

## Fungos micorrízicos arbusculares associados a doses de fósforo no crescimento da cultura do milho

*Arbuscular mycorrhizal fungi associated with phosphorus doses on maize crop growth*

**Hugo Henrique Bisca<sup>1</sup>, Mauricio Junior Machado<sup>2</sup>, Gabriel da Costa Inácio<sup>3</sup>, Daniela Silva Souza<sup>4</sup>**

**RESUMO:** A cultura do milho possui grande importância para a região do Cerrado, sendo a absorção de fósforo um fator limitante para seu desenvolvimento. A relação simbiótica dos fungos micorrízicos arbusculares possibilita maior absorção de água e nutrientes pelos hospedeiros, no entanto, fatores como a disponibilidade de nutrientes podem afetar essa relação. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito dos fungos micorrízicos arbusculares associados a diferentes doses de fósforo na cultura do milho. Foi conduzido um experimento em esquema fatorial 3x5, composto por espécies de fungos micorrízicos arbusculares (*Acaulospora scrobiculata* e *Gigaspora margarita*) e um tratamento controle, e adição do adubo fosfatado MAP nas doses de 0, 25, 50, 100 e 200 mg.dm<sup>-3</sup>. Aos 45 dias após a semeadura foi realizada a avaliação das características biométricas da planta, biomassa, P foliar e colonização das raízes. Houve interação entre as variáveis analisadas, sendo o controle inferior aos tratamentos com inoculação, e a espécie *A. scrobiculata* foi mais responsiva nas dosagens maiores de fósforo enquanto *G. margarita* proporcionou melhores resultados em baixas doses de fósforo. Conclui-se que as plantas inoculadas com as espécies de FMAs apresentam melhor desenvolvimento e que as dosagens de adubo fosfatado afetam as espécies de forma diferente.

**Palavras-chave:** *Acaulospora scrobiculata*. Bioestimulante. *Gigaspora margarita*. Zeamays.

**ABSTRACT:** The corn crop is of great importance for the Cerrado region, and phosphorus absorption is a limiting factor for its development. The symbiotic relationship of arbuscular mycorrhizal fungi allows greater absorption of water and nutrients by the hosts, however, factors such as the availability of nutrients can affect this relationship. The aim was to evaluate the effect of arbuscular mycorrhizal fungi associated with different doses of phosphorus on corn. An experiment was carried out in a 3x5 factorial scheme, composed of arbuscular mycorrhizal fungi species (*Acaulospora scrobiculata* and *Gigaspora margarita*) and a control treatment, with the addition of phosphate fertilizer MAP at doses of 0, 25, 50, 100, and 200 mg.dm<sup>-3</sup>. At 45 days after sowing, the biometric characteristics of the plant, biomass, leaf P, and root colonization were evaluated. There was interaction between the analyzed variables, with the control being inferior to the inoculated treatments, and the species *A. scrobiculata* was more responsive at higher doses of phosphorus, while *G. margarita* provided better results at low doses of phosphorus. It is concluded that the plants inoculated with the AMF species present better development and that the dosages of phosphate fertilizer affect the species differently.

**Keywords:** *Acaulospora scrobiculata*. Biostimulant. *Gigaspora margarita*. Zeamays.

**Autor correspondente:** Mauricio Junior Machado

E-mail: mauriciomachado@usp.br

Recebido em: 07/08/2022

Aceito em: 19/01/2023

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Casa do Adubo S.A., Patrocínio, Minas Gerais, Brasil

<sup>2</sup> Mestre em Microbiologia Agrícola, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", ESALQ-USP, Piracicaba, São Paulo, Brasil

<sup>3</sup> Doutor em Ciências, Patrocínio, Minas Gerais, Brasil

<sup>4</sup> Mestre em Produção Vegetal, Centro Universitário do Cerrado Patrocínio - UNICERP, Patrocínio, Minas Gerais, Brasil



## INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma cultura pertencente à família Poaceae, é considerado o cereal mais importante e amplamente utilizado tanto para alimentação humana quanto para forragem animal. É cultivada em muitas regiões do mundo devido à sua ampla adaptabilidade em regiões temperadas e tropicais (Saboor *et al.*, 2021). O Cerrado é uma das principais áreas de cultivo agrícola do Brasil. Essa região apresenta diversas características para o cultivo do milho, sendo os fatores favoráveis para os cultivos a topografia planiforme e textura do solo que melhora a mecanização das áreas, além de apresentar pluviometria adequada para o desenvolvimento de diversas culturas. No entanto, a obtenção de maiores produtividades é dificultada por fatores como o pH ácido dos solos, elevada saturação por alumínio e baixa disponibilidade de fósforo nos solos do Cerrado (Ernani *et al.*, 2002). Esses fatores trazem preocupação principalmente para a fase inicial das culturas em que o sistema radicular é menos desenvolvido e a absorção de fósforo e outros minerais é dificultada.

O fósforo (P) possui funções importantes na planta, sendo constituinte das fontes de energia, fosfolipídios e outros compostos possuindo funções importantes na fisiologia das plantas, tais como função na fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia, divisão e crescimento celular (Malavolta, 2006; Cabral *et al.*, 2020). A capacidade das plantas de absorver fósforo do solo depende da morfologia da raiz e da liberação de exsudatos da raiz e pode ser modulada por micro-organismos benéficos do solo. Esses micro-organismos podem solubilizar o P, afetar o alongamento e a ramificação das raízes e levar a uma maior absorção de P e outros nutrientes (Saia *et al.*, 2020).

Dentre os organismos benéficos para as plantas destacam-se os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) que possuem a capacidade de colonizarem o sistema radicular da maioria das famílias de plantas. São simbiontes obrigatórios e colonizam principalmente plantas terrestres, auxiliando na nutrição, crescimento e tolerância a doenças (Smith; Read, 2008). Os FMAs ligam-se à planta por meio de arbúsculos intracelulares e micélios extraradiculares. Dentre os vários fatores que podem alterar a resposta da planta à micorrização, o teor de fósforo no solo é o principal fator de interferência, sendo que, em geral, para a cultura do milho a aplicação de fósforo resulta na redução da colonização radicular das plantas (Carrenho *et al.*, 2010).

Diante da grande demanda de aplicação de adubos fosfatados na região do Cerrado mineiro, devido à baixa disponibilidade deste mineral nos solos da região, e este nutriente ser

um limitador da produção agrícola de culturas com importância econômica para o país, este trabalho objetivou avaliar o efeito de duas espécies de fungos micorrízicos arbusculares associados a diferentes doses de adubo fosfatado no desenvolvimento inicial de plantas de milho.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Centro Universitário do Cerrado de Patrocínio, localizado na região fisiográfica do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, porção Oeste do Estado de Minas Gerais, altitude média 960 metros, latitude 18° 56' 38"S e longitude 46° 59' 34"O. O solo destinado ao preparo do inóculo de FMAs e para o experimento foi coletado na profundidade de 0-20 cm e peneirado, as características físico-químicas do solo estão descritas na Tabela 1. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial 3x5 em cinco repetições, sendo os fatores a inoculação com FMAs (*Acaulospora scrobiculata* e *Gigaspora margarita* e um tratamento sem inoculação), e a adição de doses do adubo fosfatado MAP (0, 25, 50, 100 e 200 mg.dm<sup>-3</sup>).

**Tabela 1.** Análise físico-química do solo destinado ao experimento

pH		P	K	Na	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	t	T
H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	mg.dm <sup>-3</sup>	-----cmol.c.dm <sup>-3</sup> -----								
5,8	5,4	7,3	0,69	-	3,10	1,4	0,00	2,20	5,2	5,19	7,4
V	M.O	C.O	Fe	Cu	Zn	Mn	B	S	Areia	Silte	Argila
%	-----dag.kg <sup>-1</sup> -----		-----mg.dm <sup>-3</sup> -----					-----g.kg <sup>-1</sup> -----			
70,2	4,0	2,32	17,0	2,7	2,0	7,3	0,61	15,0	425	200	375

Nota: pH = potencial hidrogênico; P = fósforo; K = potássio; Na = sódio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; H+Al = acidez potencial; SB = soma de bases; t = capacidade de troca de cátions efetiva; T = capacidade de troca de cátions total; V = saturação por bases; M.O = matéria orgânica; Fe = ferro; Cu = Cobre; Zn = Zinco; Mn = Manganês; B = Boro; S = enxofre.

Foram utilizadas as linhagens de FMAs *Gigaspora margarita* MGR275A e *Acaulospora scrobiculata* SPL104A. A multiplicação dos inóculos seguiu metodologia proposta por Saggin-Junior *et al.* (2011), em vasos, utilizando sementes de *B. decumbens* desinfestadas em solução de hipoclorito de sódio 0,5%, por 15 minutos e lavadas com água destilada, por quatro vezes. Os vasos foram mantidos em casa de vegetação à temperatura ambiente por 120 dias para a multiplicação dos fungos. Posteriormente as partes aéreas foram podadas e os vasos cobertos com folhas de papel alumínio, e sessou-se a irrigação por um mês, para estimular a esporulação dos fungos micorrízicos. Após esse período, a mistura do

solo constituída de raízes colonizadas com esporos dos FMA foi utilizada como inóculo. Sua conservação foi em câmara fria a uma temperatura média de 4 °C até a execução do experimento.

O experimento foi conduzido em vasos plásticos com capacidade de 5 dm<sup>3</sup>, semeando-se cinco sementes de *Z. mays* L. A mistura de inóculo de FMA contendo 200 esporos foi adicionada ao centro dos vasos e incorporada no momento da semeadura. Os vasos continham solo não estéril, seco, corrigido e adubado de acordo com Ribeiro *et al.* (1999), utilizando 0,8 g vaso<sup>-1</sup> de ureia e 1 g vaso<sup>-1</sup> de cloreto de potássio, com exceção do fósforo que foi adicionado conforme os tratamentos estabelecidos. A irrigação foi realizada diariamente no período da tarde, durante o experimento mantendo a solo a 80% da capacidade de campo, através da pesagem dos vasos a capacidade de campo foi calculada através do método gravimétrico (Dobriyal *et al.*, 2012). Após 15 dias da emergência foi realizado o desbaste, deixando-se duas das plantas mais vigorosas no vaso.

Aos 45 dias após a semeadura, entre os estádios V5 e V7 das plantas, foi realizada a mensuração do diâmetro do caule na altura do colo da planta e a altura da planta delimitada a partir da região do colo até a base da última folha totalmente desenvolvida. As raízes foram coletadas e lavadas com água destilada, as amostras de raízes finas obtidas foram cortadas entre 1-2 cm de comprimento e armazenadas em solução de Carnoy para ser posteriormente feita a determinação da porcentagem de colonização micorrízica. As partes radiculares e aéreas foram acondicionadas em sacos de papel e pesados, após foram colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 60 °C por 48h, para a determinação da massa seca. Após quantificação da massa seca, as folhas das plantas foram encaminhadas para a determinação química do conteúdo de fósforo (P) da parte aérea.

A coloração das raízes amostradas foi adaptada da técnica realizada por Phillips e Hayman (1970). As raízes separadas foram acondicionadas em tubos de ensaio, aos quais foi adicionado KOH 10% e colocados em banho-maria a 90 °C por cerca de trinta minutos. Após as raízes foram lavadas, recondicionadas no tubo de ensaio, acidificadas com HCl 1% e, em seguida, coloridas por 5 minutos em banho-maria com tripan azul 0,05%. A avaliação da porcentagem de colonização radicular foi determinada através da contagem de pontos colonizados em placa quadriculada.

Os dados foram submetidos às análises de variância e de regressão, quando adequado as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, pelo *software*

estatístico Sisvar<sup>®</sup> (Ferreira, 2011). A escolha dos modelos matemáticos da regressão foi feita com base no fenômeno biológico e no coeficiente de determinação.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve efeito da interação entre as espécies de FMAs e as doses de fósforo para o comprimento de raiz e o teor de fósforo foliar, que diferiram apenas em função da inoculação. A inoculação com ambas espécies de micorrizas proporcionou maior comprimento de raiz, superior a 63,22 cm, enquanto que a inoculação com *A. scrobiculata* apresentou menor teor de fósforo comparada a inoculação com *G. margarita* e o tratamento sem inoculação, que apresentaram teores de 1,759 e 1,754 mg.g<sup>-1</sup> de P, respectivamente (Tabela 2).

**Tabela 2.** Comprimento de raiz e teor de fósforo (P) foliar das plantas de milho inoculadas com fungos micorrízicos

Tratamento	Comprimento de raiz (cm)	Teor de fósforo (mg.g <sup>-1</sup> )
<i>A. scrobiculata</i>	67,98 a	1,528 b
<i>G. margarita</i>	63,22 a	1,749 a
Sem inoculação	52,22 b	1,754 a

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

Bressan *et al.* (2001) e Abdel-Fattah *et al.* (2015) encontraram aumento nos índices e de nutrientes como N, P, K, Zn e Cu nas plantas micorrizadas, estabelecendo assim que as associações favoreceram o desenvolvimento vegetativo das plantas por meio do aumento na absorção de nutrientes existentes no solo, através da simbiose do fungo com seu hospedeiro. A menor concentração de P foliar para as plantas inoculadas com *A. scrobiculata* pode estar relacionada com o “efeito de diluição” de nutrientes nas plantas, dado que houve maior crescimento destas plantas como se observa pelo dado de massa seca. Esse efeito está envolvido quando a taxa relativa de crescimento da massa seca da parte aérea é maior que a taxa relativa de absorção de nutrientes (Folegatti; Blanco, 2000). O estudo de Hao *et al.* (2014) corrobora com os dados obtidos neste trabalho em que a dose de fósforo aplicado aumentou o teor de P na parte aérea independentemente da inoculação micorrízica.

Observou-se que as diferentes doses de fósforo (P) introduzidas no plantio e associadas às espécies de FMA *A. scrobiculata* e *G. margarita* mostraram interação significativa entre os fatores para as variáveis altura, diâmetros de colmo, massa fresca e seca total e colonização micorrízica das raízes (Tabela 3). A altura de plantas e diâmetro de colmo foram incrementados com a inoculação dos FMAs em função da adubação fosfatada, sendo

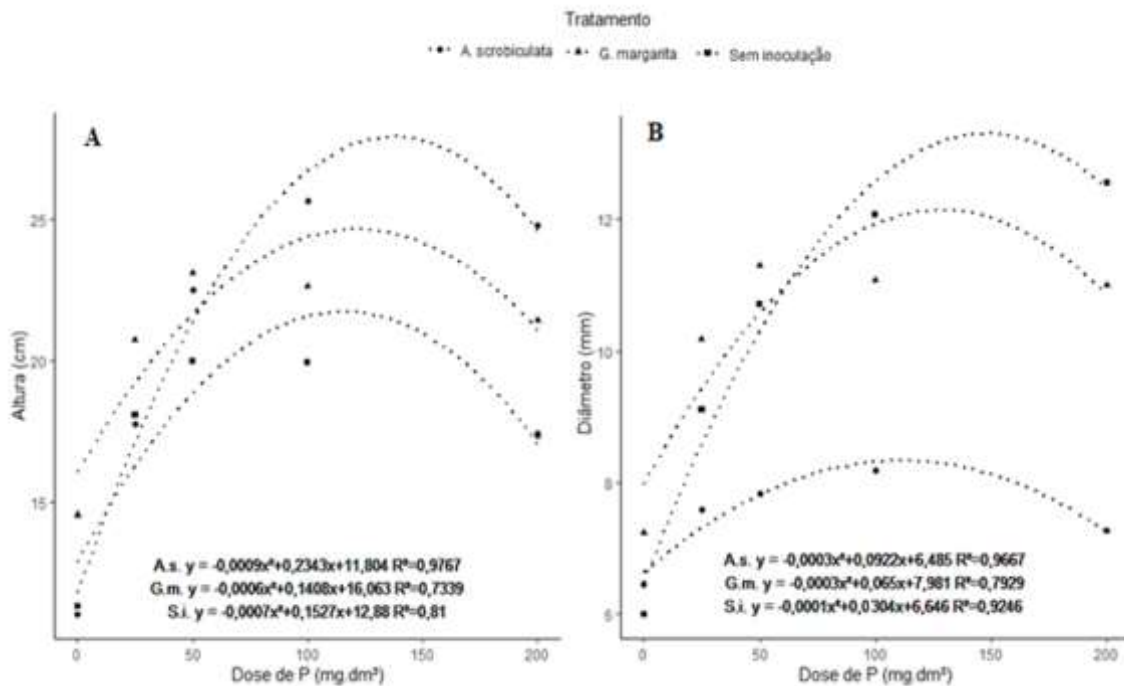
ambas espécies superiores ao controle sem inoculação, sendo que a espécie *A. scrobiculata* apresentou maior altura de plantas e diâmetro de colmo nas dosagens de 100 e 200 mg.dm<sup>3</sup> de P. A espécie *G. margarita* proporcionou maior altura de plantas e diâmetro de colmo nas dosagens menores, indicando uma possível inibição dos efeitos desta espécie com o aumento da dose de P.

**Tabela 3.** Características vegetais da cultura do milho em função do desdobramento das inoculações dentro de cada nível de adubo fosfatado MAP

Dose MAP / Inoculação	Altura cm	Diâmetro de colmo mm	MMFT		Col. %	
			g			
0	A.s.	11,00b	6,00 <sup>NS</sup>	12,61 <sup>NS</sup>	1,30 <sup>NS</sup>	83,60a
	G.m.	14,53a	7,23 <sup>NS</sup>	18,44 <sup>NS</sup>	1,86 <sup>NS</sup>	84,00a
	Test.	11,29ab	4,46 <sup>NS</sup>	13,28 <sup>NS</sup>	1,26 <sup>NS</sup>	28,00b
25	A.s.	17,73 <sup>NS</sup>	9,11a	34,16a	3,64ab	80,40a
	G.m.	20,74 <sup>NS</sup>	10,18a	36,97a	4,24a	76,80a
	Test.	18,07 <sup>NS</sup>	7,60b	22,20b	2,43b	40,80b
50	A.s.	22,48ab	10,71a	45,97a	5,38a	82,00a
	G.m.	23,09a	11,30a	48,22a	5,44a	72,00a
	Test.	18,98b	7,83b	23,04b	2,57b	8,80b
100	A.s.	25,63a	12,07a	55,75a	6,53a	86,80a
	G.m.	22,62ab	11,08a	42,85b	5,19a	73,60a
	Test.	19,94b	8,19b	22,87c	2,56b	18,40b
200	A.s.	24,77a	12,56a	60,72a	7,50a	64,80a
	G.m.	21,40a	11,01b	43,44b	5,41b	82,00a
	Test.	17,36b	7,28c	16,99c	2,00c	20,00b
CV (%)	11,92	10,37	22,03	26,85	19,95	

Nota: <sup>NS</sup>: não significativo; CV: coeficiente de variação; MMFT: Massa da matéria fresca total; MMST: Massa da matéria seca total; Col.: colonização das raízes; A.s.: *Acaulospora scrobiculata*; G.m.: *Gigaspora margarita*; Test.: Testemunha sem inoculação (Controle). As médias seguidas de mesma letra, na coluna, não se diferenciam estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Realizando o desdobramento das doses de fósforo nos níveis de inoculação, observou-se uma tendência, com o aumento das doses de fósforo, de as plantas não apresentarem aumento do desenvolvimento (Figura 1). Dessa forma, a dose máxima em que a altura das plantas é responsiva aos tratamentos corresponde a 130,16 e 117,33 mg.dm<sup>3</sup> de P para os FMAs *A. scrobiculata* e *G. margarita*, respectivamente, e plantas com altura superior a 24,32 cm, enquanto que plantas não inoculadas apresentam altura máxima de 21,2 cm na dosagem de 109,07 mg.dm<sup>3</sup> de P. Bem como para o diâmetro de colmo as doses superiores a 153,66 e 108,33 e 152,00 mg.dm<sup>3</sup> de P para os FMAs *A. scrobiculata* e *G. margarita* e a não inoculação, respectivamente, tendem a não promover incremento no diâmetro de colmo das plantas de milho.

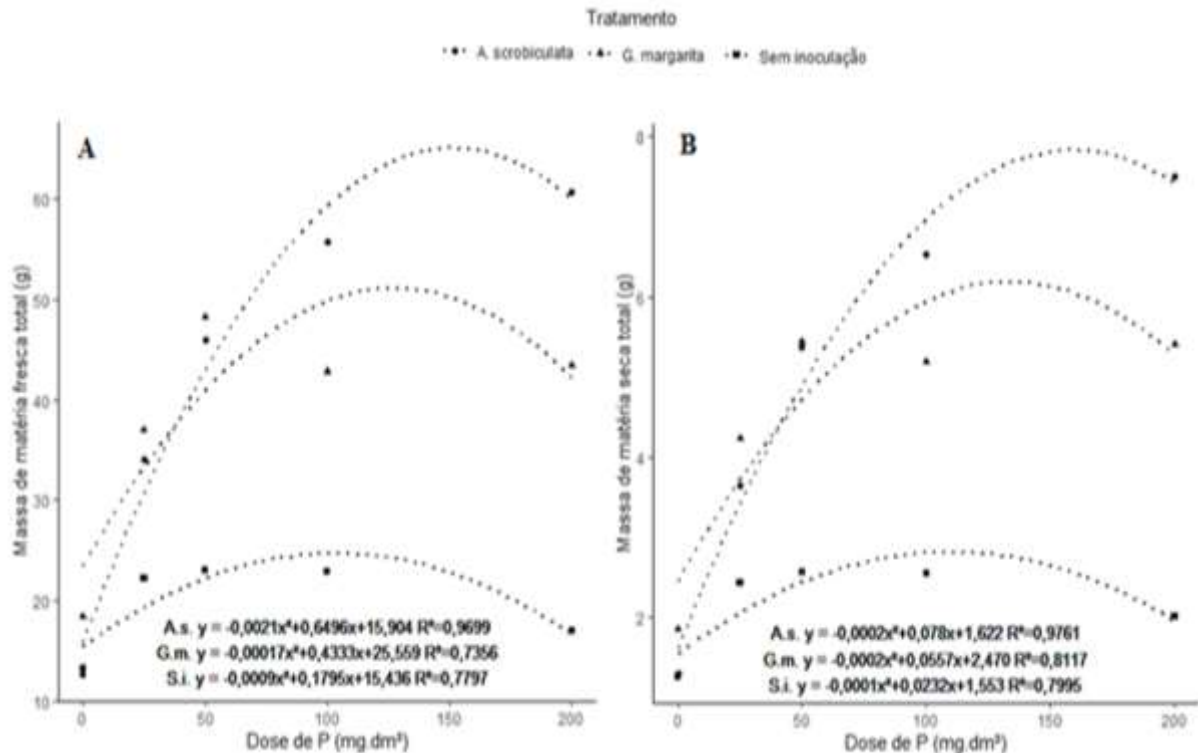


**Figura 1.** Altura (A) e diâmetro de colmo (B) das plantas de milho inoculadas com fungos micorrízicos em função do desdobramento das doses do adubo fosfatado MAP dentro dos níveis de inoculação. A.s.: *Acaulospora scrobiculata*; G.m.: *Gigaspora margarita*; S.i.: Sem inoculação (Controle).

De acordo com a literatura a inoculação micorrízica proporciona melhora nos aspectos agrônômicos das culturas de uma forma geral, pois há aumento na disponibilização de nutrientes e água permitindo a planta desenvolver-se melhor (Parniske, 2008). Trabalhos já relataram que a inoculação com fungos micorrízicos aumentaram a produção de raízes (Hodge *et al.*, 2000), além da massa total de raízes e comprimento das raízes (Bressan; Vasconcelos, 2002). Neste estudo obteve-se o aumento dos valores correspondentes à altura, diâmetro do colmo e fitomassa fresca e seca, sendo que as plantas micorrizadas apresentaram médias superiores às testemunhas, comprovando que a micorrização melhora as características biométricas das plantas.

A massa fresca e seca total das plantas de milho foram maiores nos tratamentos com inoculação dos FMAs. A espécie *G. margarita* apresentou maiores médias em ambas as variáveis quando utilizadas as doses de 25 e 50 mg.dm<sup>-3</sup> e quando utilizadas as doses de 100 e 200 mg.dm<sup>-3</sup> a espécie *A. scrobiculata* se mostrou mais eficiente, as plantas que não foram inoculadas apresentaram as menores médias, independente da dosagem de P utilizada, conforme se observa na Tabela 3. As inoculações apresentaram ajuste quadrático e conforme houve o aumento da dose de P, estas tornaram-se prejudiciais para as variáveis analisadas (Figura 2). Doses superiores a 154,66 e 127,44 mg.dm<sup>3</sup> de fósforo não promovem aumento na massa fresca das plantas inoculadas com *A. scrobiculata* e *G. margarita*, respectivamente,

enquanto que para o peso de massa seca o máximo de incremento é obtido nas doses de 195,00 e 139,25 mg.dm<sup>3</sup> de fósforo. Observa-se ainda que a espécie *G. margarita* é afetada por altas doses de P, ao mesmo tempo que a espécie *A. scrobiculata* apresentou melhor desempenho nestas condições com médias superiores em ambas as variáveis.



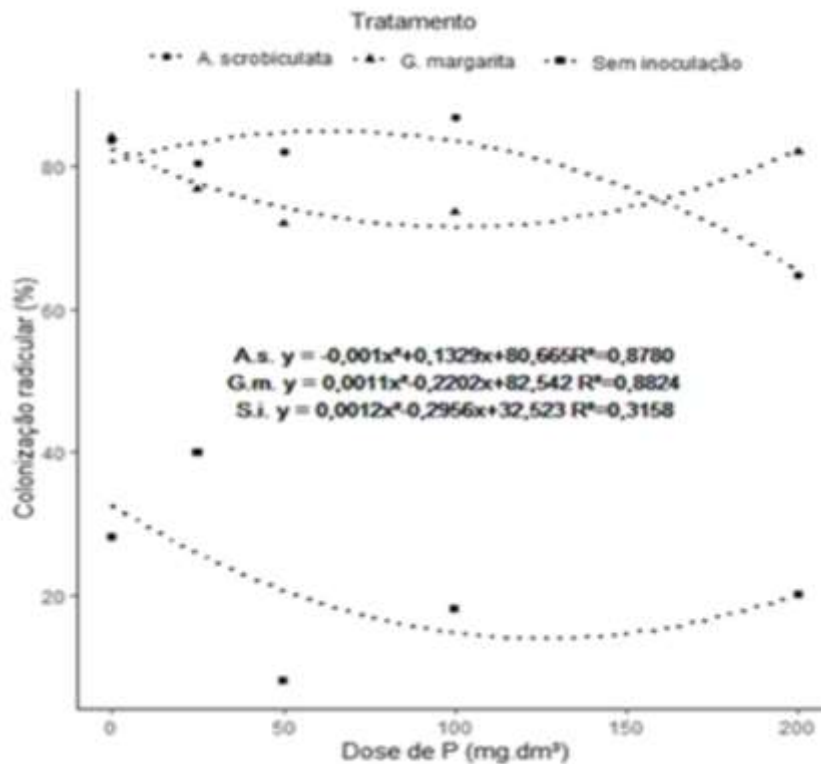
**Figura 2.** Massa de matéria fresca (A) e seca (B) total das plantas de milho inoculadas com fungos micorrízicos em função do desdobramento das doses do adubo fosfatado MAP dentro dos níveis de inoculação.  
 A.s.: *Acaulospora scrobiculata*; G.m.: *Gigaspora margarita*; S.i.: Sem inoculação (Controle).

O aumento observado no desenvolvimento das plantas inoculadas com fungos micorrízicos pode ser atribuído tanto aos mecanismos de ordem nutricional como não-nutricional. Os mecanismos nutricionais estão relacionados a melhor absorção de nutrientes pela planta, principalmente do fósforo solubilizado pelos FMAs quando este é encontrado em baixas concentrações no solo (Schubler *et al.*, 2001; Smith; Read, 2008; Gianinazzi *et al.*, 2010). Enquanto que os mecanismos não-nutricionais são as alterações bioquímicas e fisiológicas que melhoram a relação água-planta e aumentam a síntese de hormônios vegetais como as auxinas, citocininas, giberelinas, além de que vitaminas e compostos orgânicos bioativos podem também promover o aumento da tolerância contra estresses que podem ser causados tanto por fatores bióticos como abióticos (Vos *et al.*, 2012; Baum *et al.*, 2015).

Não houve diferença na colonização micorrízica nas raízes das plantas entre as espécies de FMAs, no entanto, estas diferiram das plantas não inoculadas (Tabela 3).



Conforme pode-se observar na Figura 3, doses superiores a  $66,45 \text{ mg.dm}^{-3}$  são prejudiciais para a colonização radicular da espécie *A. scrobiculata*, enquanto que para a *G. margarita* doses superiores a  $100,09 \text{ mg.dm}^{-3}$  não são prejudiciais. Apesar de uma das espécies apresentar diminuição da colonização observa-se que não houve diferença estatística entre elas na maioria das variáveis e doses de P analisadas (Tabela 3). Como o trabalho foi avaliado em condições de solo não estéril para poder inferir o quanto a inoculação com espécies micorrízicas conhecidas pode aumentar o efeito das espécies indígenas, observa-se uma colonização também no tratamento controle, em que observou-se uma tendência à inibição da colonização quando aumentaram-se as doses de P aplicadas no solo, sendo que a colonização máxima das raízes por espécies nativas foi de 40,8%, obtida no tratamento com  $25 \text{ mg.dm}^{-3}$  de fósforo.



**Figura 3.** Colonização radicular das plantas de milho inoculadas com fungos micorrízicos em função do desdobramento das doses do adubo fosfatado MAP dentro dos níveis de inoculação.

A.s.: *Acaulospora scrobiculata*; G.m.: *Gigaspora margarita*; S.i.: Sem inoculação (Controle).

A colonização das espécies utilizadas foi superior a 64,8%, independente da dosagem de P utilizada, para a colonização nas raízes ser considerada efetiva segundo Carneiro *et al.* (1998) a porcentagem mínima de colonização é de 50%. Os fatores que afetam a infectividade e a eficácia do inóculo de FMAs são conhecidos. A disponibilidade de P no solo é a mais

marcante, em geral, pois o P pode inibir a colonização de FMAs quando disponível em alta concentração, enquanto o P estimula a colonização por FMAs quando presente em pequenas quantidades (Breuillin *et al.*, 2010; Gutjahr; Parniske, 2013; Miransari, 2013). Plantas que crescem em solo com baixo teor de P diminuem seus níveis de fosfolipídios, e hormônios como as estrigolactonas, aumentando a permeabilidade da membrana celular, portanto liberam mais exsudatos radiculares, como açúcares e aminoácidos que promovem uma sinalização na rizosfera e permitem que haja um estímulo à colonização de FMAs por meio do recrutamento destes micro-organismos benéficos (Carvalhais *et al.*, 2010). A redução na colonização radicular de FMAs devido à aplicação de P também foi confirmada por Wang *et al.* (2017), utilizando-se fontes de fósforo e avaliando-se a influência da profundidade do solo na modulação da estrutura da comunidade de fungos micorrízicos arbusculares.

## 5 CONCLUSÃO

As plantas inoculadas com as espécies de fungos micorrízicos apresentaram desenvolvimento superior à testemunha nas variáveis altura, diâmetro de colmo, peso de massa fresca e seca, quando submetidas às doses superiores a 25 mg.dm<sup>-3</sup> de fósforo. A espécie *G. margarita* apresentou maior sensibilidade na dose de 200 mg.dm<sup>-3</sup> de fósforo do que a espécie *A. scrobiculata*, que exprimiu maior diâmetro de colmo, peso de massa fresca e seca. Por fim, doses superiores a 66,45 mg.dm<sup>-3</sup> de P são prejudiciais para a colonização radicular da espécie *A. scrobiculata*, apesar de não interferir nas médias dos parâmetros avaliados, indicando uma melhor eficiência na interação planta-micorriza para esta espécie.

## 6 AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Regional de Blumenau (FURB), de Santa Catarina, e à coleção CICG (Coleção Internacional de Cultura de Glomeromycota) pela disponibilização dos inóculos de FMAs.

## REFERÊNCIAS

ABDEL-FATTAH, G. M. *et al.* Influence of arbuscular mycorrhiza and phosphorus fertilization on the gas exchange, growth and phosphatase activity of soybean (*Glycinemax*

L.) plants. **Photosynthetica**, v. 52, n. 4, p. 581-588, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11099-014-0067-0>

BAUM, C.; EL-TOHAMY, W.; GRUDA, N. Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: a review. **Scientia Horticulturae**, v. 187, p. 131-141, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.002>

BRESSAN, W. *et al.* Fungos micorrízicos e fósforo, no crescimento, nos teores de nutrientes e na produção do sorgo e soja consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 315-323, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000200015>

BRESSAN, W.; VASCONCELLOS, C. A. Alterações morfológicas no sistema radicular do milho induzidas por fungos micorrízicos e fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 509-517, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000400013>

BREUILLIN, F. *et al.* Phosphate systemically inhibits development of arbuscular mycorrhiza in *Petunia hybrida* and represses genes involved in mycorrhizal functioning. **The Plant Journal**, v. 64, n. 6, p. 1002-1017, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113X.2010.04385.x>

CABRAL, F. L. *et al.* Levels of mineral and organomineral phosphorus fertilization in corn culture. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 36414-36426, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n6-255>

CARNEIRO, M. A. C. *et al.* Micorriza arbuscular em espécies arbóreas e arbustivas nativas de ocorrência no sudeste do Brasil. **Cerne**, v. 4, n. 1, p. 129-145, 1998.

CARRENHO, R. *et al.* Fungos micorrízicos arbusculares em agrossistemas brasileiros. In: SIQUEIRA, J. O. *et al.* (Ed.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2010. p. 215-250.

CARVALHAIS, L. C. *et al.* Root exudation of sugars, amino acids, and organic acids by maize as affected by nitrogen, phosphorus, potassium, and iron deficiency. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 174, n. 1, p. 3-11, 2011. <https://doi.org/10.1002/jpln.201000085>

DOBRIYAL, P. *et al.* A review of the methods available for estimating soil moisture and its implications for water resource management. **Journal of Hydrology**, v. 458, p. 110-117, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.06.021>

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; MAESTRI, L. Corn yield as affected by liming and tillage system on an acid Brazilian Oxisol. **Agronomy Journal**, v. 94, n. 2, p. 305-309, 2002. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.3050>

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>

FOLEGATTI, M. V.; BLANCO, F. F. Vegetative development on grafted cucumber plants irrigated with saline water. **Scientia Agricola**, v. 57, p. 451-457, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162000000300013>

GIANINAZZI, S. *et al.* Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. **Mycorrhiza**, v. 20, n. 8, p. 519-530, 2010. <https://doi.org/10.1007/s00572-010-0333-3>

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. <https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-101512-122413>

HAO, X. J. *et al.* Effects of arbuscular mycorrhizal fungal inoculation and phosphorus (P) addition on maize P utilization and growth in reclaimed soil of a mining area. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 45, n. 18, p. 2413-2428, 2014. <https://doi.org/10.1080/00103624.2014.912295>

HODGE, A.; ROBINSON, D.; FITTER, A. H. An arbuscular mycorrhizal inoculum enhances root proliferation in, but not nitrogen capture from, nutrient-rich patches in soil. **The New Phytologist**, v. 145, n. 3, p. 575-584, 2000. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00602.x>

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MIRANSARI, M. Soil microbes and the availability of soil nutrients. **Acta physiologiae plantarum**, v. 35, n. 11, p. 3075-3084, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1338-2>

PARNISKE, M. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. **Nature Reviews Microbiology**, v. 6, n. 10, p. 763-775, 2008. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1987>

PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of the British mycological Society**, v. 55, n. 1, p. 158-IN18, 1970.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. Comissão de fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes Minas Gerais - 5ª Aproximação**. Viçosa, 1999.

SABOOR, A. *et al.* Zinc nutrition and arbuscular mycorrhizal symbiosis effects on maize (*Zea mays* L.) growth and productivity. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 11, p. 6339-6351, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.06.096>

SAGGIN JÚNIOR, O. J. *et al.* Interação fungos micorrízicos versus superfosfato e seus efeitos no crescimento e teores de nutrientes do cafeeiro em solo não fumigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Brasil), v. 18, n. 1, p. 27-36, 1994.

SAIA, S. *et al.* Growth-promoting bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi differentially benefit tomato and corn depending upon the supplied form of phosphorus. **Mycorrhiza**, v. 30, n. 1, p. 133-147, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00572-019-00927-w>

SCHÜBLER, A.; SCHWARZOTT, D.; WALKER, C. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. **Mycological research**, v. 105, n. 12, p. 1413-1421, 2001. <https://doi.org/10.1017/S0953756201005196>

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. Academic press, 2010.

VOS, C. M. *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi induce systemic resistance in tomato against the sedentary nematode *Meloidogyne incognita* and the migratory nematode *Pratylenchus penetrans*. **Applied Soil Ecology**, v. 61, p. 1-6, 2012.  
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.04.007>

WANG, C.; WHITE, P. J.; LI, C. Colonization and community structure of arbuscular mycorrhizal fungi in maize roots at different depths in the soil profile respond differently to phosphorus inputs on a long-term experimental site. **Mycorrhiza**, v. 27, n. 4, p. 369-381, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00572-016-0757-5>