deslocamento do equilíbrio de adsorção, o que resulta no incremento da mobilidade de formas orgânicas de P (MENDES; REIS, 2003).

Diversas bactérias causam alterações biológicas na rizosfera e fisiológicas nas plantas, em especial nas raízes, que resultam na sua melhor absorção de P. Os fungos, particularmente aqueles que se associam às raízes formando as micorrizas, aumentam a absorção de P através de mecanismos físicos (maior área de exploração do solo), fisiológicos (alterações nos parâmetros cinéticos de absorção) e químicos (alteração na rizosfera) (MOURA; SIQUEIRA, 2006).

2.1.1 Fungos Micorrízicos Arbusculares

Os fungos micorrízicos arbusculares pertencentes ao filo glomeromycota e classe glomeromycetes, são organismos biotróficos obrigatórios que estabelecem relação simbiótica mutualista com raízes de angiospermas, gimnospermas, além de alguns representantes das briófitas e pteridófitas (SOUZA et al., 2010). Os FMAs possuem papel fundamental na manutenção da diversidade e produtividade dos ecossistemas vegetais terrestres (SOUZA et al., 2010). Em razão do aumento da produtividade da biomassa vegetal que proporcionam, têm incrementado a dinâmica e aporte de nutrientes ao solo via serrapilheira e colaborado com o aumento do dreno de C da atmosfera (LEAKE et al., 2004).

A denominação arbuscular é proveniente das estruturas especializadas do fungo, os arbúsculos, que participam intimamente da simbiose, intracelularmente, funcionando como sítio de troca de minerais e carboidratos (CARDOSO et al., 1992).

Também compõem a estrutura do fungo as hifas internas, vesículas (estruturas de armazenamento de nutrientes) e o micélio externo, formado pelas hifas principais, mais espessas e de hifas secundárias absorventes, mais finas (SMITH; READ, 1997) sendo considerado como uma das estruturas mais importantes do fungo micorrízico arbuscular para a absorção de nutrientes da solução do solo e seu transporte para a raiz (BARBER, 1995, BUCHER, 2007)

Para que seja estabelecida a simbiose entre fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e a maioria das raízes de plantas superiores, há a necessidade de uma íntima interação entre esses simbiontes. Nessa associação, a planta é beneficiada pelo aumento de absorção de água e nutrientes, principalmente de P, pelas hifas fúngicas e o fungo obtém da planta os fotoassimilados necessários para que se complete seu ciclo de vida (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

O processo de colonização, do fungo na raiz, tem início na superfície radicular, com a penetração resultante da combinação de pressão mecânica e degradação enzimática parcial da parede celular vegetal. A colonização intrarradicular é limitada aos tecidos externos à endoderme, e se dá pelo crescimento inter e intracelular das hifas. O crescimento intracelular inicial é caracterizado pela formação de enovelamentos de hifas transcelulares e pela invaginação da membrana plasmática vegetal, de modo que não existe comprometimento da integridade das células hospedeiras (PACHECO, DAMASIO, 2013).

Portanto, os FMA são de grande importância para a estruturação das comunidades vegetais, pois alteram a capacidade competitiva entre as espécies vegetais, de acordo com a fertilidade do solo e sua dependência micorrízica (FLORES-AYLAS et al., 2003). Para que esta associação seja benéfica para ambos é necessário uma baixa, mas suficiente quantidade de fósforo disponível no solo. Se a quantidade de fósforo disponível foi muito baixa, a associação mutualística do fungo com as raízes da planta pode se tornar uma associação de parasitismo, pois o fungo passa a competir com a planta pelo nutriente.

Quando o solo tem uma alta quantidade de fósforo disponível, a planta pode obter a quantidade suficiente do nutriente, sem precisar do fungo, portanto, nessa situação nem sempre ocorre a formação de micorrizas (MIYASAKA et al., 2003; SMITH et al., 2011).

Os fungos FMAs trazem benefícios à comunidade vegetal e ao ambiente, fornecendo nutrientes e água às plantas, assim como agregação e estabilidade dos solos (AUGÉ et al., 2001). Os FMAs associados às plantas hospedeiras aumentam a área da superfície da raiz e permitem maior capacidade de absorção de água e nutrientes do solo, proporcionando maior taxa de crescimento e sobrevivência (NADEEM et al., 2014).

Vários estudos têm demonstrado que a colonização das raízes pelos FMA induz aumento da produtividade de diversas culturas conduzidas em solos de baixa fertilidade. Essa resposta é normalmente atribuída ao incremento na absorção de nutrientes, tais como : Fósforo, Nitrogênio, Zinco, Cobre, Manganês, Cálcio, Enxofre e Ferro (BAREA et al., 2005). Adicionalmente, os FMA conferem maior tolerância a estresses bióticos (pragas e patógenos do sistema radicular) e abióticos (estresse hídrico, presença de metais pesados e outros), aos quais as plantas estão sujeitas, principalmente logo após o transplante de mudas para o campo (SIQUEIRA et al., 1998). A inoculação com FMA no estágio de mudas proporciona uma maior taxa de sobrevivência dessas mudas em campo (CARNEIRO et al., 2004).

Entre essas interações são de particular interesse em função das interfaces entre o FMA, o solo e a planta, pois os fungos micorrízicos arbusculares se desenvolvem tanto dentro das raízes como fora delas, expandindo-se através das hifas, pela rizosfera (PEREIRA et al., 2013).

As micorrizas podem ser consideradas uma das mais bem sucedidas estratégias de bioproteção, tanto para a planta quanto para o próprio fungo (GIANINAZZI–PEARSON, 1996). O sucesso da inoculação micorrízica dependeu das relações fungo–planta–solo, que devem ser previamente estudadas, pois as espécies de FMA atuam diferentemente, de acordo com as plantas hospedeiras e condições do solo. Com ampla distribuição, os FMA não apresentam especificidade quanto ao hospedeiro, o que indica que os requerimentos nutricionais não são específicos (BAGYARAJ, 1991). Assim, uma espécie de planta pode ser colonizada por qualquer espécie de FMA, mas os efeitos da simbiose podem diferir conforme a combinação solo–hospedeiro–fungo. Cultivares de determinado hospedeiro podem também responder diferentemente a determinadas espécies de FMA (COSTA *et al.*, 2001).

As populações de FMA nativas do solo podem ser ou não efetivas em estimular crescimento da planta. Em determinado solo, esses fungos podem estar em baixas densidades, ou podem estabelecer colonização extensa, sem proporcionar melhoria no crescimento da hospedeira. Em geral, um mesmo isolado de FMA pode estar associado a muitas espécies de plantas, mas a efetividade dessa combinação pode variar, considerando a habilidade de algumas espécies fúngicas em desenvolver extensa rede micelial, aumentando a absorção do fósforo (CAVALCANTE *et al.*, 2002).

2.1.2 Solubilizadores de Fosfato

Vários grupos de microrganismos do solo ou da rizosfera são capazes, por meio de mecanismos diversos, de extrair ou solubilizar P de frações insolúveis no solo e de

fosfatos inorgânicos naturais pouco solúveis (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A solubilização do fósforo no solo é o processo pelo qual as reações de precipitação se invertem, ocorrendo a liberação do P no solo, mediado geralmente pela ação metabólica dos microrganismos e raízes de plantas.

A solubilização como uma capacidade bacteriana, foi reconhecida a mais de um século (GOLDSTEIN, KRISHNARAJ, 2007). Na maioria dos solos já estudados, nota-se a presença destes microrganismos solubilizadores, também conhecidos como mobilizadores de P (JONES et al., 1991; NAHAS et al., 1999, ESTRADA, 2015), é conhecido que fatores como tipo de solo, idade e a espécie de planta cultivada afetam diretamente no processo de solubilização (ODUNFA; OSO, 1978), sendo as leguminosas e gramíneas as que apresentam maior incidência de microrganismos solubilizadores de fósforo em sua rizosfera (SYLVESTER-BRADLEY et al., 1982).

O mecanismo da solubilização do P_i adsorvido, (fixado) nos minerais de argila e/ou óxidos de Fe e Al no solo está relacionado principalmente com a produção e liberação de ácidos orgânicos e ácidos inorgânicos produzidos por plantas e microrganismos (CARDOSO; ANDREOTE, 2016). Os mecanismos mais amplamente aceitos responsáveis pela solubilização microbiana do mineral P são: a) a produção de ácidos orgânicos, b) a produção de prótons (normalmente associados à assimilação do NH_4^+ e/ou processos respiratórios) e c) a produção de ácidos inorgânicos e CO_2 (PATIÑO-TORES; SANCLLEMENTE-REYES, 2014).

Demonstrou-se que a solubilidade do P_i está intimamente relacionada à produção de ácidos orgânicos na maioria das bactérias, resultantes de processos de respiração oxidativa ou fermentação microbiana (**Figura 2**). Do ponto de vista mecanicista, a ação dos ácidos orgânicos na solubilização do P resulta de três processos gerais (ANTOUN, 2012; CHUANG et al., 2007; PAREDES MENDOZA, ESPINOZA, 2010; ARCHANA; BUCH; KUMAR, 2012; KHAN et al., 2007):

a. A dissociação de ácidos orgânicos (lático, glicólico, cítrico, oxálico, málico, succínico e tartárico) libera prótons que contribuem para a redução do pH do solo e favorecem a dissolução de minerais fosfóricos;

b. as reações de quelação nas quais os componentes aniônicos dos ácidos orgânicos são trocados pelo grupo ortofosfato dos fosfatos de Ca^{2+} , Fe^{3+} e Al^{3+} , liberando-o na solução do solo; essa propriedade quelante é mais relacionada aos hidroxiácidos, compostos aromáticos, açúcares ácidos e substâncias húmicas. Neste caso, a qualidade do ácido orgânico liberado é mais relevante que a quantidade (CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

c. o deslocamento de fosfatos adsorvidos não especificamente em partículas sólidas do solo pelos componentes aniônicos de ácidos orgânicos.

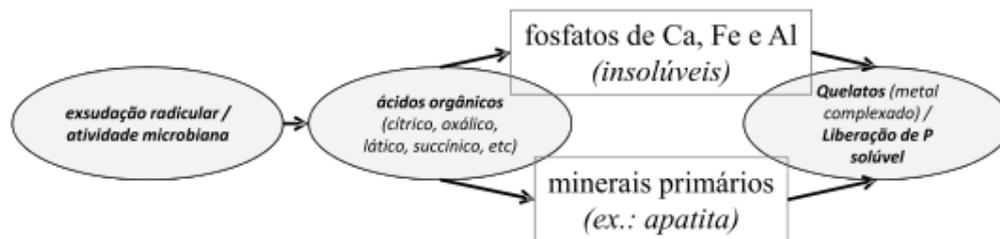


Figura 2 Mecanismos de solubilização de fósforo no solo, por meio de atividade microbiana e exsudação radicular. Fonte: (CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

O ácido glucônico é um dos ácidos orgânicos mais frequentemente relatados nos estudos de solubilização e sua biologia é conhecida em grande detalhe. Goldstein (1996) propôs a oxidação direta da glicose ao ácido glucônico como um dos principais mecanismos para a solubilização do fósforo mineral em bactérias Gram-negativas, hipótese que foi confirmada por muitos estudos subsequentes (MILLER et al., 2008; SASHIDHAR; PODILE, 2010).

Chuang et al. (2007) e experiências em laboratório de um dos autores também demonstraram que a fonte de P insolúvel usada no meio de cultura determina o tipo de ácidos orgânicos produzidos pelo fungo responsável pela solubilização. Os pesquisadores observaram que quando o P era fornecido como Ca-P, o principal ácido orgânico produzido era o ácido glucônico, enquanto que o P era fornecido como Al-P ou Fe-P, a maior produção de ácido correspondia ao ácido oxálico e não foi detectada produção de ácido glucônico.

Os ácidos inorgânicos também podem contribuir para a solubilização de P, muitos deles provenientes de processos microbianos. Neste caso, os processos de oxidação do N-amoniaco e do enxofre, além da respiração microbiana e de raízes podem produzir ácidos (ácidos nítrico, sulfúrico e carbônico, respectivamente) que podem atuar sobre as rochas fosfatadas e levar ao aumento do Pi lábil no solo (CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

A capacidade de liberar ácidos (orgânicos e/ou inorgânicos) para o meio caracteriza os microrganismos solubilizadores de P no solo. Entre as bactérias, os gêneros *Bacillus*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Rhizobium*, *Agrobacterium*, *Azotobacter*, *Erwinia*, entre outros, são capazes de solubilizar P devido à produção de ácidos orgânicos (RODRÍGUEZ; FRAGA, 1997; KHAN et al., 2007; MAHDI et al., 2011). Os gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* são os representantes de fungos mais conhecidos na produção de ácidos orgânicos e são eficientes solubilizadores de P (SABER et al., 2009; COUTINHO et al., 2012). Esses fungos

apresentam também a capacidade de solubilizar P proveniente de fertilizantes fosfatados (COUTINHO et al., 2012).

2.2 O Fósforo como nutriente

O fósforo, um dos três macronutrientes principais, juntamente com o nitrogênio e o potássio (POTAFOS, 2005), é elemento fundamental nos processos metabólicos das plantas. Este elemento está presente na fotossíntese, respiração, transferência de genes, processos que envolvem transferência de energia solar em alimento, fibra e óleo pelas plantas (STAUFFER; SULEWSKI, 2003) síntese de macromoléculas e da absorção ativa de nutrientes (MARSCHNER, 1995) além de contribuir com aproximadamente 0,2% do peso seco da planta (TOTH et al., 2014). Portanto, sua deficiência reduz o rendimento e o crescimento das plantas (MARSCHNER, 2012).

O ciclo do P é caracteristicamente sedimentar, ou seja, este elemento não apresenta componentes gasosos na sua ciclagem (STEVENSON, 1994), sendo os principais reservatórios do íon fosfato (PO_4^{-3}) as rochas, nas quais o P permanece ligado por anos, caracterizando, portanto, uma forma de P não disponível. Com o passar do tempo as rochas sofrem intemperismo, fenômenos físicos e químicos que degradam as rochas e são transformadas em solo com possível liberação de PO_4^{-3} . Na solução do solo, o íon fosfato pode ser absorvido pelos vegetais e microrganismos, os quais o utilizam para formar compostos orgânicos.

Essas formas orgânicas (deposição na liteira, rizo deposição e/ou morte vegetal) são posteriormente decompostas pela microbiota do solo, com conseqüente retorno para a forma inorgânica. O P_i pode novamente ser absorvido pela microbiota (biomassa microbiana), assimilado por plantas e /ou fixado no solo (**Figura 3**). Por ser solúvel, o PO_4^{-3} pode ser facilmente carregado pelas chuvas até as águas dos mares e dos rios e pode causar eutrofização desses ambientes (CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

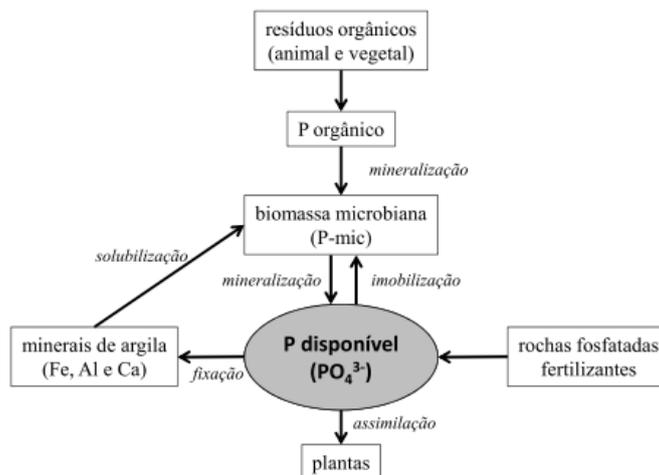


Figura 3 Esquematização resumida do ciclo do Fósforo no solo. Fonte: CARDOSO; ANDREOTE, 2016.

As apatitas são a principal fonte dos minerais primários fosfatados, onde são liberados durante processos de intemperização, resultando em minerais secundários, mais estáveis termodinamicamente ou incorporados a compostos orgânicos biologicamente (SANTOS et al., 2008). O fósforo (P) quando presente na solução do solo, pode ser encontrado nas formas de H_3PO_4 , $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} e PO_4^{3-} , sendo a concentração desses ânions dependente do pH do meio (MENDES; REIS, 2003).

A dinâmica do fósforo no solo está associada a fatores ambientais que controlam a atividade dos microrganismos, os quais imobilizam ou liberam os íons ortofosfato, e as propriedades físico-químicas e mineralógicas do solo (SANTOS et al., 2008).

O fósforo possui distribuição desigual nos vários componentes do planeta, onde se encontra em sua quase totalidade 10^{12} Kg: 840.000 (99,975%) nos sedimentos oceânicos (participando do ciclo geológico do fósforo, necessitando de milhões de anos para ser reciclado), 0,022% retidos no solo, o segundo maior reservatório, 0,0022% em rochas mineráveis e apenas 0,0005% na biota terrestre, sendo o restante estocado na fitomassa e na biomassa microbiana (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

O P total compreende as frações do P localizadas na solução ou na fase sólida do solo. De modo simplificado pode-se considerar as formas de P do solo como: P inorgânico (Pi), P orgânico (Po) e P microbiano (P-mic). Essas formas podem ser consideradas lábeis (trocáveis) ou não lábeis (não trocáveis) em função da fase em que se encontram (como sólido ou em solução) (CARDOSO; ANDREOTE, 2016). O inorgânico (Pi) é aquele encontrado nos minerais primários e está adsorvido aos colóides do solo. Ele compõe um intrincado grupo de fosfatos inorgânicos, formando diferentes compostos e com diferentes graus de estabilidade química (SANTOS et al.,

2008). Representa 0,05% do peso do solo. O Pi é encontrado abundantemente no solo na forma insolúvel por ser intensivamente suscetível ao pH do solo e formar um complexo com alumínio, óxidos de ferro, carbonatos e matéria orgânica (PEREIRA; CASTRO, 2014, ALORI; GLICK; BABALOLA, 2017; INGLE; PADOLE, 2017).

O fósforo orgânico é a principal fonte de fósforo às plantas, sendo encontrado na solução do solo (RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2003), sua fonte provem de resíduos vegetais adicionados ao solo, tecido microbiano e produtos de sua decomposição (RHEINHEIMER et al., 2000; CONTE; ANGHINONI; RHEINHEIMER, 2002) Além disso, o Po mantém, razões variáveis com o C orgânico e outros nutrientes do solo, sendo em média de 5 a 20 para N/P e de 100 a 300 para C/P, fatores estes que podem determinar a imobilização ou a mineralização de P no solo pela microbiota (CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

O P-microbiano (P-mic) compõe uma parte muito variável de Po do solo, a qual representa, em média, de 1 a 10% do P total, (RICHARDSON, 1994) e de 2 a 24% do Po (BROOK et al., 1984). Pode ser dreno ou fonte de P. Mesmo o P-microbiano não sendo prontamente disponível para as plantas, este é um reservatório dinâmico do P nos solos.

Assim, quanto mais pobre em P disponível for o sistema, maior é a dependência das formas orgânicas, sobretudo do P armazenado na biomassa microbiana que absorve e imobiliza P da solução do solo e o libera gradativamente (GATIBONI et al., 2008). O P-microbiano está disponível principalmente na forma de ácidos nucleicos e fosfolipídios e a razão P_{mic}/P_{org} , que corresponde ao P da biomassa como percentagem de P orgânico total do solo, é um indicador de labilidade de P. Os valores médios de P microbiano para solos agricultáveis são de 3%, em solos de pastagens 14% e, em solos de florestas até 20% (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A ciclagem do P no solo tem estreita relação com os ciclos dos outros elementos via matéria orgânica. Devido à alta concentração de P nos microrganismos, que pode atingir, por exemplo, 2% da matéria seca nas bactérias, P é o segundo nutriente mais abundante na matéria orgânica do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). De acordo com Stevenson (1986), esse elemento tem forte influência na imobilização de C e N em sistemas biológicos; o acúmulo de C, N, P e S na matéria orgânica depende do conteúdo de P no material de origem, exercendo, portanto, influencia na fertilidade do solo.

Apesar de haver um conteúdo relativamente alto de P total na maioria dos solos, 98% destes tem um suplemento inadequado de P disponível para a nutrição vegetal, condição esta que induz deficiências em diversos graus de severidade, com graves repercussões nos níveis de produtividade e rendimento da cultura (AWASTHI; TEWARI;

NAYYAR, 2011) a reatividade do P e sua alta taxa de retenção de seus íons pelos constituintes do solo são responsáveis pela baixa disponibilidade deste elemento.

Nos solos altamente intemperizados, como os Latossolos, presentes no cerrado, predominam as formas inorgânicas de fósforo, aquelas ligadas à fração mineral com alta energia e suas formas orgânicas estabilizadas (SANTOS, GATIBONI, KAMINSKI, 2008). A quantidade de fósforo na solução do solo é muito baixa na maioria dos solos tropicais, sendo sua concentração mais comum em torno de 1,0 mg (0,03 ppm), que corresponde a um teor crítico abaixo do qual a absorção pelas plantas é muito difícil (CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

Esses baixos teores estão relacionados à mineralogia peculiar e ao ambiente geoquímico desse tipo de solo que favorece a retenção dos íons de P em seus constituintes sólidos, principalmente, óxidos de Fe e Al, diminuindo os níveis desse elemento em solução (MENDES; REIS, 2003). O P é o elemento que mais limita a produtividade dos solos do cerrado devido aos baixos teores de P solúvel presentes (SOUSA; LOBATO, 2004). Este elemento possui grande capacidade de ser adsorvido às partículas do solo, logo uma aplicação maior de adubos fosfatados faz-se necessária (NOVAIS; SMYTH, 1999).

De maneira geral, a disponibilidade do P no solo responsável pela nutrição das plantas depende de três processos no qual afetam a concentração do P na solução do solo (PIERZYNSKI; SIMS; VANCE, 2005):

- a) dissolução/ precipitação (equilíbrio mineral);
- b) adsorção/ dessorção (interações entre o P na solução e na superfície de colóides no solo); e
- c) mineralização / imobilização (conversões mediadas biologicamente entre formas orgânicas e inorgânicas do P).

No levantamento desenvolvido por Du et. al, 2020, na análise de padrões globais de limitação de P e N a nível global, observa-se que o clima é o fator mais importante na limitação de nutrientes, resultados obtidos em concordância relativamente próxima com os resultados de experimentos de campo que testaram a limitação de N e P. Excluindo áreas de cultivo, áreas urbanas e glaciais, o modelo apresentado estimou que 43% das áreas de terra são limitadas pelo Fósforo, área que abrange floresta subtropical, floresta temperada de folhas largas e mista, desertos, biomas mediterrânicos e pastagens, savanas e matagais em regiões tropicais, subtropicais e temperadas, como demonstradas no mapa abaixo (**Figura 4**).

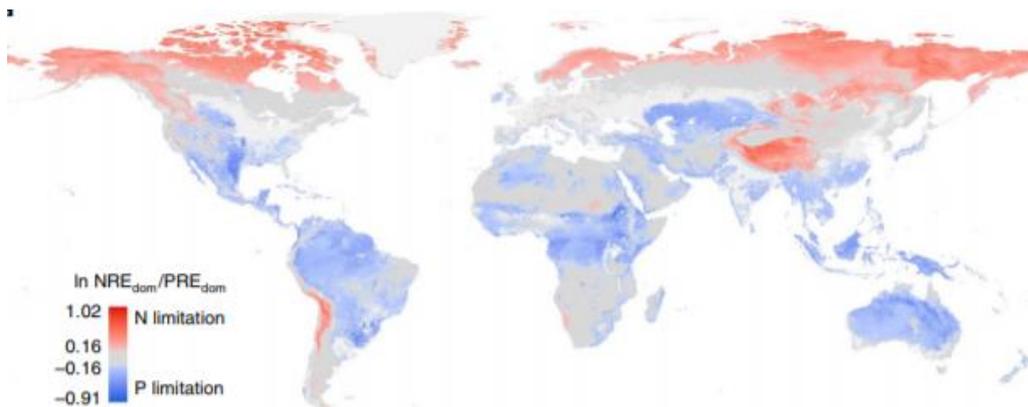


Figura 4 Mapeamento global da limitação prevista de N e P (a) em comparação com N diagnosticado em campo. Fonte: Du et. Al, 2020. Global patterns of terrestrial nitrogen and phosphorus limitation. Nature geosciences. Fig.3, a.

Visto a importância do P na produção de biomassa, a indisponibilidade do nutriente nas zonas tropicais do planeta, estas, sendo as maiores zonas de produção de alimento, a falta de estudos para melhorar a eficiência do P no solo, resulta na diminuição de produção vegetal e menor assimilação de Carbono, contribuindo diretamente ao efeito estufa.

2.3 Adubos fosfatados

O processo de transformação que ocorre nas rochas fosfatas até os produtos industriais (ácido fosfórico e seus derivados) e aos campos de cultivo em forma de fertilizantes, segue várias diretrizes em função de cada tipologia de minério, da distribuição geográfica das jazidas e centros de consumo, do produto final, das características do parque industrial e da recuperação de subprodutos de valor comercial a que se associa e redução/eliminação de agentes causadores de impactos ambientais, nomeados metais pesados e elementos radioativos (LOUREIRO; MONTE; NASCIMENTO, 2008).

A prática de usar materiais fosfáticos como fertilizantes é tão antiga que não há registro de seu início. Excrementos de aves eram usados pelos cartagineses mais de 200 anos a.C. e os incas utilizavam guano muito antes da chegada dos espanhóis (WAGGAMAN, 1969).

A aplicação de fertilizantes fosfatado tem sido utilizada para suprir a demanda de P, porém, quando fontes solúveis de P são adicionadas ao solo esse elemento pode ser adsorvido na superfície dos colóides ou convertido a compostos muito pouco solúveis de Fe e Al (BRADY; WEIL, 1996). Isso contribui para o baixo nível de eficiência (10-25%) dos adubos fosfatados aplicados ao solo. Para superar esses problemas,

doses relativamente elevadas de fertilizantes são necessárias para a obtenção de produções econômicas. O baixo nível de eficiência de utilização dos adubos fosfatados é sem dúvida um dos grandes obstáculos para o estabelecimento de sistemas agrícolas sustentáveis, baseado numa menor utilização de fontes naturais não renováveis (AE; OTANI; ARIHARA, 1995).

Na agricultura brasileira, predomina o uso dos fertilizantes fosfatados totalmente acidulados, obtidos a partir do tratamento ácido de rochas fosfáticas, a exemplo do superfosfato triplo (SFT). Entretanto, o alto custo dessas fontes de P tem despertado o interesse pelos fosfatos naturais (FN), que custam bem menos por unidade de P do que os solúveis (RESENDE et al., 2006). Os FN resultam simplesmente da moagem da rocha fosfática, podendo ou não passar por processos físicos de concentração.

A solubilidade desses fertilizantes é variável em função da origem e do grau de substituições iônicas isomórficas. Alguns fosfatos naturais importados de origem sedimentar são mais solúveis do que os fosfatos naturais brasileiros, por possuírem menor cristalinização e maior reatividade no solo, sendo, por isso, denominados fosfatos naturais reativos (FNR) (KAMINSKI; PERUZZO, 1997).

A maioria dos estudos em que se compara a eficiência de fosfatos solúveis e naturais é realizada em sistemas de manejo com intenso revolvimento do solo, feito por meio de arações e gradagens (GOEDERT; LOBATO, 1984; RESENDE et al., 2006). Contudo, pouco se conhece sobre o comportamento dessas fontes de P em solos sob sistema plantio direto. Neste sistema de manejo, a ausência de revolvimento do solo pode resultar num maior efeito residual de fosfatos solúveis e numa menor solubilização e efeito imediato dos FN.

Todavia, a concentração de ácidos orgânicos na camada superficial de solos em plantio direto resultantes do acúmulo de matéria orgânica e de resíduos culturais (PAVINATO; ROSOLEM, 2008) pode intensificar a solubilização de P dos FN e, assim, contrapor o possível efeito negativo do não revolvimento na eficiência desses fosfatos.

2.4 Impactos ambientais da adubação fosfatada

Moura e Siqueira (2006) ressaltam, que, apesar de ser pouco reativo no solo, o P, quando atinge os corpos d'água, geralmente arrastados pela erosão ou como rejeitos diversos, exerce grande impacto ambiental nos ecossistemas, como por exemplo o processo de eutrofização. A eutrofização pode ser definida como o aumento da concentração de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio, nas águas naturais e o consequente aumento da biomassa de produtores primários (ESTEVEZ, 1998;

JARVIE et al., 2006). O processo chamado de eutrofização artificial, provoca a floração de produtos primários presentes nos corpos hídricos, como por exemplo as cianobactérias, que liberam toxinas, ou as macrófitas aquáticas. Esse estresse ambiental causa prejuízos para o abastecimento de água e a saúde da população, podendo também levar o ecossistema ao colapso (QUEVEDO; PAGANINI, 2011). A eutrofização artificial ou antropogénica traz riscos para a saúde de forma direta e indireta (CAMARGO; ALONSO, 2006). Além disso, provoca alteração na qualidade ambiental e na saúde da população ribeirinha.

A eutrofização dos lagos é um dos problemas mais graves no gerenciamento global de recursos hídricos (TARANU et al., 2017; HAYES; VANNI, 2018). Muitos lagos sofrem com problemas de qualidade da água, resultando em influência negativa em seu uso, restringindo ainda mais o desenvolvimento socioeconômico local. O motivo mais comum para a eutrofização dos lagos é o excesso de nutrientes, levando ao crescimento excessivo de plantas ou algas nos ecossistemas aquáticos (XU et al., 2010; YAN et al., 2019).

Em primeiro lugar, o excesso de oferta de nutrientes é causado principalmente por influências antropogénicas, como atividades urbanas, industriais e agrícolas (XING et al., 2013) Embora os processos naturais (por exemplo, chuvas, evaporação e inter-relações biológicas) também possam fornecer nutrientes, sua contribuição geral é significativamente menor que a das atividades agrícolas.

Sendo as principais causas da eutrofização artificial nos ecossistemas aquáticos (rios, estuários e mares) são: o uso de fertilizantes na agricultura (JONGE et al., 2002; BUCK; NIYOGI; TOWNSEND, 2004; FOY; LENNOX, 2006; FISHER et al., 2006; JARVIE et al., 2006). O fósforo é um nutriente limitante para o metabolismo de organismos aquáticos e sua principal fonte natural para os ecossistemas aquáticos é o intemperismo de rochas. Existem ainda fontes artificiais como o lançamento de resíduos domésticos e industriais, e despejos de fertilizantes oriundos do uso do solo para os ambientes aquáticos (ESTEVES, 1998; SHARPLEY et al., 2003).

2.5 Panorama geral da utilização de microrganismos na produção agrícola e florestal

Os microrganismos podem interagir de diferentes formas com as plantas, funcionando coletivamente como um microbioma. A interação planta-microrganismos pode resultar em benefícios para a planta hospedeira como maior desenvolvimento (MENDES et al., 2013). Anos de pesquisa científica e tecnológica, resultaram em diversos produtos de base microbiológica no mercado agrícola, sendo, essenciais para

a produtividade e sustentabilidade dos sistemas. Entre os produtos já estabelecidos no mercado, temos fixadores biológicos de nitrogênio, organismos promotores de crescimento, agentes de controle fitopatológicos entre outros.

O processo de fixação biológica de Nitrogênio (FBN) no Brasil, vem sendo estudado há mais de 70 anos, e no cenário atual Brasileiro, encontram-se diversos produtos microbiológicos que atuam neste processo reduzindo a utilização de adubos nitrogenados. Hoje, são comercializados inoculantes para as culturas da soja, feijão, e para adubos verdes. Recentemente também foram lançados inoculantes para espécies não leguminosas, como o milho, trigo e o arroz (EMBRAPA, 2016).

A bactéria *Bradyrhizobium spp.* é um dos organismos mais conhecidos e utilizados na cultura da soja, que promovem a FBN, o uso desta bactéria substitui adubações nitrogenadas e proporciona ótimos resultados de produtividade no campo (FACHINELLI, 2018). Outra bactéria utilizada como inoculante para FBN é o *Azospirillum*, que além de auxiliar no processo de fixação do nitrogênio, age na produção de hormônios promotores de crescimento, solubilização de fosfato e no controle biológico de patógenos (SINGH; MALIK; SINGH, 2013).

Por outro lado, o fungo do gênero *Trichoderma*, também tem sido amplamente comercializado. Este microrganismo além de ser conhecido por suas características de promover crescimento vegetal, é o principal agente de biocontrole de doenças de plantas comercializado no Brasil (EMBRAPA, 2012).

Dentro do grupo conhecido como microrganismos promotores de crescimento de plantas (MPCP) destacam-se bactérias gram-negativas dos gêneros *Azospirillum*, *Gluconacetobacter*, *Pseudomonas* e *Rhizobium*, embora alguns gêneros grampositivos, como *Bacillus* e *Paenibacillus* também sejam conhecidos (GOMES et al, 2016). Todos organismos com produtos já estabelecidos no mercado e cadastrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Uma grande variedade de microrganismos, como fungos dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* e bactérias dos gêneros *Enterobacter* e *Erwinia* (KIM; JORDAN; McDONALD, 1998; NAHAS, 1999; RODRIGUEZ; FRAGA, 1999, WHITELAW, 2000; SILVA FILHO; VIDOR, 2000), apresenta capacidade de solubilizar fosfatos naturais, existentes ou adicionados no solo, e os compostos de baixa solubilidade, formados após a adição de fosfatos solúveis. Apesar, de existir inúmeras pesquisas com bactérias solubilizadoras de fosfato, no mercado hoje, só existe um produto inoculante disponível para os produtores, o biomaPHOS®, contendo as estirpes BRM 119 (*Bacillus megaterium*) e BRM 2084 (*Bacillus subtilis*).

Ainda, entre os microrganismos que atuam na absorção do fósforo, os fungos micorrízicos arbusculares apresentam eficiência comprovada em vários estudos, porém,

ainda há uma demanda de produtos a base destes fungos no mercado, por causa de sua natureza biotrófica obrigatória dos FMA em que o microssimbionte (fungo) se torna totalmente dependente do macrossimbionte (planta) para seu crescimento e reprodução (SOUZA et al., 2010). Atualmente no Brasil, existe somente um produto a base de micorriza registrado no MAPA, o inoculante RotellaBr ® da empresa Novatero.

2.6 Considerações finais

A inoculação de microrganismos na agricultura é uma tecnologia já estabelecida e amplamente difundida entre os produtores de oleoginosas, há uma infinidade de produtos no mercado com objetivo de fixar nitrogênio no solo, promover crescimento, produtos inseticida, fungicidas, nematicidas para aplicação em todas culturas agrícolas. Porém há uma demanda de produtos de base microbiológica para melhorar o uso do fosforo no solo, ainda, produtos adaptados as condições tropicais expostas nos maiores plantios agrícolas e florestais do país. O desenvolvimento de inoculantes com base em FMA e bactéria solubilizadora nativa de condições tropicais pode ser viável na obtenção de novos inoculantes que aumentem a eficiência dos adubos fosfatados utilizados nas produções brasileiras.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- AE, N.; OTANI, T.; ARIHARA, J. Effects of specific compounds exuded from roots on phosphorus nutrition. In: JOHANSEN, C.; LEE, K. K.; SHARMA, K.K. **Plants to enhance integrated nutriente management in cropping systems-1**. Phosphorus: proceedings. Patancheru, India: ICRISAT, 1995. p .117-128.
- ALORI, E.T., GLICK, B.R., BABALOLA, O.O. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. **Front. Microbiol**, v. 8, p. 971-990, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971>. Acesso em 10 maio 2020.
- AUGÉ, R. M. et al. Moisture retention properties of a mycorrhizal soil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 230, p. 87-97, 2001.
- ANTOUN, H. Beneficial microorganisms for the sustainable use of phosphates in agriculture. **Procedia Engineering**, v. 46, p. 62 – 67, 2012.
- ARCHANA, G.; BUCH, A.; KUMAR, N. Pivotal Role of Organic Acid Secretion by Rhizobacteria in Plant Growth Promotion. In: **Microorganisms in Sustainable Agriculture and Biotechnology**, p. 35-53, 2012.
- AWASTHI, R.; TEWARI, R.; NAYYAR, H. Synergy between plants and P-solubilizing microbes in soils: effects on growth and physiology of crops. In: **International Research Journal of Microbiology**, v. 2, n. 12, p. 484-503, 2011.
- BAGYARAJ, D.J., Ecology of vesicular–arbuscular mycorrhizae. In: Arora, D.K., Rai, B., Mukerji, K.G. & Knudsen, G.R. (Eds.) **Handbook of applied micology: soil and plant**. New York. Marcel Dekker. v.1. pp.4–34, 1991
- BARBER, S.A. Rhizosphere microorganisms, mycorrhizae and root hairs. In: BARBER, S.A. (Ed.). **Soil nutriente bioavailability: a mechaniistic approach**. 2. ed. New York: J. Willey, p.157-179, 1995.
- BAREA, J. M. et al. Microbial co-operation in the rhizosphere. **Journal of experimental botany**, v. 56, n. 417, p. 1761-1778, 2005.
- BUCHER, M. Functional biology of plant phosphate uptake at root and mycorrhiza interfaces. **New Phytologist**, Oxford, v. 73, p. 11-26, 2007.
- BUCK, O.; NIYOGI, D. K.; TOWNSEND, C. R. Scale-dependence of land use effects on water quality of streams in agricultural catchments. **Environmental Pollution**, v. 130, p. 287-299, 2004.
- CARDOSO, E.J.B.N.; ANDREOTE, F.D. **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba-SP, ESALQ, 2016. ISBN: 978-85-86481-56-7. Recurso eletrônico. Disponível em: https://www.esalq.usp.br/biblioteca/sites/default/files/Microbiologia_solo.pdf.
- CARDOSO, E.J.B.N. et al. **Microbiologia do solo**, Campinas-SP. Sociedade Brasileira de Ciências do solo, 1992.
- CARNEIRO, M. A. C. et al. Fósforo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares no estabelecimento de mudas de embaúba (*Cecropia pachystachya* Trec). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 34, n. 3, p. 119-125, 2004.

- CAMARGO, J. A.; ALONSO, Á. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. **Environment International**, v. 32, p. 831–849, 2006.
- CAVALCANTE, U.M.T., MAIA, L.C., COSTA, C.M.C., CAVALCANTE, A.T. & SANTOS, V.F. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares, da adubação fosfatada e da esterilização do solo no crescimento de mudas de maracujazeiro amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 26:1099–1106, 2002.
- CHUANG, C. et al. Solubilization of inorganic phosphates and plant growth promotion by *Aspergillus niger*. In: **Biol. Fert. Soils**, v. 43. p. 575-584, 2007.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Estatísticas Grãos Sério Históricas Soja**. 2020. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-dashboard>. Acesso em: 26 maio 2020.
- CONTE, E. et al. **Frações de fósforo acumulada em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.5, p.893- 900, 2003.
- CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D.S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 26, p. 925-930.2002.
- COUTINHO, A. S. Cultivo e mercado da teca. **Revista Opiniões**, n.49, p. 49-50, 2017.
- COUTINHO, F.P. et al. Solubilization of phosphates in vitro by *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 42, p. 85–89, 2012.
- COSTA, C.M.C. et al. Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada em mudas de mangabeira. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 40, n. 3, p. 225-232, 2005.
- COSTA, C.M.C., MAIA, L.C., CAVALCANTE, U.M.T. & NOGUEIRA, R.J.M.C. Influência de fungos micorrízicos arbusculares sobre o crescimento de dois genótipos de aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 36(6):893–901, 2001.
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia** . 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.
- EMBRAPA. **Fixação Biológica de nitrogênio** (FBN). Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355008/0/Folder+tecnologia+FBN/72690c5d-c076-4f9f-b48a-7f6ebec0183d>. Acesso em: 25 nov. 2020.
- EMBRAPA - Meio ambiente. **Avaliação da qualidade de produtos à base de *Trichoderma***. Disponível em: https://www.cnpma.embrapa.br/down_site/forum/2012/trichoderma/Apostila_Trichoderma_2012.pdf. Acesso em: 25 nov. 2020.
- FACHINELLI, R. **Influência da inoculação com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* na cultura da soja**. UFGD. 2018. Disponível em: <https://files.ufgd.edu.br/arquivos/arquivos/78/MESTRADO-DOCTORADO->

AGRONOMIA/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Ricardo%20Fachinelli.pdf. Acesso em 25 nov. 2020.

FISHER, T. R. et al. Cultural eutrophication in the Choptank and Patuxent estuaries of Chesapeake Bay *Limnol. Oceanogr.*, v. 51, n. 1, p. 435-447, 2006.

FLORES-AYLAS, W. W. et al. Efeito de *Glomus etunicatum* e fósforo no crescimento inicial de espécies arbóreas em semeadura direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 257-266, fev. 2003.

FOY, R. H.; LENNOX, S. D. Evidence for a delayed response of riverine phosphorus exports from increasing agricultural catchment pressures in the Lough Neagh catchment. **Limnol. Oceanogr.**, v. 51, n. 1, p. 655-663, 2006.

GATIBONI, L.C. et al. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 1085–1091, 2008.

GEORGE, T. S. et al. Depletion of organic phosphorus from Oxisols in relation to phosphatase activities in the rhizosphere. **Eur. J. Soil Sci.**, v. 57, p. 1- 47, 2006.

GIANINAZZI–PEARSON, S., GIANINAZZI–PEARSON, V., TISSERANT, B. & LEMOINE, M.C. Protein activities as potential markers of functional endomycorrhizas in plants. In: Read, D.J., Lewis, D.H., Fitter, A.H. & Alexander, J.J. (Eds.) **Mycorrhizas in ecosystems**. Cambridge. Cambridge University Press. pp.333–339,1994.

GILIOLI, J. L. et al. Soja: série 100. Cristalina: FT Sementes, (**Boletim técnico**, 3),1995.

GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. Avaliação agrônômica de fosfatos em solo de cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 8, p.97-102, 1984.

GOLDSTEIN, A.; KRISHNARAJ, P. Phosphate solubilizing microorganisms vs. phosphate mobilizing microorganisms: what separates a phenotype from a trait? In: **First International meeting on microbial phosphate solubilization**. Springer, Dordrecht, p. 203–213, 2007.

GUERRA, J.G.M. et al. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. **Pesq. Agropec. Bras**, v. 31, p. 291-299, 1996.

- HAYES, N.M.; VANNI, M.J.; Microcystin concentrations can be predicted with phytoplankton biomass and watershed morphology. **Inland Waters**, v. 8, n. 3, p. 273-283, 2018.

IBÁ, 2019- IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório anual 2019**. Brasília. 2019, 80 p.

INGLE, K.P., PADOLE, D.A. Phosphate solubilizing microbes: an overview. **Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.**, v. 6, n.1, p. 844–852, 2017.

JARVIE, H. P. et al. Sewage-effluent phosphorus: A greater risk to river eutrophication than agricultural phosphorus? **Science of the Total Environment**, v. 360, p. 246-253, 2006.

JONES, D. et al. Phosphate solubilizing fungi in a Scottish upland soil. **Mycological Research**, Cambridge, v. 95, p. 1090–1093, 1991.

KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. **Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo**. Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 31p. (Boletim Técnico, 3).

KHAN, M.S. et al. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture – a review. **Agron. Sustain. Dev.**, v. 27. p. 29-43, 2007.

KIM, K.Y.; JORDAN, D.; McDONALD, G. A. Effect of phosphatesolubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity. **Biol. Fertil. Soils**, v. 26, p. 79-87, 1998.

LAMBERS, H. et al. Phosphorus nutrition of Proteaceae in severely phosphorus-impooverished soils: are there lessons to be learned for future crops? **Plant Physiology**, v. 156. p. 1058–1066. 24, 2011.

LAMBERS, H. et al. Root structure and functioning for efficient acquisition of phosphorus: matching morphological and physiological traits. **Annals Bot.**, v. 98. p. 693-713, 2006.

LEAKE, J. R. et al. Networks of power and influence: the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant communities and agroecosystem functioning. **Canadian Journal of Botany**, v. 82, n. 08, p. 1016-1045, 2004.

LOUREIRO, F.E.L.; MONTE, M.B. de M.; NASCIMENTO, M. **Rochas e Minerais Industriais Agrominerais Fosfato**. CETEM. 2. ed., cap. 7, 2008.

MAHDI, S.S. et al. Phosphorus availability issue- its fixation and role of phosphate solubilizing bacteria in phosphate solubilization. **Research Journal of Agricultural Sciences**, New York, v. 2, n. 1, p. 174–179, 2011.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995, 889 p.

MENDES, I. C.; REIS, F. B. dos; **Microrganismos e Disponibilidade de Fosforo (P) nos solos: uma análise crítica**. Documentos 85. Planaltina: Embrapa Cerrado, 2003.

MENDES, R. et al. The rhizosphere microbiome: significance of plant-beneficial, plantpathogenic and human-pathogenic microorganisms. **FEMS Microbiology Reviews**, Amsterdam, v. 37, p. 634-663, 2013.

MILLER, S. et al. Pseudomonas-Plant Interactions. **In: Pseudomonas: Model organism, pathogen, cell factory**. Wiley-VCH Verlag, Weinheim, Germany, p.353-376, 2008.

MIRANDA, E.L. et al. Inoculação micorrizica e adubação fosfatada na produção de mudas de Amendoim forrageiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 2, p. 240-246, 2016.

MIYASAKA, S.C. et al. Manual on Arbuscular Mycorrhizal Fungus Production and Inoculation Techniques. **Soil and Crop Management**, v. 5, p. 1-4, 2003.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

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

NAHAS, E. et al. Solubilização microbiana de fosfatos e de outros elementos. In.: SIQUEIRA, J.O. et al. **Inter-relações fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Lavras-Universidade Federal de Lavras/ DCS, p.467-486, 1999.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399 p.

PACHECO, S.M.V.; DAMASIO, F. Aplicação de microrganismos disponibilizadores de fosfato imobilizados em alginato de cálcio na agricultura. **REB**, v. 6, n. 2, p. 184-204. Arranguá-SC. 2013. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/reb/article/viewFile/11455/14280>. Acesso em: 02 jul. 2020.

PATIÑO-TORRES, C.O.; O.E. SANCLEMENTE-REYES. Los microorganismos solubilizadores de fósforo (MSF): una alternativa biotecnológica para una agricultura sostenible. **Entramado**, v. 10, p. 288-297, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/274321541_Los_microorganismos_solubilizadores_de_fosforo_MSF_una_alternativa_biotecnologica_para_una_agricultura_sostenible. Acesso em: 10 maio 2020.

PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: Decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 911- 920, 2008.

PEREIRA, S.I.A., CASTRO, P.M.L. Phosphate-solubilizing rhizobacteria enhance Zea mays growth in agricultural P-deficient soils. **Ecol. Eng.** v. 73, p. 526–535, 2014.

PEREIRA, M. G. et al. Interação entre fungos micorrizicos arbusculares, rizóbios e actinomicetos na rizosfera de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande- SP. v.17, n.12, p.1249-1256, 2013.

PIERZYNSKI, G.; SIMS, J. T.; VANCE, G. **Soils and environmental quality**. 3. ed. CRC Press, Boca Raton, FL, p. 584, 2005.

POTAFOS. **Publicações Potafos, Arquivo do Agrônomo no 10 – Nutri-fatos**. 2005. 24p. Disponível em: <http://www.ppi.ppic.org>. Acesso em: 15 abr. 2020

QUEVEDO, C. M. G. de; PAGANINI, W. da S. Impactos das atividades humanas sobre a dinâmica do fósforo no meio ambiente e seus reflexos na saúde pública. **Ciênc. Saúde Coletiva**, v. 16, n. 8, 2011.

RESENDE, A.V. et al. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 30, p. 453-466, 2006.

RHEINHEIMER, D.S; ANGHINONI, I. Accumulation of soil organic phosphorus by soil tillage and cropping systems in subtropical soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 34, n.15/16, p. 2339-2354, 2003.

- RHEINHEIMER, D.S. et al. Fósforo da biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 3, p. 589-597, 2000.
- RICHARDSON, A.E. Soil microorganisms and phosphorus availability. In: PANKHURST, C.E. et al. (Ed.). **Soil biota: management in sustainable farming**. Melbourne: CSIRO, p. 50–62, 1994.
- RICHARDSON, A. E. Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. **Australian Journal of Plant Physiology**. Victoria, v. 28, p. 897-906, 2001.
- RODRÍGUEZ, H.; FRAGA, R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. **Biotechnology Advances**, New York, v. 17, p. 319–339, 1997.
- RONDON NETO, R. M.; MACEDO, R. L. G.; TSUKAMOTO-FILHO, A. A. Formação de povoamentos florestais com *Tectona grandis* L.f. (Teca). **Boletim Técnico – Série Extensão**, v. 7, n. 33, p. 1-29, 1998.
- SABER, W.I.A. et al. Rock phosphate solubilization by two isolates of *Aspergillus niger* and *Penicillium* sp. and their promotion to mung bean plants. **Research Journal of Microbiology**, New York, v. 4, p. 235–250, 2009.
- SANTOS, D. R. dos; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria-RS, v. 38, n.2, p. 576-586, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cr/v38n2/a49v38n2.pdf>. Acesso: 1 mar. 2020..
- SHARPLEY, A. N. et al. Agricultural Phosphorus and Eutrophication. **Agricultural Research Service**, 2.ed., n. 149, 2003. 38 p.
- SASHIDHAR, B.; PODILE, A.R. Mineral phosphate solubilization by rhizosphere bacteria and scope for manipulation of the direct oxidation pathway involving glucose dehydrogenase. **J Appl Microbiol**, v. 109. p. 1–12, 2010.
- SIQUEIRA, J. O. et al. Mycorrhizal colonization and mycotrophic growth of native Woody species as related to successional groups in Southeastern Brasil. **Forest Ecology Management, Amsterdam**, v. 107, n. 1/3, p. 241-252, 1998.
- SINGH, R. K.; MALIK, N.; SINGH, S. Impact of rhizobial inoculation and nitrogen utilization in plant growth promotion of maize (*Zea mays* L.). **Bioscience Journal**, v. 5, p. 8-14. 2013.
- SILVA FILHO, G.N.; VIDOR, C. Solubilização de fosfatos por microrganismos na presença de fontes de carbono. **R. Bras.Ci. Solo**, v. 24, p. 311-329, 2000.
- SMITH, S.E.; READ, D.J. **Mycorrhizal symbiosis**. 2. ed. London: Academic Press, 1997. 605 p.
- SMITH, S. E. et al. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant phosphorus nutrition: interactions between pathways of phosphorus uptake in arbuscular mycorrhizal roots have important implications for understanding and manipulating plant phosphorus acquisition. **Plant Physiology**, New York, v. 156, n. 3, p. 1050-1057, 2011.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 2004. 416p.

SOUZA, F. A. et al. Classificação e taxonomia de fungos micorrízicos arbusculares e sua diversidade e ocorrência no Brasil. In: SIQUEIRA, J. O. et al. **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Editora UFLA, p. 15-73, 2010.

STAUFFER, M.D.; SULEWSKI, G. Phosphorus: essential for life. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: Potafos/Anda, 2003.

SYLVESTER-BRADLEY, R. et al. Levantamento quantitativo de microrganismos solubilizadores de fosfatos na rizosfera de gramíneas e leguminosas forrageiras na Amazônia. **Acta Amazonica, Manaus**, v. 12, n. 1, p. 15-22, 1982.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2. ed. New York Wiley, 1994.

TARANU, Z.E. et al. **Predicting microcystin concentrations in lakes and reservoirs at a continental scale: A new framework for modelling an important health risk factor**. *Global Ecology and Biogeography*. 2017.

TOTH, G. et al. Phosphorus levels in croplands of the European Union with implications for P fertilizer use. **Eur. J. Agron.**, v. 55, p. 42–52, 2014.

VANCE, C. et al. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants securing a nonrenewable resource. **New Phytol.**, v. 157. p. 423–447. 2003.

WAGGAMAN, W. M. H. **Phosphoric Acid and Phosphate Fertilizers**. Hafner Publishing Company, 1969. 680 p.

WHITELAW, M. A. Growth promotion of plants inoculated with phosphate-solubilizing fungi. **Adv. Agron.**, v. 69, p. 99-151, 2000.

XING, W. et al. **Stoichiometric characteristics and responses of submerged macrophytes to eutrophication in lakes along the middle and lower reaches of the Yangtze River**. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.01.026>. Acesso em: 10 maio 2020.

XU, H. et al. **Nitrogen and phosphorus inputs control phytoplankton growth in eutrophic Lake Taihu, China**. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.4319/lo.2010.55.1.0420>. Acesso em: 12 maio 2020

YAN, X. et al. **Cyanobacteria blooms: A neglected facilitator of CH₄ production in eutrophic lakes**. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.197>. Acesso em: 12 maio 2020.

ZAIA, F.C. **Frações de fósforo do solo sob diferentes coberturas vegetais no norte fluminense e em plantios de cacau no sul da Bahia**. 2009. 89f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes - RJ.

CAPÍTULO 2. Desempenho de Fungos Micorrízicos Arbusculares isolados de região tropical no desenvolvimento de mudas de *Tectona grandis* (Teca)

RESUMO- A fim de aumentar produtividade e diminuir estresses abióticos e bióticos na produção de Teca, faz-se o uso de microrganismos benéficos do solo. Os fungos micorrízicos arbusculares auxiliam na absorção de nutrientes e água do solo, porém, os mesmos exercem efeitos diferentes quando em simbiose com diferentes hospedeiros. Visto que existe esta relação de efetividade de diferentes espécies e até mesmo dentro de genótipos da mesma espécie, o objetivo deste trabalho, é verificar se a inoculação com fungos micorrízicos nativos de região tropical, adaptados às condições locais, são capazes de reduzir as interferências dos fatores abióticos tanto em viveiro como nas condições de campo no desenvolvimento de mudas em 5 diferentes clones de Teca. Para isto, foram utilizados quatro isolados de fungos micorrízicos nativos coletados no norte do MT, aqui identificados como MF1, MF2, MF3 e MF4 (testados com uma testemunha, sem inoculação), inoculados em substrato comercial, na produção de mudas em viveiro de seis clones comerciais de Teca, denominados como C1, C3, C5, C6 e C7. Na fase de viveiro o experimento foi conduzido em delineamento inteiramente causalizado, em parcela subdividida, sendo parcela o fator Clone e a subparcela o fator Fungo, com 20 repetições por tratamento. Na fase de campo, o delineamento foi em blocos ao acaso, com 3 repetições, em desenho experimental de parcela subdividida. As avaliações se deram aos 60 e 90 dias após estaqueamento na fase de viveiro e a campo aos 90 e 270 dias após transplantio. Foram avaliados sobrevivência de muda, diâmetro de coleto, altura, colonização micorrízica e matéria seca (de parte aérea e de raiz). Observou-se uma relação direta de efetividade simbiótica entre fungo e hospedeiro, em viveiro os isolados MF1 e MF3 apresentaram maiores sobrevivências nos clones C1, C3, C5 e C7. O clone 1 apresentou maior diâmetro em viveiro, porém só o clone 3 incrementou em diâmetro na presença de inoculação (isolado MF1) e a melhor resposta em altura foi com a inoculação dos isolados MF1 e MF2, excluído no clone 3. Todos os isolados obtiveram taxas de colonização superior a 60. Apesar das altas colonizações dos fungos nas raízes dos clones, existe uma relação visível de efetividade simbiótica em relação ao FMA x clone hospedeiro. Em viveiro os isolados MF3 e MF2 resultaram em maiores desenvolvimentos de muda. O uso correto das interações clone x fungo, levando em conta a efetividade hospedeiro x fungo, resulta em maior eficiência de produção de mudas em viveiro, maior desenvolvimento em diâmetro e altura, e ainda, maior adaptabilidade e maior desenvolvimento da teca em condições de campo.

Palavra-chaves: Viveiro, sobrevivência de mudas, desenvolvimento a campo

Performance of Arbuscular Mycorrhizal Fungi from the tropical region in the teak productive chair.

ABSTRACT- In order to increase productivity and reduce abiotic and biotic stresses in the production of Teak, beneficial soil microorganisms are used. The arbuscular mycorrhizal fungi help in the absorption of nutrients and water from the soil, however, they have different effects when in symbiosis with different hosts. Since there is this relation of effectiveness of different species and even within genotypes of the same species, the objective of this work is to verify if inoculation with mycorrhizal fungi native to the tropical region, adapted to local conditions, are able to reduce the interferences of the abiotic factors both in the nursery and in the field conditions in the development of seedlings in 5 different Teak clones. For this, four isolates of native mycorrhizal fungi collected in northern MT, here identified as MF1, MF2, MF3 and MF4 (tested with a control, without inoculation), inoculated in a commercial substrate, in the production of seedlings in a nursery of six commercial clones of Teca, denominated as C1, C3, C5, C6 and C7. In the nursery phase, the experiment was conducted in a completely causalized design, in a subdivided plot, with the Clone factor being the plot and the Fungus factor, with 20 replicates per treatment. In the field phase, the design was in randomized blocks, with 3 replications, in an experimental design of a subdivided plot. The evaluations took place at 60 and 90 days after staking in the nursery phase and in the field at 90 and 270 days after transplanting. Seedling survival, stem diameter, height, mycorrhizal colonization and dry matter (aerial and root) were evaluated. It was observed a direct relation of symbiotic effectiveness between fungus and host, in the nursery the isolated MF1 and MF3 showed higher survival in clones C1, C3, C5 and C7. Clone 1 had a larger diameter in a nursery, but only clone 3 increased in diameter in the presence of inoculation (isolate MF1) and the best response in height was with inoculation of isolates MF1 and MF2, excluding in clone 3. All isolates obtained colonization rates above 60. Despite the high colonization of fungi at the roots of the clones, there is a visible relationship of symbiotic effectiveness in relation to the FMA x host clone. In the nursery the isolates MF3 and MF2 resulted in greater development of seedlings. The correct use of clone x fungus interactions, taking into account the host x fungus effectiveness, results in greater seedling production efficiency in the nursery, greater development in diameter and height, as well as greater adaptability and greater development of teak under field conditions.

Keywords: Nursery, seedling survival, field development

1 INTRODUÇÃO

Nativa de países do Sudeste Asiático e subcontinente indiano, a espécie *Tectona grandis* (teca), apresenta rápido crescimento, alta qualidade de material, alto valor econômico e grande aceitabilidade no mercado externo. No Brasil, os reflorestamentos de teca ocupam uma área de plantio de aproximadamente 94 mil hectares (IBÁ, 2019) com a maior área plantada na América Latina. Adaptada em clima tropical, os plantios estão presentes nos estados na região Amazônica (ROCHA; LEONARDO; OLIVEIRA, 2015). A teca é conhecida por possuir uma das madeiras mais valiosas do mundo, sendo muito procurada pela indústria moveleira devido às suas propriedades físicas (CÁCERES FLORESTAL, 2006). Porém, algumas questões de estresse abióticos vem diminuindo o rendimento destes plantios, uma vez que, as plantações são conduzidas, em sítios menos inaptos para o plantio, a espécie possui exigências em cálcio e apresenta baixa tolerância a alumínio e ao excesso de umidade no sistema radicular (ALFENAS, 2013). Ainda, em viveiro de Teca, o índice de sobrevivência de mudas se mantém em 80%, significando, uma perda de 20% do material ao final do ciclo.

Para garantir maiores produtividades e ciclo mais rápido dos plantios florestais, minimizando fatores de estresse, a inoculação de microrganismos benéficos do solo apresenta-se com uma das ações com potencial de ser adotada. Entre os microrganismos que apresentam relações de simbiose com plantas arbóreas estão os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) os quais atuam aumentando a absorção de água e nutrientes pela planta (pelas hifas fúngicas) podendo ser decisivos no estabelecimento e adaptação das plantas em locais rigorosamente perturbados (VALLINO et al., 2006). A importância destas associações micorrízicas se deve ao incremento na produção de biomassa e produtividade das plantas hospedeiras, redução do uso de fertilizantes químicos e de pesticidas (AZCÓN-AGUILAR; BAREA, 1997).

Os FMAs não têm especificidade à planta hospedeira, mas diferentes combinações de fungos e hospedeiros têm o funcionamento da simbiose bastante diverso. Isso basicamente se deve ao fato de os FMAs apresentarem diferentes capacidades de promover o crescimento de uma mesma espécie de planta (SMITH; GIANINAZZI-PEARSON, 1988). A eficiência dos fungos micorrízicos no aumento do crescimento das plantas varia com as espécies fungo-hospedeiro associadas (RODRIGUES; BARROSO; FIGUEIREDO; 2018). Para o *Luehea grandiflora* Mart. Zucc., Santos, Siqueira e Moreira (2008) observaram que os isolados de *Glomus* sp. foram ineficientes para incrementar o crescimento das mudas, enquanto, para *Trema micrantha* (L.) Blum. e *Schinus terebinthifolius* Raddi, somente um isolado dos dois isolados de *Glomus* sp. testados foi eficiente para o crescimento das mudas aos 120

dias após o plantio. A inoculação com *Rhizophagus clarus* (= *Glomus clarum*) no estudo de Lacerda et al. (2011) em espécies arbóreas do Cerrado, mostra as diferentes respostas de um mesmo fungo a uma variedade de plantas. As espécies pioneiras, ingá, gabiroba e caroba, apresentaram maiores respostas à inoculação micorrízica que, quando comparadas ao jatobá (espécie clímax), chichá e baru (espécies secundárias).

A compreensão da relação de efetividade entre fungo-hospedeiro é de suma importância para alcançar as melhores respostas de inoculação. Visto que existe esta relação de efetividade de diferentes espécies e até mesmo dentro de genótipos da mesma espécie, o objetivo deste trabalho, é verificar se a inoculação com fungos micorrízicos nativos de região tropical, adaptados às condições locais, são capazes de reduzir as interferências dos fatores abióticos tanto em viveiro como nas condições de campo no desenvolvimento de mudas em 5 diferentes clones de Teca.

2 MATERIAL E MÉTODO

2.1 Escolha dos morfotipos fúngicos

O isolamento e caracterização de esporos micorrízicos foi realizado por Mercedes (2018). Os morfotipos escolhidos, foram coletados e isolados de uma mata nativa do Bioma Amazônia de norte do estado de Mato Grosso, clima tropical, e fazem parte da coleção do laboratório de Microbiologia e Biotecnologia Agrícola, da Universidade Federal de Mato Grosso (campus Sinop).

O uso destes quatro isolados, aqui denominados como: MF1, MF2, MF3 e MF4, se deram pelas características de reprodução e esporulação nos vasos de cultura armadilha, uma vez que para utilização como produto inoculante, é necessário que o fungo obtenha altas taxas de esporulação e consiga fazer este processo associado a uma planta hospedeira

2.2 Preparo do Inóculo

A preparação do inóculo de FMA, foi realizado, pelo plantio de vasos de substrato esterilizado (solo: areia 1:1) e 30 esporos isolados dos morfotipos MF1, MF2, MF3 e MF4. Os vasos foram mantidos com solução nutritiva de Hewitt (Hewitt, 1966) e *Urochloa decumbens* como planta hospedeira. Após 120 dias, foram feitas avaliações quanto ao potencial de inóculo de cada morfotipo, usando como amostra 30 g do substrato dos vasos de multiplicação. A partir desta amostra foi realizado o peneiramento úmido (DURAZZINI et al., 2016), com posterior centrifugação em sacarose 48% (JENKINS, 1964), sendo verificadas as seguintes quantidades de esporos para cada morfotipo: 200 esporos do MF1, 84 esporos do MF2, 16 esporo do

MF3 e 1500 esporos do MF4. Determinada a quantidade total de esporos presentes em cada inóculo os mesmos foram aplicados no substrato padrão da produção de mudas.

2.3 Fase de viveiro

2.3.1 Inoculação do substrato e produção de mudas

O experimento foi realizado no viveiro de mudas da Teak Resources Company (TRC) localizado na cidade de Jangada – MT, no período de setembro de 2019 a março de 2020. Foram utilizados 5 clones comerciais da empresa, aqui denominados como C1, C3, C5, C6 e C7. Todos os materiais genéticos aqui utilizados, vieram da Malásia e não são provenientes de nenhum cruzamento realizado no viveiro. Os mesmos foram multiplicados em sistema de estaqueamento e plantados no substrato comercial [Mec Plant – Florestal 2- 100 Kg + Osmocote Mini Prill – 3M (N19%, P₂O₅ 6% e K₂O 18%)- 800 g + PG Mix (N 14%, P₂O₅ 16% e K₂O 18%)- 500 g].

A inoculação de FMA foi feita pela homogeneização das culturas micorrízicas (contendo esporos, hifas e fragmentos de raiz) do vasos de multiplicação na proporção de 1kg de inóculo para 10 L de substrato. Ainda, foi realizado tratamento testemunha somente com o substrato comercial. O substrato e o inóculo de FMA foram homogeneizados em bandejas e após foram distribuídos em tubetes de 53 cm³. As miniestacas permaneceram em casa de vegetação por 30 dias, posteriormente, foram para casa de sombra até completarem os 60 dias, por fim foram para área de rustificação, onde permaneceram em condições de pleno sol até seus 90 dias, seguindo os padrões irrigação e fertilização da empresa. Para cada clone utilizado foram produzidas 300 mudas, sendo 60 mudas de cada tratamento, totalizando 1500 mudas em total.

As condições da casa de vegetação em que as mudas ficaram alocadas, são de 80% de umidade relativa do ar e temperatura média em 38 graus. Em casa de sombra a temperatura e umidade oscilam conforme clima diário, pois a mesma é coberta com aluminet.

Tabela 1 Tratamentos realizados em mudas de Teca em viveiro

Tratamentos	Clone				
	C1	C3	C4	C6	C7
T1	Test	Test	Test	Test	Test
T2	FMA (MF1)				
T3	FMA (MF2)				
T4	FMA (MF3)				
T5	FMA (MF4)				

2.3.2 Desenho experimental

O experimento seguiu delineamento inteiramente causalizado (DIC), visto que as condições expostas eram homogêneas a todos os tratamentos, com 100 repetições (5 clones x 5 (4 isolados + Test) x 60 repetições = 1500. Em esquema de Parcela subdividida, onde os clones comerciais foram as parcelas, e os diferentes inóculos de FMA as subparcelas.

2.3.3 Avaliações

Aos 60 e 90 dias após estaqueamento, foram contabilizadas as mortes por tratamento e calculado taxas de sobrevivência. Aos 90 dias, 20 mudas das 60 produzidas de cada tratamento, foram escolhidas de forma aleatorizada e encaminhadas para laboratório, onde foi mensurado altura de muda e diâmetro de coleto, com auxílio de fita métrica e paquímetro digital respectivamente.

Após mensuração dendrométrica, foi coletado o terço inferior das raízes (ainda vivas e umidas) (parte com maior número de raízes finas) no qual passou pelo processo de descoloração com uso de KOH 10% (descoloração) 50 minutos na autoclave com vapor fluente, HCl 0,1N (acidificação) 3 minutos em imersão, e coloração com uso de Azul Tripán 0,05% por 10 minutos em autoclave com vapor fluente (Philips e Hayman, 1970). A colonização micorrízica foi avaliada pela interseção dos quadrantes Grin line (GIOVANETTI; MOSSE, 1980)

Para obtenção de matéria seca, os materiais que vieram do viveiro foram divididos em parte aérea e raiz, armazenados em sacos de papel, e levados para estufa com ventilação contínua a 105 °C até apresentarem massa constante e posterior pesados.

2.4 Fase de Campo

2.4.1 Área experimental

A área destinada ao plantio, pertence ao viveiro utilizado na produção das mudas que está situada no município de Jangada- MT, coordenadas 15°03'41" S e 56°35'19" W, possui solo arenoso e está localizado no bioma Cerrado, classificado como clima de savana **tropical Aw** segundo classificação de Köppen e Geiger, com chuvas no período de verão e inverno seco.

Tabela 2 Análise de solo realizada nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, teor de pH, P, K, Matéria Orgânica (MO) e argila

Prof. (cm)	pH		P	Na	K	S	MO	Argila
	(H ₂ O)	(CaCl ₂)	mg dm ⁻³				g dm ⁻³	g kg ⁻¹
0 – 20	6,5	5,8	11,3	ns	92,9	-	23,5	221,00
20-40	6,4	5,7	7,4	-	51,5	-	18,7	231,00

2.4.2 Desenho experimental

Na fase de campo, 15 mudas de cada tratamento, testado no viveiro, foram plantadas no delineamento experimental em blocos ao acaso, com três repetições, cada unidade experimental constituída foi composta por cinco plantas em linha. Trata-se de um experimento piloto, para testar as melhores respostas, em uma área pequena, para posterior experimento com melhores tratamentos.

2.4.3 Avaliações

Até os 30 dias após plantio, foram replantadas todas as mudas mortas, a partir deste período, as baixas foram contabilizadas. Aos 90 e 270 dias após o plantio das mudas foram mensurados o diâmetro de coleto, com auxílio de paquímetro digital e altura de mudas com fita métrica.

2.5 Análises estatísticas

Os dados coletados na fase de viveiro e campo, foram submetidos a ANOVA e teste de média Scott-Knott ($p < 0,05$) após confirmados os pressupostos de normalidade (teste de shapiro wilk) e homocedasticidade (teste de Bartlett), para isto, foi utilizado o programa de estatística R 4.0.3.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Fase viveiro

3.1.1 Sobrevivência de mudas

A inoculação dos fungos micorrizicos nativos aumentou a eficiência de produção de mudas, diminuindo mortalidade (**Figura 5**). Comumente os clones no viveiro apresentam sobrevivência: C1- 82%, C3- 75%, C5- 70%, C6- 75% e C7- 80%. O clone 1 na presença do isolado MF1 e MF4 apresentaram mais de 85% de sobrevivência, assim como clone 3 que na presença do MF1 alcançou 91 % de sobrevivência. As

mudas inoculadas do clone 5 apresentaram mais de 80% de sobrevivência, 10% a mais que o tratamento sem inoculação. Segundo informações do viveiro parceiro acima de 85% a produção se torna excepcional, logo pode-se observar que cada clone respondeu positivamente a sobrevivência, quando inoculado por pelo menos um morfotipo fúngico testado.

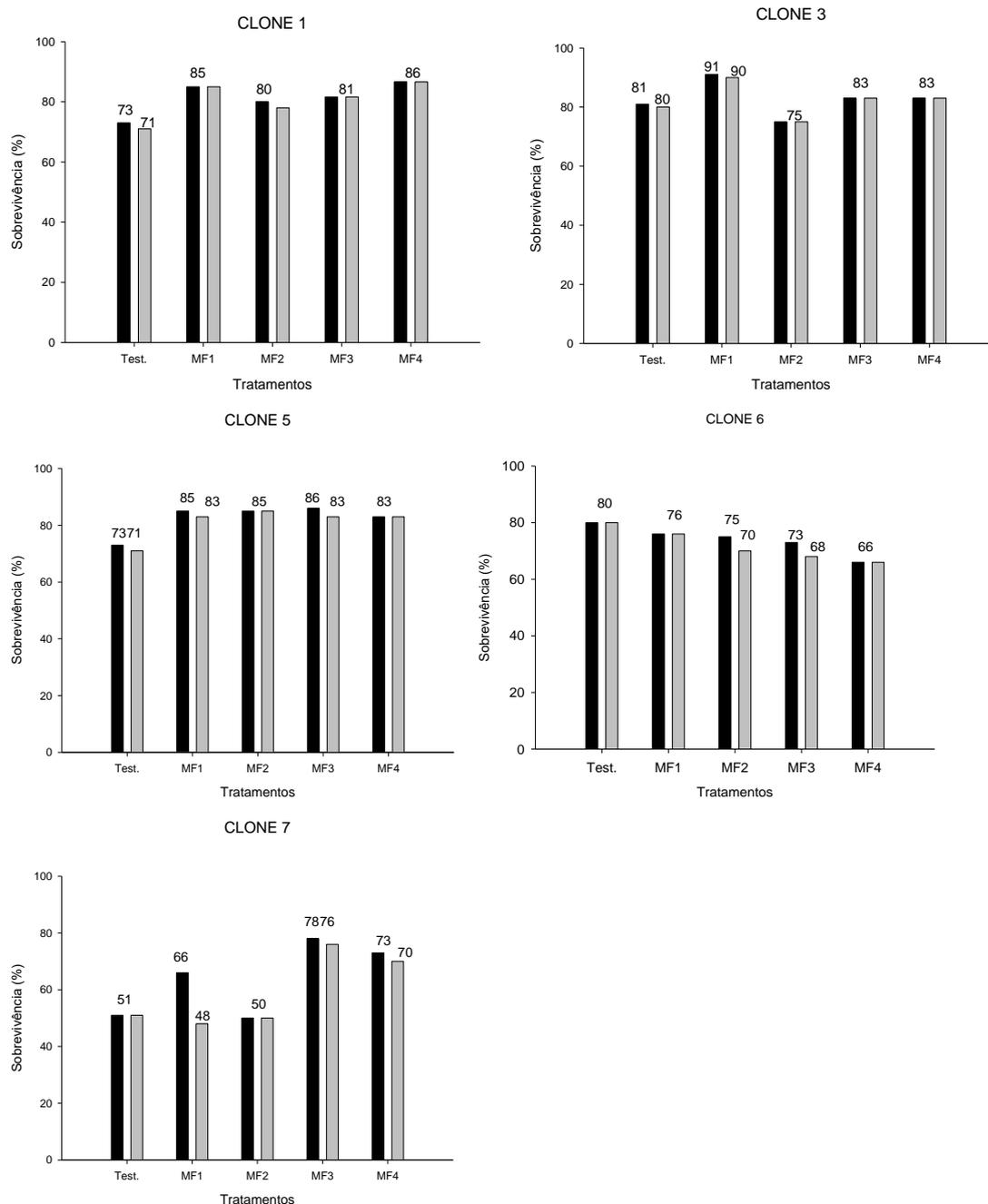


Figura 5 Sobrevivência de mudas de teca em viveiro, aos 60 e 90 dias após obtenção das estacas. Obs.: barras pretas ilustram sobrevivência aos 60 dias e barras cinzas sobrevivência aos 90 dias.

A relação positiva de sobrevivência encontrada na resposta da maioria dos clones a inoculação pode ser explicado, pelo fato, dos microorganismos FMA colonizarem as raízes novas da planta hospedeira, e ao emitirem suas hifas, auxiliarem no processo de absorção de nutrientes do solo para planta, proporcionando maior crescimento e maior tolerância da muda por ações abióticas e bióticas que poderiam propiciar morte de mudas.

Zangaro e Andrade (2002) apontam que a inoculação de FMAs deve ser praticada na formação das mudas para garantir o estabelecimento da simbiose. Segundo autores como Silveira et al. (2002) e Nunes et al. (2008), a associação mutualística entre FMA e a raízes da maioria das plantas, confere papel fundamental na sobrevivência, crescimento e desenvolvimento do vegetal. Autores como Linderman (2000), Colozzi Filho et al. (1994), citam em seus trabalhos que a presença de micorriza nas raízes de plantas aumenta a sobrevivência em períodos de seca, ou no transplântio de mudas.

O trabalho realizado por Caldeira et al. (1999) corrobora os resultados obtidos nesse experimento, onde, os autores inocularam duas espécies arbóreas com fungos micorrizicos nativos da região de estudo e obtiveram maior percentual de sobrevivência de mudas de *Peltogyne venosa* (pau-roxo-da-varzea) e *Sclerolobium paniculatum* (Taxibranco) quando utilizado fungos nativos (de 8%- testemunha para 68% - FMA nativos).

3.1.2 Atributos biométricos de crescimento

A colonização apresentou diferença significativa, sendo observada interações entre os fatores (Clones x Isolados) (**Figura 2**).

A inoculação com FMAs nativos foi efetiva, uma vez que, a maioria dos tratamentos apresentou colonização superior a 70% (**Figura 2**). Apesar das mudas (sem inoculação) apresentarem taxa de colonização, estas foram menores que as mudas que receberam inoculação com FMA, isso pode ser resultado de contaminação do substrato com FMAs naturais do solo (uma vez que o mesmo não foi esterilizado).

O Clone 1, apresentou maior taxa de colonização quando inoculado com o MF4, seguido do MF3, o clone 3 apresentou maior colonização na presença do isolado 2, porém o mesmo isolado apresentou resultados inferiores quando observado diâmetro e altura (**Tabela 2**), o que pode significar um dreno de carbono por parte dos FMA.

O clone 5, apresentou suas maiores taxas em simbiose com os fungos MF2 e MF4, sendo que o MF4 resultou em maiores diâmetros. O clone 6 obteve taxas superiores a 88% com os isolados MF3, MF2 e MF1, mesmos isolados que resultaram

em maiores médias dos parâmetros diâmetro e altura. O clone 7 obteve 89,92 % e 87,27% dos isolados MF4 e MF1 respectivamente, porém, os isolados que apresentaram respostas superiores de diâmetro e altura foram os isolados MF2 e MF3, com média de 84% de colonização.

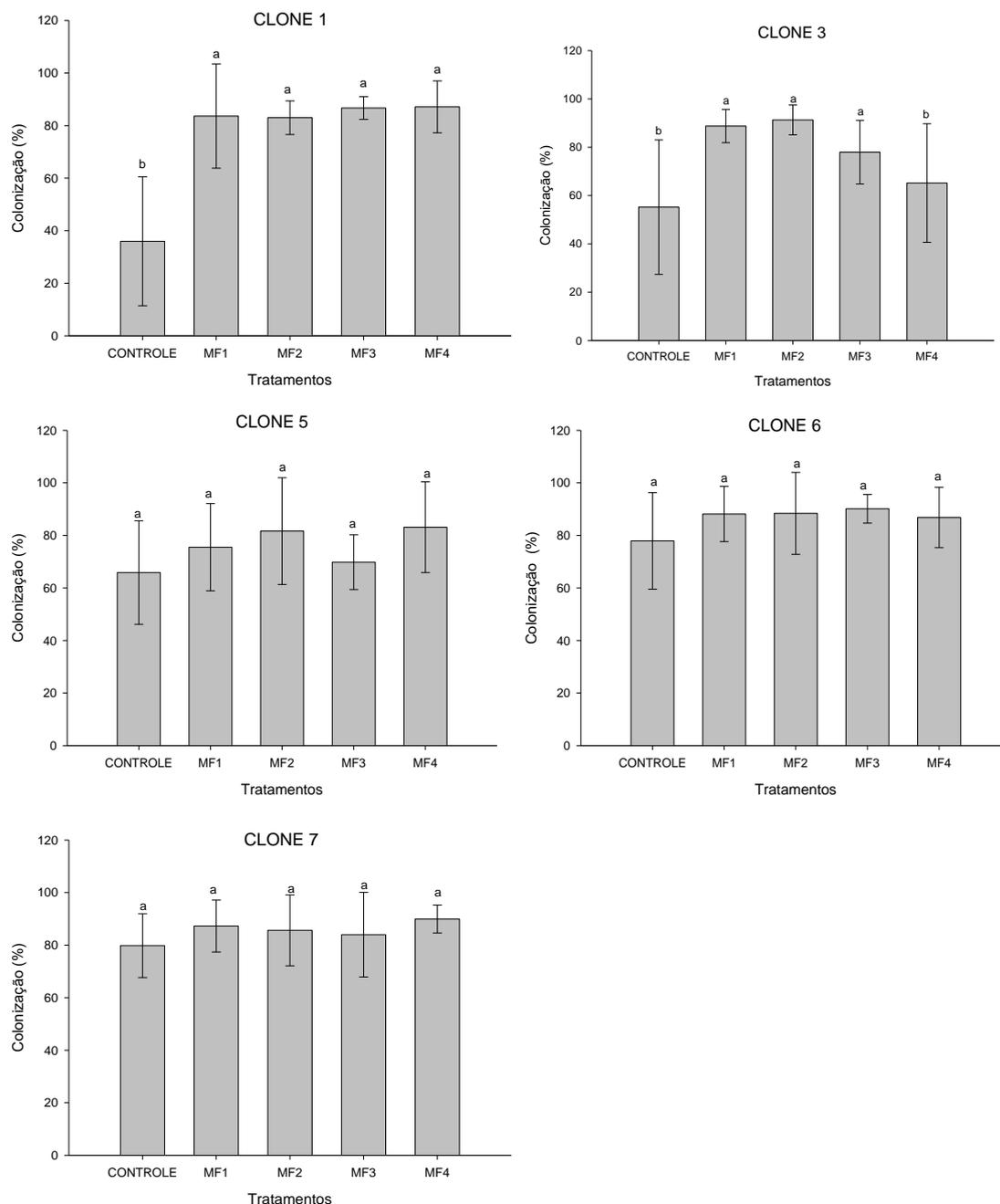


Figura 6 Taxa de colonização micorrizica contabilizada nas raízes dos clones comerciais de Teca, em resposta aos tratamentos com fungos micorrizicos arbusculares nativos do Norte de Mato Grosso, denominados MF1, MF2, MF3 e MF4

No trabalho realizado por Rodrigues, Barroso e Figueiredo (2018) a colonização por *Rhizophagus clarus* em *Tectona grandis* em casa de vegetação atingiu 96%, porém

segundo o mesmo autor, a eficiência de um fungo deve ser avaliada pelo desenvolvimento vegetativo, uma vez que a simbiose pode não ser efetiva, com elevadas taxas de colonização, dependendo do hospedeiro. Outro fator importante de ressaltar que a simbiose entre a planta e FMA é influenciada pelas espécies/cultivares de porta-enxertos e pela espécie de FMA (SMITH; SMITH, 2011).

A seleção e inoculação de FMAs nativos, objetivo deste trabalho, é de grande interesse prático, pois os mesmos apresentam vantagens em relação aos FMAs exóticos, uma vez que já são adaptados ao ambiente. Por outro lado, a sua eficiência deve ser avaliada, uma vez que a simbiose pode não ser efetiva, dependendo do hospedeiro (RODRIGUES; BARROSO; FIGUEIREDO, 2018).

Na Análise de Variância, observa-se que os parâmetros Diâmetro e Altura apresentaram diferença significativa a teste de Scott-Knott a 5%, sendo que os mesmos apresentaram interação dos fatores clones x FMA (**Tabela 3**).

Quando observado incremento de diâmetro na fase de viveiro, nota-se que apenas o clone 3 apresentou resultado significativo na presença da inoculação com fungo micorrizico, sendo o MF1 que apresentou maior média. Os demais clones apresentaram médias de diâmetro de mudas inoculadas igual ou inferior as mudas que não receberam fungos micorrizicos. O clone 1 apresentou a maior média de todos na presença do isolado MF2, porem este não diferiu significativamente do tratamento testemunha a 5% de probabilidade. Lacerda et al. (2011) em seu trabalho com espécies do cerrado, observou que a inoculação com o FMA *Glomus clarum* proporcionou maiores diâmetros de caule em mudas de Barú (60 dias após transplante) e nas espécies de Chichá, caroba, ingá e gabirola (90 dias após transplante).

Excludente clone 3, os isolados MF1 e MF2, apresentaram as maiores médias de altura, assim como o isolado MF3, que apresentou as maiores médias, excludente quando inoculado no clone 1. Lima et al. (2011) observaram que a inoculação com FMA aumentou significativamente a altura de mudas de mamoeiro em viveiro na ausência de substrato com baixa disponibilidade de P. Em um trabalho realizado por Rodrigues, Barroso, Figueiredo (2018), no município de Rio de Janeiro, foram inoculados 3 morfotipos de FMA em Teca, sendo eles *Rhizophagus clarus*, um isolado nativo de uma plantação de Teca de 20 anos no MT e um isolado chamado de inóculo Campos proveniente da região dos Campos dos Goytacazes – RJ, mostrou que na presença dos FMAs as mudas de Teca cresceram mais em altura que as mudas sem inoculação, ainda, neste trabalho a inoculação com o inoculo campos apresentou maior média de diâmetro de coleto.

Tabela 3 Médias e análise de variância em resposta a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) nativos do norte do estado de Mato Grosso, no desenvolvimento de 5 clones de Teca. Seguido das interações FMA x Clone.

Clones	Test.	Isolados			
		MF1	MF2	MF3	MF4
Diâmetro (mm)					
C1	6,06±0,36 aA	5,53±0,32 aB	6,28±0,44 aA	5,58±0,30 aB	5,34±0,34 aB
C3	5,28±0,48 bA	5,13±0,35 aA	4,56±0,77 cB	5,24±0,21 aA	5,07±0,31 bA
C5	4,66±0,40cA	4,64±0,21 bA	4,78±0,25 cA	4,90±0,33 bA	4,89±0,59 bA
C6	4,60±0,15 cC	5,24±0,39 aA	5,27±0,22 bA	4,95±0,28 bB	4,92±0,21 bB
C7	5,04±0,89 bA	4,89±0,38 bA	4,80±0,25 cA	4,85±0,24 bA	4,75±0,24 bA
CV1	27,29 %				
CV2	8,98%				
Altura(cm)					
C1	14,32±1,83 aC	18,69±2,53 aA	17,34±2,30 aA	15,11±1,68 bC	14,02±2,55 bC
C3	15,69±1,92 aC	15,20±2,09 cB	14,19±1,53 aD	20,23±1,84 aA	17,25±2,53 aB
C5	14,41±2,07 aB	17,12±2,97 aA	17,00±1,93 aA	18,33±2,78 aA	14,66±2,46 bB
C6	15,20±1,79 aA	15,02±2,59 bA	15,33±2,02 bA	14,64±1,50 bA	14,33±2,34 bA
C7	15,83±2,38 aA	14,69±2,14 bA	16,48±3,57 aA	15,22±2,17 bA	15,36±2,87 bA
CV1	12,29%				
CV2	6,19%				
Matéria Seca Parte Aérea (g)					
C1	5,88± 0,25	6,26± 0,47	6,36± 0,61	6,18± 0,63	6,14± 0,37
C3	9,06±0,54	6,53±0,48	6,50±0,29	6,45±0,50	6,24±0,30
C5	6,01±0,45	6,35±0,50	6,24±0,64	6,01± 0,43	6,19± 0,44
C6	5,90±0,56	5,99±0,47	6,24±0,50	6,41±0,73	5,94± 0,47
C7	6,23± 0,63	5,94±0,66	6,00±0,40	6,67±0,50	5,95± 1,05
CV1	4,12%				
CV2	3,97%				
Matéria Seca Raiz (g)					
C1	4,60±0,63	4,91±0,65	4,55±0,46	4,43±0,46	4,42±0,46
C3	4,74±0,67	4,60±0,56	4,48±0,70	4,82±0,83	4,35± 0,46
C5	4,08±0,31	4,14±0,55	4,17±0,64	4,49±0,86	4,54±0,49
C6	4,37± 0,68	4,46±0,75	4,06±0,33	4,77±0,82	4,81±1,02
C7	4,65±0,59	4,52±0,70	4,54±0,70	4,35±0,60	4,46±0,59
CV1	6,18%				
CV2	6,31%				

Obs: Letras minúscula comparam os clones dentro de cada isolado (colunas) e letras maiúsculas comparam os isolados dentro de cada clone (linha). Letras diferentes apresentaram diferenças estatísticas a 5%, no teste de médias de Scott-Knott

A interação com os tubetes utilizados deve ser levada em consideração, visto que os benefícios da inoculação podem ser maiores, Anzanello et al. (2011) expõem em seu trabalho com videiras dois fatores que ocorrem em viveiro, primeiro o tempo que a muda fica condicionada em viveiro pode ter sido insuficiente para o endófito ter mostrado sua eficiência, pois necessitou inicialmente colonizar as raízes, período em que o fluxo de metabólitos é maior no sentido da muda para o FMA do que o inverso. Aliado a isto, as raízes das mudas podem ter sido capazes de explorar todo o volume de substrato

contido no recipiente de 300 mL, dispensando o auxílio dos FMA, Em contrapartida, aos 135 dias de inoculação (77 dias de cultivo em recipientes de 2 L), combinações específicas entre FMA e porta enxertos (PE) promoveram diferenças significativas no crescimento e desenvolvimento dos PE, quando comparadas às plantas testemunhas, confirmando que o tempo de inoculação e/ou o volume do recipiente são fatores determinantes para a colonização e para a ação micorrízica sobre as plantas (Agostini, 2002).

O crescimento de ambos os simbioses é influenciado pelo genótipo da planta hospedeira, pela espécie do fungo e pelo solo, mas não está necessariamente relacionado à porcentagem de colonização das raízes; além disso, em dado nível de colonização, a eficiência da absorção de nutrientes pode ser afetada pelos parâmetros da troca de nutrientes na interface fungo-raiz e pela extensão, viabilidade e capacidade de transporte das hifas externas (Marschner & Dell, 1994).

É interessante o fato de que todos os fungos foram capazes de estimular pelo menos um clone de Teca planta, embora todas elas tenham de responder a pelo menos um fungo, ficando evidente que o benefício desta simbiose depende da combinação fungo-planta.

3.1.3 Análise foliar de nutriente

A inoculação com Fungos micorrízicos em mudas de Teca, acarretou aumento na absorção de Fosforo e outros nutrientes como apresentado na tabela a seguir (Tabela 4 e 5).

Tabela 4 Análise foliar, com teores dos macronutrientes (Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S)) expressos em g/Kg-1

	N	P	K	Ca	Mg	S
g /Kg ⁻¹						
Clone 1						
T1-Test.	8.1	1.6	12.2	11.5	5.9	0.8
T2-MF1	7.8	3.1	11.2	11.6	6.2	1.0
T3- MF2	8.0	2.2	10.5	12.6	6.9	1.0
T4-MF3	12.5	2.4	11.1	12.2	6.3	1.0
T5-MF4	11.2	2.8	11.7	10.2	5.7	1.0
Clone 3						
T1-Test.	10.5	2.4	11,0	12.9	6.4	0.9
T2-MF1	7.7	2.9	13.8	13.8	7.5	0.9
T3- MF2	13.6	2.6	12.0	10.7	5.5	1.1
T4-MF3	12.0	2.9	11.2	11.7	5.8	1.1
T5-MF4	13.6	3.2	12.5	11.9	6.3	1.3

Clone 5						
T1-Test.	13.3	2.3	12.3	11.9	6.1	0.9
T2-MF1	12.3	3.0	13.2	12.4	6.5	2.0
T3- MF2	10.5	3.1	11.3	12.4	7.0	1.1
T4-MF3	11.8	3.0	14.0	12.6	6.7	1.2
T5-MF4	10.4	3.0	12.0	11.4	5.8	1.4
Clone 6						
T1-Test.	12.3	2.5	12.7	11.3	6.2	0.9
T2-MF1	8.8	2.0	10.1	10.8	5.5	1.0
T3- MF2	11.4	2.4	11.9	12.2	5.9	1.1
T4-MF3	10.4	3.0	12.2	13.1	6.1	1.2
T5-MF4	10.9	3.2	14.1	11.9	5.7	1.2
Clone 7						
T1-Test.	8.8	2.8	12.3	12.9	6.9	0.9
T2-MF1	12.0	2.7	12.1	12.4	6.4	0.6
T3- MF2	9.0	2.3	13.1	11.4	5.9	1.1
T4-MF3	12.0	3.8	13.5	12.4	6.8	1.2
T5-MF4	11.4	3.7	13.6	12.0	6.2	1.8

Tabela 5 Análise foliar, com teores dos micronutrientes (Boro (B), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Molibdenio (Mn) e Zinco (Zn) expressos em mg/Kg-1

	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mg Km-1					
Clone 1					
T1-Test.	19.7	6.0	55.0	26.9	12.0
T2-MF1	17.2	9.0	105.0	28.6	18.0
T3- MF2	13.2	7.0	67.0	31.6	16.0
T4-MF3	14.6	8.0	66.0	21.6	21.0
T5-MF4	13.6	8.0	50.0	21.8	17.0
Clone 3					
T1-Test.	22	7.0	91.0	47.8	15.0
T2-MF1	15.4	8.0	61.0	29.2	16.0
T3- MF2	18.7	9.0	92.0	26.9	17.0
T4-MF3	15.2	8.0	63.0	32.4	17.0
T5-MF4	18.3	9.0	69.0	36.8	18.0
Clone 5					
T1-Test.	18.5	8.0	88.0	28.3	14.0
T2-MF1	17.5	8.0	68.0	25.9	20.0
T3- MF2	15.5	7.0	60.0	31.4	17.0
T4-MF3	22.2	8.0	60.0	29.2	20.0
T5-MF4	16.9	9.0	71.0	26.1	17.0
Clone 6					
T1-Test.	19.7	7.0	59.0	34.4	13.0
T2-MF1	13.8	7.0	47.0	24.1	15.0
T3- MF2	12.8	7.0	69.0	23.4	14.0
T4-MF3	15.3	7.	61.0	31.5	16.0
T5-MF4	16.1	9.0	52.0	24.8	18.0

	Clone 7				
T1-Test.	16.6	7.0	72.0	35.6	14.0
T2-MF1	15.6	7.0	71.0	24.2	16.0
T3- MF2	14.7	8.0	54.0	23.0	14.0
T4-MF3	15.4	9.0	84.0	28.0	18.0
T5-MF4	18.7	8.0	90.0	40.9	16.0

Na análise foliar de nutrientes observou-se aumento no conteúdo de fósforo (P), potássio (K) e enxofre (S) nos tratamentos com os microrganismos (MF1, MF2, MF3 e MF4) (Tabela 4). Os micronutrientes zinco (Zn) e cobre (Cu) também foram influenciados positivamente pela inoculação, apresentando conteúdo superior ao controle.

A aplicação dos fungos MF3 e MF4 garantiu a maior absorção de P e S em todos os clones, apenas os clones 5 e 6 apresentaram menores teores de P quando inoculados com os fungos MF2 e MF1. Os clones 3,5, 6 e 7 apresentaram maiores teores de nutriente em suas folhas na presença dos fungos micorrízicos, excluindo o clone 1 que apresentou teores inferiores às mudas não inoculadas.

Quando analisado os teores de nitrogênio (N), observa-se que apenas nos clones 3 e 5 a presença dos isolados aumentou a absorção do mesmo. Na maioria dos tratamentos, os teores de Magnésio (Mg), Boro (B), Ferro (F) e molibdênio (Mn) foram inferiores aos tratamentos sem inoculação.

Assim como observado por Rodrigues et al. (2018), em estudos realizados em casa de vegetação, nossos resultados evidenciam o efeito benéfico da inoculação de FMA em mudas de teca, elevando principalmente o teor de nutrientes. A melhoria na nutrição, crescimento e desenvolvimento vegetal, quando associada a inoculação de fungos micorrízicos, estão muitas das vezes relacionadas à facilitação na absorção de nutrientes minerais do solo (BAREA et al., 2005).

Em pesquisa com *Plectranthus amboinicus*, Merlin et al. (2020) destacam aumento no crescimento das plantas com a inoculação de AMF *Rhizophagus clarus*. Estes autores relatam incremento no teor de P, N e no teor de óleo essencial das plantas inoculadas com AMF.

3.2 Fase de campo

Os clones que apresentaram maior crescimento nos 6 primeiros meses, foram o clone 6 e 7 em altura, e diâmetro os clones 5 e 6. Até o momento de avaliação, não foi constatado interação entre os clones avaliados e os Fungos micorrízicos testados (Tabela 6).

Tabela 6 Análise de variância com dados coletados a campo, aos 90 e 270 dias após transplante de mudas.

	ANOVA- p valor (>0.05)			
	Altura- 90 dias	Diâmetro- 90 dias	Altura -270 dias	Diâmetro- 270 dias
Clones	0.0046*	0.3554	0.1281	0.0314*
Blocos	0.0962	0.339	0.2928	0.3372
Fungos Micorrizicos Arbusculares -FMA	0.9266	0.5443	0.9552	0.8923
FMAx Clones	0.9928	0.7178	0.9102	0.937
CV 1 (%)	19.66	20.65	31.54	28.44
CV 2 (%)	21.87	16.82	26.44	22.39
Clones				
C1	46.84 b	11.98	77.86	21.09 b
C2	44.46 b	11.16	74.47	22.04 b
C3	47.40 b	11.83	75.97	21.78 b
C4	52.09 b	12.93	93.33	26.96 a
C5	52.78 b	12.57	94.48	29.11 a
C6	56.48 a	11.55	99.93	28.71 a
C7	62.87 a	13.08	88.8	26.64 a

Obs: * Significativo com $p < (0,05)$; Médias seguidas da mesma letra, não diferiram estatisticamente pelo teste de médias de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

4 CONCLUSÃO

Os fungos colonizam em grandes proporções todos os genótipos de clones, porém existe uma relação de efetividade simbiótica entre cada clone e isolado.

Em viveiro, o isolado MF3 e MF2, resultam em maior desenvolvimento de mudas. Em campo os isolados MF3 e MF4 são mais responsivos.

A inoculação com fungos micorrizicos arbusculares tropicais, diminuí a suscetibilidade das mudas a estresses abióticos, encontrados em viveiro, proporcionando menor mortalidade nesta fase, resultando pro viveiro, mais mudas para comercio.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

AGOSTINI, S. **Fungos micorrízicos arbusculares e o desenvolvimento vegetativo de porta-enxertos de videira**. 2002. 57f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ALEXANDRE, F.S. **Estratégias de avaliação da resistência á murcha de Cerastoystis causada por Ceratocystis fimbriata EM Tectona grandis**. 2020. 100f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Mato Grosso -MT.

ALFENAS, R. F. Principais doenças da Teca no Brasil. **Revista Opiniões**, (Online), 2013. Disponível em: <https://florestal.revistaopinioes.com.br/revista/detalhes/4-principais-doencas-da-teca-no-brasil/>. Acesso em: 12 maio 2020.

AZCÓN-AGUILAR, C.; BAREA, J.M. Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture: significance and potentials. **Sci Hortic.**, v. 68, p. 1-24, 1997.

Barea, J. M., Pozo, M. J., Azcon, R., Azcon-Aguilar, C. (2005). Microbial co-operation in the rhizosphere. **Journal of experimental botany**, 56(417), 1761-1778. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri197>

CALDEIRA, M.V.W. et al. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimnto de duas leguminosas arbóreas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.9, n.1, p.63-70. 1999. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cflo/v9n1/1980-5098-cflo-9-01-00063.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2020.

CÁCERES FLORESTAL S/A. **Manual de Cultivo da teca**. 2006. Disponível em: http://www.caceresflorestal.com.br/Manual_do_cultivo_da_teca-Caceres_Florestal.pdf. Acesso em: 29 jul. 2019.

COUTINHO, A. S. Cultivo e mercado da teca. **Revista Opiniões**, n.49, p. 49-50, 2017.

COLOZZI-FILHO, A. et al. Efetividade de diferenes fungos micorrízicos arbusculares na formação de mudas, crescimento pós-transplante e produção do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p.44-51, 1994.

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

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBA). **Relatório Anual 2017**. Brasília, 2017. 80p. Disponível em: encurtador.com.br/nuMX4. Acesso em: 18 nov. 2019.

LACERDA, K.A.P. et al. Fungos micorrizicos arbusculares e adubação fosfatada no crescimento inicial de seis espécies arbóreas do cerrado. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 3, p. 377-386, jul./set. 2011.

LINDERMAN, R. G. Effects pf mycorrhizas on plants tolerances to diseases. In: KAPILNIK, Y. DOUDS, D. D. J. (Ed.) **Arbuscular mycorrhizas: physiology and function**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 345-365, 2000.

LIMA, K.B. et al. Fungos micorrizicos arbusculares, bactérias diazotróficas e adubação fosfatada em mudas de mamoeiro. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 33, n. 3, p. 932-940, 2011.

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

MERCEDES, A. P. **Avaliação do potencial de colonização de fungos Micorrízicos arbusculares (fma) isolados em solos da Zona de transição entre floresta amazônica e cerrado no município de sinop-mt em mudas clonais de teca.** Relatório de iniciação científica. UFMT, sinop- MT. 2018.

Merlin, E., Melato, E., Lourenço, E. L. B., Jacomassi, E., Junior, A. G., da Cruz, R. M. S., Otênio, J. K., Silva, C., Alberton, O. (2020). Inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus addition increase coarse mint (*Plectranthus amboinicus* Lour.) plant growth and essential oil content. **Rhizosphere**, 100217. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100217>

NUNES, J.L.S. et al. Incremento no desenvolvimento do porta-enxerto de pessegueiro "Aldrighi" por fungos micorrízicos arbusculares autóctones. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p.1787-1793, 2008.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil Microbiology and Biochemistry**. San Diego, Academic Press. 1989.

RAVERKAR, K. et al. Interaction of Arbuscular Mycorrhiza with Beneficial Microorganisms, In: MEHROTRA, V. S. **Mycorrhiza: role and applications**. New Delhi: Allied Publishers Pvt., p. 204-236, 2005.

ROCHA, H. F.; LEONARDO, F. V. S.; OLIVEIRA, A. C. Plantios comerciais de *Tectona grandis* L. f. no Brasil. **Multi temas**, Campo Grande, MS, n. 48, p. 9-28, 2015. Disponível em: <http://www.multitemas.ucdb.br/article/view/137/173>. Acesso em: 3 dez. 2019.

RODRIGUES, L. A., BARROSO, D. G., FIQUEIREDO, F. A. M. 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. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509831572>. Acesso em: 20 jun. 2020.

SAGGIN JÚNIOR, O.J. ; SIQUEIRA, J.O. Micorrizas arbusculares em cafeeiro. In: J.O. Siqueira (Ed.). **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**. Lavras, UFLA-DCS-DCF.1996.

SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SILVA, E. M. R. **Micorriza arbuscular: papel, funcionamento e aplicação da simbiose**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, p. 101-149, 2006.

SANTOS, J. G. D.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Eficiência de fungos micorrízicos arbusculares isolados de solos de áreas de mineração de bauxita no crescimento inicial de espécies nativas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 141-150, 2008.

SILVEIRA, S.V. et al. Influência de fungos micorrízicos arbusculares sobre o desenvolvimento vegetativo de abacateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 303-309, 2002.

SMITH, S.E.; READ, D.J. **Mycorrhizal Symbiosis**. 2.ed. Califórnia: Academic Press, p. 506, 1997.

SMITH, S.E., READ, D. **Mycorrhizal Symbiosis, Mycorrhizal Symbiosis**. 2008.

SMITH, S. E. et al. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant phosphorus nutrition: interactions between pathways of phosphorus uptake in arbuscular mycorrhizal roots have important implications for understanding and manipulating plant phosphorus acquisition. **Plant physiology**, v. 156, n. 3, p. 1050-1057, 2011.

VALLINO, M. et al. Assessment of arbuscular mycorrhizal fungal diversity in roots of *Solidago gigantea* growing in a polluted soil in Northern Italy. **Applied & Environmental Microbiology**, Washington, v.8, p. 971-983, 2006.

ZANGARO, W.; ANDRADE, G. Micorrizas arbusculares em espécies arbóreas nativas da bacia do rio Tibagi. Pp. 171-210. In: MEDRI, M.E. et al. **A bacia do rio Tibagi**. Londrina, Edição dos editores. 2002.

CAPÍTULO 3. Avaliação do Desenvolvimento da Soja Sobre Inoculação de Fungos Micorrízicos Arbusculares e Bactérias Solubilizadoras de Fosfato.

RESUMO- A soja (*Glycine max* (L.) Merr.) é uma das culturas mais importantes em todo o mundo. Pesquisas relacionadas com a diminuição de fertilizantes sem que ocorra influência na produtividade vem ganhando cada vez mais destaque. Um grande salto técnico-científico foi o uso das bactérias fixadoras de N, agora procura-se preencher a lacuna do P no solo. Com este trabalho objetivou-se avaliar se dois microrganismos ditos eficientes no uso do fosforo, a bactéria solubilizadora de fosfato (MSB2) e o fungo micorrizico arbuscular (MF4) influenciam no desenvolvimento e produtividade da soja. O experimento foi conduzido no município de Lucas do Rio Verde, localizado no bioma Cerrado, com latossolo vermelho (48,2% de argila), onde foi plantado a cultivar de soja RK8317 PRO, em delineamento em blocos ao acaso, com 4 repetições, no esquema fatorial 2x2x2, sendo eles: adubação fosfatada de cobertura (presença ou ausência), Bactéria solubilizadora de fosfato (presença e ausência) e fungo micorrizicos arbuscular (com inoculação e sem inoculação), para tal, foram definidos oito tratamentos. A inoculação dos microrganismos foi realizada no sulco de plantio e a adubação de cobertura a lanço usando a formulação MAP. As avaliações se deram na fase reprodutiva R4 e na colheita, mensurando altura, matéria seca de raiz seca e parte aérea, número de vagens, colonização micorrizica e produtividade. Pode-se observar que a adição de adubação fosfatada de cobertura aumentou o rendimento, porém não influenciou nas demais variáveis de desenvolvimento vegetativo. A inoculação de FMA resultou em maiores colonizações micorrizicas, porém isoladamente não influenciou nos parâmetros de produtividade bem como a inoculação isolada da bactéria solubilizadora. Observou-se interação entre FMA e a bactéria solubilizadora, na presença da bactéria obteve-se maior produtividade (Kg há⁻¹) isolando-se a presença do FMA, na presença dos dois microrganismos inoculados em sulco, houve diminuição de colonização micorrizica. A adição do FMA junto a adubação fosfatada ou a adição isolada da bactéria solubilizadora com a adubação fosfatada resultou em maiores ganhos de produtividade. Os microrganismos avaliados aumentam a eficiência dos adubos fosfatados. Pode-se observar uma ação reguladora da atividade microbiológica na rizosfera na presença de adubação fosfatada.

Palavra-chaves: co-inoculação, fosforo, inoculação em sulco

Micro-Organisms in the Efficient Use of Phosphorus in Soybean Culture

ABSTRACT- Soy (*Glycine max* (L.) Merr.) Is one of the most important crops in the world. Research related to the reduction of fertilizers without influencing productivity has been gaining more and more prominence. A major technical-scientific leap was the use of N-fixing bacteria, now we are looking to fill the P gap in the soil. The objective of this work was to evaluate whether two microorganisms said to be efficient in the use of phosphorus, the phosphate solubilizing bacteria (MSB2) and the arbuscular mycorrhizal fungus (MF4) influence soybean development and productivity. The experiment was conducted in the municipality of Lucas do Rio Verde, located in the Cerrado biome, with red latosol (48.2% clay), where the soybean cultivar RK8317 PRO was planted, in a randomized block design, with 4 replications, in the 2x2x2 factorial scheme, they are: phosphate cover fertilization (presence or absence), phosphate solubilizing bacteria (presence and absence) and arbuscular mycorrhizal fungus (with inoculation and without inoculation), for this purpose, eight treatments were defined. The inoculation of the microorganisms was carried out in the planting furrow and the fertilization of cover by haul using the MAP formulation. The evaluations took place in the reproductive phase R4 and at harvest, measuring height, dry matter of dry root and aerial part, number of pods, mycorrhizal colonization and productivity. It can be seen that the addition of phosphate top dressing increased the yield, but did not influence the other vegetative development variables. The inoculation of AMF resulted in greater mycorrhizal colonization, but in isolation it did not influence the parameters of productivity as well as the isolated inoculation of the solubilizing bacteria. An interaction was observed between AMF and the solubilizing bacteria, in the presence of the bacterium greater productivity was obtained (Kg ha^{-1}), isolating the presence of AMF, in the presence of the two microorganisms inoculated in the furrow, there was a decrease in mycorrhizal colonization. The addition of FMA along with phosphate fertilization or the isolated addition of the solubilizing bacteria with phosphate fertilization resulted in greater productivity gains. The microorganisms evaluated increase the efficiency of phosphate fertilizers. It is possible to observe a regulatory action of microbiological activity in the rhizosphere in the presence of phosphate fertilization.

Keywords: co-inoculation, phosphorus, groove inoculation

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max (L.) Merr.*) é uma das culturas mais importantes e amplamente cultivadas em todo o mundo (HARTMAN et al., 2010). Comparado a outras culturas é uma das mais comercializada no Brasil, em 2019 o país exportou o equivalente a U\$ 32,6 bilhões (AGROSAT, 2020). Na última safra 2019/2020 a produção foi de 122.225,2 mil toneladas, destes, 33.406,5 mil toneladas produzido só no estado de Mato Grosso (maior produtor nacional de soja) (CONAB, 2020).

A espécie apresenta grande potencial de pesquisas relacionadas a redução do uso de fertilizantes, sem que ocorra reduções na produtividade e qualidade dos grãos. Nesse contexto, a utilização de bactérias fixadoras de nitrogênio, pertencentes ao gênero *Bradyrhizobium* foi uma das principais tecnologias que alavancaram o cultivo da soja em grande escala no Brasil (HUNGRIA et al., 2005)

De acordo com a Agência Nacional para Difusão de Adubos-ANDA (2020), o consumo de fertilizantes no Brasil, em 2019, foi de 36 milhões de toneladas, sendo que a soja é a cultura que mais consome fertilizantes (36%) (BNDS,2010). Neste contexto, alternativas tecnológicas visando o incremento da soja e redução de custos estão sendo pesquisadas. Dentre elas destacam-se a coinoculação da cultura da soja com bactérias de diferentes estirpes, de modo que esta tecnologia consiste em utilizar a combinação de diferentes microrganismos a fim criar um efeito sinérgico, fazendo com que a produtividade da cultura expresse valores superiores aos verificados quando utilizadas as inoculações de forma isolada (BARBARO et al., 2011).

Atualmente, são conhecidas e comercializadas várias estirpes bacterianas que apresentam a habilidade de fixar o N atmosférico e também apresentam capacidade de promover o crescimento vegetal de outras formas, como a liberação de fitormônios para a planta ou incrementar a disponibilidade de nutrientes (VASSEY, 2003), como ocorre na associação do *Azospirillum* com diversas espécies vegetais, como o arroz, o sorgo e a cana-de-açúcar (VESSEY, 2003; KENNEDY; CHOUDHURY; KECSKES, 2004). Porém, há uma demanda alta de produtos microbiológicos que possam suprir ou aumentar a eficiência de adubos fosfatados, visto que esse mineral encontra-se em baixa disponibilidade em solos tropicais culminando na necessidade de elevarem-se os seus teores de forma imediata ou gradual no solo através do uso de fertilizantes químicos (RAIJ et al., 2001).

Entre estes microrganismos naturais, os fungos micorrízicos arbusculares são de ampla ocorrência e interagem diretamente com as plantas, auxiliam na absorção de nutrientes e água, bem como na formação de agregados, formam simbiose com as raízes de mais de 90% das plantas terrestres, sendo de grande importância tanto no

aspecto nutricional como ecológico (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Um dos efeitos benéficos mais pronunciados e estudados do FMA é o aumento no desenvolvimento das plantas hospedeiras devido à maior absorção de nutrientes, particularmente os de baixa mobilidade no solo como o fósforo, pelo desenvolvimento de estruturas internas nas raízes e de hifas extrarradiculares. Estas hifas funcionam como extensões do sistema radicular, aumentando a área de exploração do solo em mais de cem vezes. As micorrizas podem ainda aumentar a tolerância das plantas às doenças e ao estresse hídrico (SMITH; READ, 1997).

Por outro lado, o uso de bactérias solubilizadoras de fosfato (BSF) vem ganhando popularidade nos últimos anos. Estas bactérias através da produção de ácidos orgânicos e enzimas (MAHDI et al, 2011; BELTRÁN, 2014; PATIÑO-TORRES; SANCLEMENTE-REYES, 2014), atuam diretamente nas frações inorgânicas e orgânicas não lábeis do fósforo no solo, convertendo-as em formas disponíveis para as plantas. Sendo assim, o uso de microrganismos naturais do solo, apresenta um grande potencial, pois além de aumentar o desenvolvimento da cultura pela disponibilização deste nutriente, auxilia na absorção do fósforo presente no solo, aumentando assim a eficiência da adubação fosfatada.

Com essas tecnologias biológicas reduz-se, também, o risco de contaminação do ambiente ocasionados pela má utilização de adubos e, dessa forma, contribuir para a sustentabilidade do sistema agrícola (FACHINELLI, 2018).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar se dois microrganismos ditos eficientes no uso do fósforo, bactéria solubilizadora de fosfato (MSB2) e o fungo micorrízico arbuscular (MF4) influenciam no desenvolvimento e produtividade da soja.

2 MATERIAL E METÓDOS

2.1 Área experimental

O experimento foi realizado na fazenda Bragança no município de Lucas do Rio Verde no estado de Mato Grosso, nas coordenadas 13°18'34.6"S 56°07'10.3"W, executado e concluído na safra 2019/2020. O clima da região é classificado como tropical **Aw**, seguindo classificação climática de Köppen-Geiger, com temperatura média de 25 °C, maior índice pluviométrico no verão e pluviosidade média anual de 1869 mm (CLIMATE-DATA.ORG)

Localizada no Bioma do Cerrado, a área possui Latossolo vermelho com 48,2 % de argila e 9,9 mg dm³ de Fósforo (**Tabela 4**) e vem sendo cultivado nos últimos anos com culturas anuais (soja/milho e plantas de cobertura). Antes do plantio foi feita a correção do solo com 3 t/há⁻¹ de calcário e adubação de 90 Kg/há⁻¹ de fósforo e 90

Kg/há⁻¹ de Potássio, por meio de adubação a lanço utilizando as formulações MAP e KCl.

Tabela 7 Análise de solo com profundidade de 0-20 cm, teor de pH, P, Na, K, S, Matéria orgânica (MO) e teor de Argila (%).

Prof. (cm)	pH		P	Na	K	S	MO	Argila
	(H ₂ O)	(CaCl ₂)	mg dm ⁻³			dag kg ⁻¹	g kg ⁻¹	
0 - 20	6,10	5,40	9,90	ns	64,80	3,70	2,48	482,00

Teores de fósforo no solo, extraído com Mehlich.

2.2 Desenho Experimental

Para o experimento, foi utilizado a cultivar de soja *RK8317 IPRO*, grupo de maturação 8.3 e sistema intacta RR2 PRO (proteção contra as principais lagartas da soja). Seguindo recomendação da cultivar, a mesma foi semeada no dia 7 de novembro de 2019. Antes do plantio as sementes foram inoculadas com inoculante líquido Nitragin Cell Tech HC (formulado com bactérias do gênero *Bradyrhizobium japonicum* estirpes 5079 e 5080). O plantio foi realizado com uma semeadora modelo manual de uma linha e a inoculação dos microrganismos testados foi realizada diretamente no sulco de plantio. Os microrganismos utilizados foram denominados de cepa bacteriana MSB, isolado e multiplicado *in vitro* do acesso SF3- banco de germoplasma Araruta por Ronning (2019), e o fungo micorrizico arbuscular MF4, isolado e multiplicado em vaso armadilha, pelo laboratório de microbiologia do solo e biotecnologia agrícola no campus da UFMT/Sinop a partir de amostras de solo de mata nativa do município de Sinop, MT (MERCEDES,2018).

O experimento seguiu o delineamento em blocos ao acaso (DBC) em esquema fatorial (2x2x2) com 4 repetições, composto por 8 tratamentos, totalizando 32 unidades experimentais. Os fatores propostos foram o uso de fungos micorrizicos arbusculares (FMA): 2 (presença e ausência), bactéria solubilizadora de fosfato: 2 (presença e ausência) e adubação fosfatada de cobertura: (presença e ausência), para a adubação de cobertura, 10 dias após plantio, foi aplicado fosforo por meio da formulação MAP em cobertura, aplicação a lanço.

Todos os tratamentos descritos na tabela 5 foram tratados com adubação de base em área total, realizado pela fazenda.

Tabela 8 Tratamentos aplicados á campo, na cultivar de soja RK8317

Tratamento	Descrição
T1	Testemunha (adubação padrão fazenda)
T2	adubação fosfatada de cobertura
T3	Fungo micorrizico arbuscular MF4
T4	bactéria solubilizadora MSB2
T5	FMA MF4 + adubação fosfatada de cobertura
T6	bactéria solubilizadora MSB2 + adubação fosfatada de cobertura
T7	FMA MF4 + bactéria solubilizadora MSB2
T8	FMA MF4 + bactéria solubilizadora MSB2 + adubação fosfatada de cobertura.

Os tratamentos foram dispostos em parcelas de 5x6 m compostos de 10 linhas de plantio, com espaçamento entre linha de 0,5 m. A área destinada para o experimento possuía 0,1375 ha⁻¹ (25 x 55 m).

Após o plantio, seguiu-se o manejo padrão da fazenda (modal), com aplicação de herbicida (RoundUp- 1 Kg ha⁻¹, Select- 0,6 Kg ha⁻¹) Inseticida (Fastac-0,25 L ha⁻¹) e adjuvante U10- 0,01 Lha⁻¹ um dia após o plantio, 17 dias após, 25/11/2019, foram aplicados fungicida (Fox ®- 0,4 L ha⁻¹) e inseticida (Belt ® – 0,05 L ha⁻¹ e Engeo Pleno - 0,3 L ha⁻¹), a cada 20 dias após, 16/11/2019 e 14/01/2019 aplicação de herbicida (RoundUp- 5,0 L ha⁻¹) e inseticida na última aplicação com uso de Privilege concentração de 0,3 L ha⁻¹ .

2.3 Produção dos inóculos

Os microrganismos utilizados no experimento foram isolados da região norte do Mato Grosso e sul do PA. A bactéria solubilizadora de fosfato foi cedida do banco de germoplasma da araruta, da Universidade Federal de Mato Grosso, *campus* Sinop. O fungo micorrizico arbuscular faz parte da coleção de microrganismos do laboratório de microbiologia e biotecnologia agrícola da UFMT, *campus* Sinop.

A escolha da cepa bacteriana MSB2, se deu, pela sua capacidade de solubilização em solução solubilizadora de fosfato em placa de petri, o FMA (MF4), foi escolhido devido sua alta capacidade de esporulação e os efeitos promovidos ao hospedeiro em condição de campo.

A preparação do inoculo de FMA, se deu, pelo plantio de vasos de substrato esterilizado (solo: areia 1:1) e 30 esporos isolados do fungo micorrízico arbuscular denominado MF4. Os vasos foram mantidos com solução nutritiva de Hewitt (Hewitt,

1966) e *Urochloa decumbens* como planta hospedeira. Após 120 dias, foram feitas valiações quanto ao potencial de inóculo sendo verificada uma concentração de 50 esporos por g de substrato. Deste, foram inoculados 10 g de inóculo por metro linear no sulco de plantio.

O inóculo da bactéria solubilizadora, foi preparado a partir de cultura do isolado MSB2 em placas de Petri com agar nutritivo, incubadas a 30 °C por 48 horas e posteriormente transferidas para cultura em meio líquido com caldo nutritivo, para crescimento num período de 24 horas obtendo uma cultura com aproximadamente 1×10^8 células por mL. A partir do crescimento em incubadora, o caldo nutritivo com as cepas bacterianas foi homogeneizado em 4 L de vermiculita como veículo de inoculação, previamente esterilizado em autoclave. Sendo aplicados 3 ml de inóculo por metro linear no sulco de plantio.

2.4 Avaliações

As avaliações foram realizadas em dois momentos, no primeiro, na fase R4 reprodutiva, foram coletadas 5 plantas por parcela para mensuração de altura com auxílio de trena métrica, número de vagens por planta (contagem manual), matéria seca da parte aérea e matéria seca de vagens e colonização micorrizica radicular.

Para análise de colonização micorrizica, quando a raiz ainda estava umida, foi separado o terço inferior da raiz (parte com maior número de raízes finas) no qual passou pelo processo de descoloração com uso de KOH 10% (descoloração) em autoclave a vapor constante por 40 minutos, HCl 0,1N (acidificação) por 3 minutos e coloração com uso de Azul Tripán 0,05% segundo Philips e Hayman (1970) em autoclave a vapor constante por 10 minutos.

Para obtenção de matéria seca, as amostras foram separadas e armazenadas em sacos de papel e levados para estufa com ventilação contínua a 105 °C até apresentarem peso constante.

A segunda avaliação foi realizada ao final do ciclo com a coleta de 10 metros lineares de plantas, no meio da parcela (isolando o fator bordadura), a fim de estimar a produtividade da cultura, com auxílio de uma trilhadeira, separou-se os grãos das vagens, os grãos foram pesados e foi realizada a correção de umidade, logo, estimou-se a produtividade baseado na população de plantas por hectare.

2.5 Análise de Dados

Os dados coletados foram submetidos ANOVA e teste de média Scott-Knott ($p < 0,10$) quando confirmados os pressupostos de normalidade e homocedasticidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como apresentado na **Tabela 9** a adubação fosfatada de cobertura não interferiu no desenvolvimento vegetativo das plantas (variáveis de altura e massa seca), assim como não influenciou significativamente a colonização micorrizica. Entretanto, influenciou positivamente nos fatores de rendimento (produtividade), um estudo de Gonçalves Junior, et al. (2010) corrobora com este resultado, onde o mesmo observou maior número de vagens na presença de altas doses de fósforo. A inoculação do fungo micorrizico arbuscular MF4, proporcionou incremento na colonização radicular, entretanto, nota-se que isoladamente a inoculação influenciou negativamente o rendimento de grãos (**Tabela 9**). Segundo Miranda (2008) os efeitos da micorriza arbuscular na absorção e no crescimento das plantas pode ser visualizado nos sistemas de produção por meio da contribuição da simbiose na resposta das culturas às práticas agrícolas, como a correção e a fertilização dos solos, de maneira geral a micorriza potencializa a ação dos fertilizantes, beneficiando assim a produção.

A inoculação de cepa bacteriana solubilizadora de fósforo não resultou, isoladamente, em influência significativa sobre nenhuma das variáveis analisadas (**Tabela 9**), porém quando analisado seu efeito em conjunto com adubação fosfatada de cobertura, obteve-se diferença significativa no número de vagens por planta e colonização micorrizica (**Tabela 10 e Figura 7**). Nos solos altamente intemperizados, como os Latossolos, predominam as formas inorgânicas de fósforo ligadas à fração mineral com alta energia e as formas orgânicas estabilizadas fisicamente, resultando em baixos teores de P na solução do solo e, conseqüentemente, limitando a produção agrícola (NOVAIS; SMYTH, 1999) assim, a presença de bactérias solubilizadoras de fósforo, agem excretando ácidos orgânicos e seus prótons associados, que atuam dissolvendo diretamente o material fosfático, ou quelando os cátions que acompanham o ânion fósforo (KUCEY; JANZEN; LEGGET et al., 1989; RICHARDSON, 1994) disponibilizando-o para a solução do solo, aumentando a eficiência do adubo fosfatado aplicado.

Analisando o desdobramento da interação (**Tabela 10**), nota-se que na ausência de inoculação com bactéria solubilizadora a adubação fosfatada contribuiu para incremento do número de vagens. Observa-se, que na presença de adubação fosfatada a inoculação com bactéria reduziu o percentual de colonização das raízes das plantas.

Segundo Kiriachek et al. (2009), sabe-se que a formação e o funcionamento da simbiose dependem de um complexo processo de troca de sinais entre os simbiotes e que a concentração de fósforo na planta e no solo pode afetar a micorrização. A disponibilidade do P no solo é um dos fatores mais importantes na simbiose dos FMA e hospedeiro (SMITH et al., 2003; GUTJAHR; PARNISKE, 2013), no trabalho realizado por Cely et al., (2016) as concentrações moderadas de Fósforo na área (12 e 17 mg dm⁻³) não inibiram o processo de colonização radicular pelos FMAs dados estes que corroboram com este trabalho, onde o teor de P no solo foi de 9,90 mg dm⁻³ e 48,2% de Argila, considerado valores adequados pela tabela de interpretação de análise de solos do cerrado, sistema sequia pela EMBRAPA.

Tabela 9 Médias e análise de Variância em resposta aos tratamentos de inoculação com bactéria solubilizadora, fungos micorrizicos arbusculares (FMA) e adubação fosfatada em Latossolo do Cerrado, no norte do estado de Mato Grosso, cultivado com Soja.

Tratamentos	Altura	NVG	MSV	MSPA	COL %	PRODS
	cm	----- planta ⁻¹ -----				C/há
Adubação Fosfatada de cobertura						
Com aplicação	100,33	69,32	16,2	24,65	86,53	57,22a
Sem aplicação	101,12	66,32	16,9	24,73	87,48	46,95b
Fungo Micorrizico Arbuscular						
Com inoculação	101,14	65,37	17,1	24,31	88,56 ^a	49,82b
Sem inoculação	100,32	70,27	16,0	25,07	85,45b	54,34a
Bactéria Solubilizadora						
Com inoculação	101,64	66,85	16,3	24,17	86,23	51,70
Sem Inoculação	99,82	68,80	16,7	25,22	87,78	52,47
p valor						
Adubação Fosfatada(A)	0,587 ^{ns}	0,421 ^{ns}	0,593 ^{ns}	0,985 ⁿ _s	0,426 ^{ns}	0,0001 ^{**}
Fungo Micorrizico Arbuscular(M)	0,576 ^{ns}	0,194 ^{ns}	0,426 ^{ns}	0,621 ⁿ _s	0,0152 ^{**}	0,048 ^{**}
Bactéria Solubilizadora(B)	0,219 ^{ns}	0,599 ^{ns}	0,792 ^{ns}	0,499 ⁿ _s	0,2027 ^{ns}	0,725 ^{ns}
A x M	0,406 ^{ns}	0,493 ^{ns}	0,863 ^{ns}	0,954 ⁿ _s	0,918 ^{ns}	0,387 ^{ns}
A x B	0,154 ^{ns}	0,099 [*]	0,483 ^{ns}	0,353 ^{ns}	0,0312 ^{**}	0,746 ^{ns}
M x B	0,869 ^{ns}	0,399 ^{ns}	0,801 ^{ns}	0,529 ⁿ _s	0,0214 ^{**}	0,003 ^{**}
A x M x B	0,047 ^{ns}	0,232 ^{ns}	0,274 ^{ns}	0,422 ^{ns}	0,0628 ^{ns}	0,656 ^{ns}
CV(%)	4,02	15,26	23,00	17,53	3,82	11,70

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si a 10% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott= . *, significativo a 10% de probabilidade pelo e ** significativo a 5% Teste F, respectivamente. ns = não significativo. CV = coeficiente de variação. Altura, Número de vagens (NVG), Massa de vagens seca (MSV), Massa da parte aérea seca (MSPA), Colonização micorrizica (COL), Produtividade (PROD).

Tabela 10 Interação dos efeitos dos fatores Adubação fosfatada e bactéria solubilizadora de fosfato no número de vagens por planta e na colonização radicular e resposta da inoculação com Micorriza Arbuscular e Bactéria solubilizadora na produtividade de grãos e na colonização radicular.

Adubação Fosfatada	Bactéria Solubilizadora	
	Com inoculação	Sem inoculação
Número de Vagens (planta ⁻¹)		
Com aplicação	65,20aA	73,45aA
Sem aplicação	68,50aA	64,15bA
Colonização (%)		
Com aplicação	85,35aB	89,61aA
Sem aplicação	87,11aA	85,94bA
Micorriza Arbuscular	Bactéria Solubilizadora	
	Com inoculação	Sem inoculação
Produtividade (kg ha ⁻¹)		
Com inoculação	2749,94bB	3229,18aA
Sem Inoculação	3454,59aA	3067,32aB
Colonização (%)		
Com inoculação	86,32aB	90,80aA
Sem Inoculação	86,14aA	84,76bA

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 10% de probabilidade.

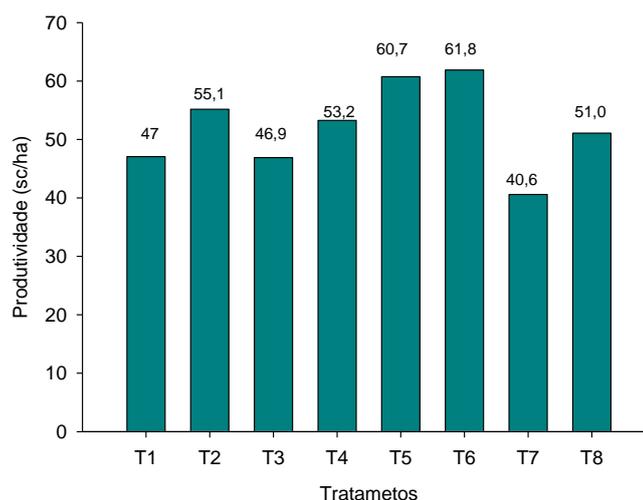


Figura 7 Produtividades expressas em sc/ha obtidas em cada tratamento em experimento a campo.

Quanto a interação entre micorriza arbuscular e inoculação com bactéria solubilizadora (**Tabela 10**), observa-se influencia sobre a produtividade e colonização

micorrizica. Na ausência de inoculação com micorriza, a bactéria solubilizadora contribuiu para incremento no rendimento produtivo. Entretanto, na presença de inoculação com micorriza, a bactéria solubilizadora influenciou negativamente a produtividade. Nota-se que na ausência de inoculação com bactéria solubilizadora a inoculação com micorriza influenciou positivamente a colonização do sistema radicular das plantas. Porém, observa-se que com a inoculação de micorriza a bactéria solubilizadora reduz o percentual de colonização das raízes. Como observa-se mais facilmente na **Figura 7** onde os tratamentos T5 e T6 são os tratamentos que atingiram as maiores produtividades, 60,7 e 61,8 sc/há respectivamente, que são, os tratamentos com fungo micorrizico + adubação fosfatada de cobertura (T5) e Bactéria solubilizadora + adubação fosfatada de cobertura (T6).

Alguns autores relatam o efeito de bactérias chamadas “bactérias auxiliares da micorriza”, que estimulam a colonização radicular por FMA (TORO; AZCON; HERRERA, 1996; FESTER; MAYER, STRACK, 1999; RATTI et al., 2001; VIVAS et al., 2006). Como no trabalho de Souchie et al. (2007) nota-se que algumas bactérias solubilizantes de P são capazes de aumentar ou diminuir o crescimento de FMA, provavelmente interferindo na colonização radicular por FMA. Segundo Vázquez, Azcon e Barea (2001), é conhecida a variabilidade nas compatibilidades funcionais entre os componentes microbianos. Em geral, a compatibilidade funcional do sistema rizosfera, que é a capacidade fisiológica dos parceiros de contribuir para a nutrição da associação, requer mais atenção. Por exemplo, existem bactérias rizosféricas capazes de melhorar a germinação de esporos de FMA, o crescimento micelial e a produção de esporos de FMA (AZCÓN-AGUILAR; BAREA, 1985).

Artursson et al. (2005) relataram que algumas espécies bacterianas respondem à presença de certas FMA, sugerindo um alto grau de especificidade entre as bactérias associadas à FMA. Uma possível explicação para essa estimulação notada de certas espécies bacterianas por FMA específica pode ser que essas bactérias sejam ativadas por exsudados fúngicos de espécies específicas.

4 CONCLUSÃO

A inoculação da bactéria solubilizadora em conjunto da adição de adubação fosfatada de cobertura aumenta produtividade da soja, assim como a inoculação do FMA + adubação fosfatada de cobertura.

Os microrganismos avaliados aumentam a eficiência dos adubos fosfatados.

Pode-se observar uma ação reguladora da atividade microbiológica na rizosfera na presença de adubação fosfatada.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

AGROSSAT, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Estatísticas de Comercio Exterior do Agronegócio Brasileiro**. 2020. Disponível em: <http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>. Acesso em: 28 maio 2020.

AGÊNCIA NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Principais indicadores do setor de fertilizantes**. Disponível em: <http://anda.org.br/estatisticas/>. Acesso em: 10 maio 2020.

ARTURSSON, V. et al. Combined bromodeoxyuridine immunocapture and terminal restriction fragment length polymorphism analysis highlights differences in the active soil bacterial metagenome due to *Glomus mosseae* inoculation or plant species. **Environ. Microbiol.**, Cambridge, v. 7, n. 12, p. 1952-1966, 2005.

AZCÓN-AGUILAR, C.; BAREA, J. M. Effect of soil microorganisms on formation of VA mycorrhizas. **Trans. Brit. Mycol. Soc.**, London, v. 84, n. 5, p. 536-539, 1985.

BELTRÁN, M. E. La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. **Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.**, v. 15, p. 101-113, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/307550588_. Acesso em: 5 maio 2020.

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 (Online)**, v. 7, p. 10-338, 2016.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Estatísticas Grãos Sério Históricas Soja**. 2020. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-dashboard>. Acesso em: 26 maio 2020.

FACHINELLI, R. **Influência da inoculação com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* na cultura da soja**. 2018. 90f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal) - Universidade Federal da Grande Dourados, Mato Grosso do Sul.

FESTER, T.; MAIER, W.; STRACK, D. Accumulation of secondary compounds in barley and wheat roots in response to inoculation with an arbuscular mycorrhizal fungus and co-inoculation with rhizosphere bacteria. **Mycorrhiza**, New York, v. 8, n. 5, p. 241-246, 1999. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s005720050240>. Acesso em: 25 maio 2020.

GONÇALVES JUNIOR, A. C. et al. Produtividade e componentes de produção da soja adubada com diferentes doses de fósforo, potássio e zinco. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 660-666, maio/jun., 2010.

GUTJAHR, C.; PARNISKE, M. Cell and Developmental Biology of Arbuscular Mycorrhiza Symbiosis. **Annual Review of Cell and Developmental Biology**, v. 29, p. 593-617, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-cellbio-101512-122413>. Acesso em: 18 maio 2020.

HUNGRIA, M. et al. The importance of nitrogen fixation to soybean cropping in South America. In: Werner, D. and Newton, W.E. (Ed.). **Nitrogen fixation in agriculture: forestry ecology and environment**. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, p. 25-42, 2005.

KENNEDY, I. R.; CHOUDHURY, A. T. M. A.; KECSKES, M. L. Nonsymbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 36, p. 1229–1244, 2004.

KIRIACHEK, S. G. et al. Regulação do desenvolvimento de micorrizas arbusculares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 1-16, 2009. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832009000100001. Acesso em: 12 maio 2020.

KUCEY, R.M.N.; JANZEN, H.H.; LEGGET, M. E. Microbially mediated increases in plant-available phosphorus. **Advances in Agronomy**, New York, v. 42, p. 199-228, 1989. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211308605258>. Acesso em: 11 maio 2020.

MAHDI, S.S. et al. Phosphorus availability issue-its fixation and role of phosphate solubilizing bacteria in phosphate solubilization. **Res. J. Agric. Sci.**, v. 2, p. 174-179, 2011.

MIRANDA, J. C. C. **Cerrado-Micorriza Arbuscular: ocorrência e manejo**. Palatina, DF: Embrapa/Cerrados. ISBN 978-85-7075-049-5, 2008.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002. 626 p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

NOVAIS, R.F.; E T.J. SMYTH. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV/DPS, 1999.

PATIÑO-TORRES, C.O.; O.E. SANCLEMENTE-REYES. Los microorganismos solubilizadores de fósforo (MSF): una alternativa biotecnológica para una agricultura sostenible. **Entomado**, v. 10, p. 288-297, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/274321541_Los_microorganismos_solubilizadores_de_fosforo_MSF_una_alternativa_biotecnologica_para_una_agricultura_sostenible. Acesso em: 10 maio 2020.

RAIJ, B. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RATTI, N. et al. Improvement in bioavailability of tricalcium phosphate to *Cymbopogon martinii* var. *motia* by rhizobacteria, AMF and *Azospirillum* inoculation. **Microbiol. Res.**, Jena, v. 156, n. 2, p. 145-149, 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0944501304700221>. Acesso em: 24 abr. 2020.

RICHARDSON, A. E. Soil microorganisms and phosphorus availability. In: PANKHURST, C.E. et al. (Ed). **Soil biota management in sustainable farming systems**. Melbourne: CSIRO, p. 50-62, 1994.

SMITH, S.E.; READ, D.J. **Mycorrhizal Symbiosis**. California: Academic Press, 1997. 506 p. Disponível em:
https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000141&pid=S0006-8705201100010002300034&lng=en.

SMITH, S. E. et al. Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Phosphorus Nutrition: Interactions between Pathways of Phosphorus Uptake in Arbuscular Mycorrhizal Roots Have Important Implications for Understanding and Manipulating Plant Phosphorus Acquisition. **Plant Physiology** (Online), 2011.

SOUCHIE, E. L. et al. Indolacetic acid production by P solubilizing microorganisms and interaction with arbuscular mycorrhizal fungi. **Acta Sci. Biol. Sci.**, Maringá, v. 29, n. 3, p. 315-320, 2007

TORO, M. AZCON, R.; HERRERA, R. Effects on yield and nutrition of mycorrhizal and nodulated *Pueraria phaseoloides* exerted by P-solubilizing rhizobacteria. **Biol. Fertil. Soils**, New York, v. 21, n. 1/2, p. 23-29, 1996.

VÁZQUEZ, M.M. AZCON, R.; BAREA, J.M. Compatibility of a wild type and its genetically modified *Sinorhizobium* strain with two mycorrhizal fungi on *Medicago* species as affected by drought stress. **Plant Sci., Dordrecht**, v. 161, n. 2, p. 347-358, 2001.

VESSEY, J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. **Plant Soil**, v. 255, p. 571–586, 2003.

VIVAS, A. et al. Effectiveness of autochthonous bacterium and mycorrhiza fungus on *Trifolium* growth, symbiotic development and soil enzymatic activities in Zn contaminated soil. **J. Appl. Microbiol.**, Bedford, v. 100, n. 3, p. 587-598, 2006.

CONCLUSÕES GERAIS

Em vários países já são registrados e utilizados na agricultura inóculos de Fungos micorrizicos e bactérias solubilizadoras de fosfato, no Brasil, temos um longo percurso de pesquisa para implementar novos organismos que atuam no aumento da eficiência do Fosforo, assim como foi com a inoculação de organismos fixadores de Nitrogênio e promotores de crescimento, que acarretaram na diminuição massiva do uso de fertilizantes nitrogenados. Logo, a prospecção de novos microrganismos nativos que promovam o melhor uso do Fosforo no solo e a pesquisa sobre sua eficiência, é de suma importância.

Novas pesquisas devem ser realizadas em cima dos microrganismos aqui utilizados, porém, pode-se concluir que na soja e na Teca os microrganismos se mostraram promissores no crescimento, podendo futuramente ser comercializado em larga escala e para um maior número de culturas.

Os fungos micorrizicos arbusculares, quando inoculados na fase de viveiro, promovem um aumento de +- 20% na produção final de mudas de teca, ainda a campo diminuem estresses abióticos e bióticos que podem ocasionar perdas de produtividade ou mesmo mortalidade.

O uso da bactéria solubilizadora MBS2 em conjunto com adubação fosfatada, acarreta em uma maior eficácia do adubo resultando em maiores produtividade, assim como, o uso do FMA MF4 + adubação fosfatada.