

Adubação fosfatada associada à inoculação com *Pseudomonas fluorescens* no desempenho agronômico do milho

Phosphate fertilizer and inoculation with *Pseudomonas fluorescens* in agronomic performance of corn

Mariana A. de Oliveira*, Claudemir Zucareli, André S. Ferreira, Allan R. Domingues, Leandro T. Spolaor e Carmen S. V. J. Neves

Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Caixa Postal 10.011, CEP: 86051-990, Londrina, Paraná, Brasil. E-mails: agromariana.oliveira@gmail.com, author for correspondence; claudemircca@uel.br, csvjneve@uel.br; asampaio_5@hotmail.com; leandrotspolaor@hotmail.com; allandomingez@hotmail.com

Recebido/Received: 2014.04.11
Aceite/Accepted: 2014.11.04

RESUMO

Para avaliar o desempenho agronômico e a composição química dos grãos de milho provenientes de plantas submetidas à inoculação das sementes com *Pseudomonas fluorescens* e cultivadas com diferentes doses de adubação fosfatada, conduziu-se um estudo avaliando dez tratamentos, sob o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 2, sendo cinco doses de adubação fosfatada (0, 40, 80, 100 e 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅), combinadas com dois níveis de inoculação (presença e ausência), com oito repetições. Foram avaliadas características fitométricas, componentes de produção, produtividade e a composição química das cariopses. Os dados foram submetidos à análise de variância complementada pelo teste de Tukey p<0,05 e estudo de regressão para efeito de doses. A inoculação com *P. fluorescens* associada a adubação fosfatada nas doses de 80 e 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅ favorece a massa de matéria seca de raiz. O desempenho agronômico da cultura, os teores de nutrientes e proteína nas cariopses de milho não foram influenciados pela inoculação com *P. fluorescens* e adubação fosfatada, demonstrando a necessidade de seleção de estirpes que estabeleçam relações mais satisfatórias e estáveis com a planta hospedeira, bem como a identificação de condições ambientais que favoreçam a interação entre planta e bactéria.

Palavras-chave: inoculante, qualidade nutricional, rizobactérias, solubilização de fosfato, *Zea mays* L.

ABSTRACT

To evaluate the agronomic performance and chemical composition of corn grains of plants inoculated with *Pseudomonas fluorescens* and cultured with different doses of fertilization, an experiment was conducted with ten treatments under the completely randomized design in a 5 x 2 factorial arrangement with five levels of phosphate fertilizer (0, 40, 80, 100 and 160 kg ha⁻¹) combined with two levels of inoculation (with and without) with four replications. Fitometrics characteristics, yield components, productivity and chemical composition of the grains were evaluated. The data were submitted to ANOVA complemented by p<0.05 Tukey test and regression study for the effect of doses of phosphate fertilizer. The inoculation with *P. fluorescens* associated with phosphorus fertilization at doses of 80 and 160 kg ha⁻¹ of P₂O₅ favored the mass of dry root. The agronomic performance, the levels of nutrients and protein in maize grain were not influenced by inoculation with *P. fluorescens* and phosphorus fertilization, demonstrating the need for selection of strains that establish relations more satisfactory and stable with the host plant, as well as the identification of environmental conditions that favor the interaction between plant and bacteria.

Keywords: inoculant, nutritional quality, phosphate solubilization, rhizobacteria, *Zea mays* L.

Introdução

Com a necessidade de aumento de produtividade agrícola, tornou-se primordial o avanço científico nos estudos do suprimento das necessidades nutricionais para as diversas culturas. A fertilidade dos solos das regiões tropicais é limitada pela baixa disponibilidade natural de fósforo (P) em razão dos baixos teores do nutriente na forma disponível às plantas e pelas altas taxas de complexação do nutriente, em virtude da fixação do elemento em reações com partículas do solo. Dessa forma, os sistemas de cultivos exigem constantes aplicações de fósforo e em quantidades relativamente elevadas para garantir a produtividade das culturas, o que representa um aumento nos custos de produção.

Diversos trabalhos evidenciaram o efeito positivo da adubação fosfatada no crescimento, nos componentes de produção, na produtividade de plantas de milho (Harger *et al.*, 2007; Tiritan *et al.*, 2010) e na composição química dos grãos (Marsaro Junior *et al.*, 2007).

Com o intuito de aumentar a eficiência na utilização de fertilizantes nos sistemas agrícolas, mantendo-se o equilíbrio ecológico, tem crescido o interesse pela manipulação de rizobactérias promotoras do crescimento de planta (RPCPs). Essas bactérias exercem efeitos benéficos ao promover o crescimento vegetal, propiciam o aumento da disponibilidade de nutrientes para as plantas, seja pela solubilização de fosfato inorgânico (Rodríguez e Fraga, 1999; Zaidi e Mohammad, 2006) ou pelo maior crescimento das raízes, favorecendo a absorção de água e nutrientes.

A inoculação com estes microorganismos estimulam o crescimento e o aumento de produtividade (Glick *et al.*, 2007). De acordo com Oliveira *et al.* (2003), as rizobactérias podem promover o crescimento vegetal pela combinação de um ou mais dos seguintes mecanismos: produção hormonas, fixação biológica de nitrogénio, controle biológico de patógenos, mineralização de fósforo orgânico e solubilização de fósforo inorgânico e outros nutrientes. Quanto à produção de fitormonas, as rizobactérias são capazes de sintetizar substâncias como as giberelinas e ácido indolacético (AIA) *in vitro* e na rizosfera de plantas, como é o caso de *Pseudomonas* spp. em raízes de milho (Pan *et al.*, 1999).

As bactérias do género *Pseudomonas* têm recebido especial atenção pela sua capacidade em promover o crescimento vegetal, especialmente pela

sua habilidade em melhorar a nutrição fosfatada das plantas pela solubilização de fosfato inorgânico (Afzal e Bano, 2008) e, ainda, em promover o crescimento do sistema radicular, que facilita a absorção de água e nutrientes.

Visando gerar informações sobre o uso de rizobactérias, realizou-se o presente trabalho, com o objetivo de avaliar o desempenho agronômico e a composição química das cariopses de milho provenientes de plantas submetidas à inoculação das sementes com *Pseudomonas fluorescens* e cultivadas com diferentes doses de adubação fosfatada em estufa.

Material e Métodos

O trabalho foi realizado em estufa e no Laboratório de Solos no Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, em Londrina – PR, localizada a 23°23' S e 51°11' W e altitude média de 566 m.

Foram testados dez tratamentos, utilizando-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5x2, correspondente a cinco doses de adubação fosfatada (0, 40, 80, 100 e 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅), combinados com dois níveis de inoculação com *Pseudomonas fluorescens* (presença e ausência), com oito repetições, sendo quatro utilizadas nas avaliações destrutivas das plantas no estágio fenológico VT (florescimento masculino) e quatro repetições que seguiram até o final do ciclo da cultura. As parcelas foram constituídas de vasos plásticos com volume de 25 L, com adição de 20 kg de solo classificado como Latossolo Vermelho eutroférrico (Embrapa, 2006), de textura argilosa, coletado na camada de 0-40 cm em área agricultável.

Previamente à instalação do estudo foram coletadas amostras do solo para análise química, que apresentou os seguintes resultados: pH (H₂O): 5,57; H+Al: 4,25 cmolc dm⁻³; Ca: 1,92 cmolc dm⁻³; Mg: 0,78 cmolc dm⁻³; K: 0,13 cmolc dm⁻³; P: 1,36 mg dm⁻³ e grau de saturação de bases (V): 40,01%, sendo KCl 1N o extrator para quantificar Ca, Mg e Al e Mehlich-I para P e K. A correção da acidez do solo foi realizada nos 60 dias que antecederam a instalação do estudo, com carbonato de cálcio (CaCO₃) para elevação da saturação de bases a 70% seguida de adubação de correção de acordo com as recomendações de Novais *et al.* (1991), igualmente para todos os tratamentos. A adubação fosfatada foi adicionada ao solo antes da semeadura a 5 cm de profundidade, seguindo as doses pré-definidas, utilizou-se como fonte de fósforo o superfosfato triplo.

Nos tratamentos com inoculação, as sementes foram tratadas momentos antes da sementeira, com o inoculante à base de *Pseudomonas fluorescens*, Rizofos®, na dose de 140 mL ha⁻¹, correspondente a 100 mL de Rizofos® e 40 mL de Premax-R® (protetor bacteriano que melhora a sobrevivência das bactérias após a inoculação). A inoculação consistiu em colocar as sementes e o produto em saco plástico, com posterior agitação para distribuir homogeneamente o inoculante sobre as sementes.

A sementeira foi realizada manualmente a 5 cm de profundidade com cinco sementes por vaso. Realizou-se o desbaste, deixando-se uma planta por vaso na fase de desenvolvimento vegetativo V₃ (três folhas completamente expandidas), de acordo com a escala fenológica proposta por Ritchie *et al.* (1986). Durante o desenvolvimento, a cultura foi monitorada com relação a insetos-praga e doenças. Devido à desfolha causada pela lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) no estágio V₃ da cultura, houve a necessidade de controle com teflubenzurão (100 mL ha⁻¹). A adubação nitrogenada de cobertura foi fracionada aos 35 e aos 45 dias após a emergência das plântulas, nos estádios V5 e V6, respectivamente, com aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N (ureia) para todos os tratamentos, em cada aplicação. As plantas receberam irrigações semanais com saturação visível do solo.

Foram avaliadas as características fitométricas das plantas no estágio fenológico VT (flores masculinas) e os componentes de produção, a produtividade e a composição química das cariopses após a colheita, quando estas apresentaram teor de água médio de 200 g de água kg⁻¹ de frutos.

As características fitométricas avaliadas foram: altura de planta: obtida com o auxílio de uma régua graduada, considerando a distância do colo da planta até a inserção da folha-bandeira (cm); diâmetro do colmo: obtido com o auxílio de um paquímetro, considerando a medida no primeiro entrenó acima do solo (cm); massa de matéria seca da parte aérea vegetativa e raiz: a parte aérea (folhas e caules) e raiz foram secas em estufa com circulação de ar forçado a 65°C até atingirem massa constante (g). As raízes foram lavadas previamente para remoção do solo.

Para avaliação dos componentes de produção foram colhidas as espigas das parcelas remanescentes, visando às seguintes determinações: massa de espiga: massa das espigas desempalhadas (g); comprimento de espiga: distância entre o primeiro e a última cariopse da linha mais longa (cm); número de fileiras por espiga e cariopses por fileira: contagem individual em cada espiga do número de fileiras e do número de cariopses por fileiras, considerando o número de

cariopses da fileira mais longa; diâmetro da espiga: obtido na região mediana da espiga, com o auxílio de um paquímetro analógico (cm). Massa de 100 cariopses: contagem de 100 cariopses e pesagem em balança digital (g).

O teor de água das cariopses após a colheita foi obtido por um medidor de capacitância digital (G600), previamente ajustado e calibrado para a cultura do milho. A produtividade de cariopses por planta (g planta) foi obtida por meio da pesagem das cariopses colhidos em cada parcela experimental, com umidade corrigida para 130 g de água kg⁻¹ de cariopses (umidade de armazenamento para cariopses de milho).

Para determinação da composição mineral, após a determinação da produtividade, os grãos foram amostrados e secos em estufa a 65°C até atingirem massa constante e triturados. Determinaram-se os teores de P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn de acordo com as metodologias descritas por Malavolta *et al.* (1997) e o teor total de N foi determinado pelo método Kjeldahl (AOAC 1995), convertido em teor de proteína de milho pelo uso do fator 5,49 (Chang, 1998). O conteúdo de nutrientes e proteínas foram obtidos com base na produtividade de cariopses por planta, sendo considerado para os macronutrientes (g planta) e micronutrientes (mg planta).

Os dados foram verificados quanto à homocedasticidade (Teste de Bartlett) e a normalidade dos erros (Lilliefors). Como as variâncias foram homogêneas e os erros normais, procedeu-se a análise de variância com os dados sem transformação, com comparação de média pelo teste Tukey p<0,05 e estudo de regressão para efeito de doses de adubação fosfatada.

Resultados e Discussão

As diferentes doses de adubação fosfatada, inoculação e interação entre estes fatores não influenciaram significativamente a altura de planta, diâmetro do colmo e massa de matéria seca da parte aérea, como se observa no Quadro 1. Resultados divergentes foram apresentados por Cardoso *et al.* (2008) ao avaliar o efeito da inoculação de rizobactérias do gênero *Pseudomonas* spp. no crescimento e desenvolvimento de plantas de milho cultivado em casa de vegetação. Esses autores constataram efeito positivo da inoculação para as características altura de planta e massa de matéria seca da parte aérea de plantas de milho.

Harger *et al.* (2007) ao avaliar o efeito das fontes de P (superfosfato triplo e fosfato de Arad) no crescimento inicial da cultura do milho verificaram que a produção de massa seca da parte aérea aumentou com o

Quadro 1 – Médias de altura de planta (AP), diâmetro do colmo (DC), massa de matéria seca da parte aérea (MMSPA) e massa de matéria seca de raiz (MMSR) de plantas de milho, submetidas a diferentes doses de adubação fosfatada e inoculação das sementes com *Pseudomonas fluorescens*, cultivadas em casa de vegetação.

Causas de variação	Variáveis analisadas			
	AP (cm)	DC (cm)	MMSPA(g)	MMSR(g)
Dose (kg ha⁻¹)				
0	2,07	1,52	495,00	351,25
40	2,26	1,62	445,00	175,00
80	2,24	1,62	512,50	207,50
100	2,16	1,54	385,00	180,00
160	2,22	1,63	490,00	277,50
Inoculação				
Ausência	2,18	1,53	489,00	214,00
Presença	2,21	1,65	442,00	262,50
Valor de F				
Dose (D)	0,94 ns	0,32 ns	2,64 ns	3,99 *
Inoculação (I)	0,14 ns	2,22 ns	2,75 ns	2,51 ns
D x I	0,60 ns	0,82 ns	2,04 ns	3,36 *
CV (%)	10,24	16,00	19,23	21,38

ns não-significativo, * significativo a 0,05 de probabilidade

incremento das doses de fósforo, independentemente da fonte de fósforo utilizada. Tiritan *et al.* (2010) relatam que com o aumento das doses de P₂O₅ ocorreu incremento progressivo da biomassa seca da parte aérea de plantas de milho, resultados que divergem dos apresentados neste estudo.

A cultura do milho é exigente em fósforo, que além de estar relacionado com o crescimento das raízes, mostra-se importante para o vigor das plantas e, o seu fornecimento nos estádios iniciais de crescimento é fundamental para o desenvolvimento da cultura. Já a ausência deste elemento, reduz a taxa de emissão e crescimento de folhas, estando associado com o desenvolvimento da parte aérea da cultura (Grant *et al.*, 2001), fatos não observados neste trabalho. Assim, seria esperado que a adubação fosfatada associada à inoculação com *P. fluorescens* promovesse incrementos nas características avaliadas, uma vez que o solo utilizado apresentava baixa disponibilidade desse elemento.

Fankem *et al.* (2008), ao avaliar em solo ácido com baixo nível de fósforo o desempenho de plantas de milho, verificaram maiores médias de altura de plantas na presença de duas das três estirpes de *P. fluorescens* avaliadas. O mesmo foi observado por Vyas e Gulati (2009) que obtiveram diferenças significativas na altura de plantas de milho na presença de *Pseu-*

domonas, estes resultados contrapõe os obtidos neste estudo. Entretanto, Zucareli *et al.* (2011) também não detectaram alteração na altura de plantas, em estudo relativo à eficiência agrônômica do inoculante à base de *Pseudomonas fluorescens* em milho conduzido a campo, corroborando os resultados obtidos no presente estudo.

Constatou-se alteração significativa na massa de matéria seca de raiz para efeito isolado de doses de adubação fosfata e interação entre doses e inoculação (Quadro 1). Os tratamentos com ausência e presença de inoculação apresentaram ajuste quadrático em função das doses de adubação fosfatada para a variável massa de matéria seca de raiz (Figura 1).

A massa de matéria seca de raiz para o tratamento sem inoculação apresentou ponto de mínima de 106 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e o tratamento com inoculação apresentou ponto de mínima de 62 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A inoculação mostrou efeito positivo no desenvolvimento do sistema radicular, minimizando o efeito de redução da massa seca de raiz com o aumento das doses de fósforo, fato que pode ser constatado pela menor taxa de decréscimo da curva e menor ponto de mínima resposta em relação à curva da ausência de inoculação. Estes resultados corroboram com Cardoso *et al.* (2008) que relatam efeito positivo da inoculação com *Pseudomonas* spp. na cultura do milho para a massa

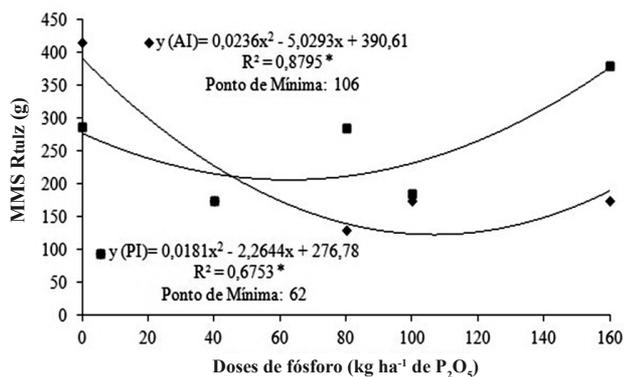


Figura 1– Massa de matéria seca de raiz (MMS) de plantas de milho submetidas à inoculação (PI) e a ausência de inoculação (AI) de *Pseudomonas fluorescens* em função de doses de fósforo (kg ha⁻¹ de P₂O₅).

de matéria seca de raiz, demonstrando a capacidade destes microrganismos em promover a expansão do sistema radicular.

De acordo com Harthmann *et al.* (2010) inúmeras rizobactérias favorecem o crescimento do sistema radicular e o aumento do número de pelos radiculares, promovendo a ampliação da área superficial com maior absorção de água e nutrientes, o que afeta positivamente o desenvolvimento da parte aérea, com aumento do número de folhas e aumento da expansão da área foliar e, favorecendo o rendimento das culturas.

O Quadro 2 apresenta a comparação entre os níveis de inoculação para o desdobramento da interação dos fatores (dose de adubação e inoculação) para a massa de matéria seca de raiz.

Quadro 2 – Desdobramento da interação para médias de massa de matéria seca de raiz de plantas de milho, em função de diferentes doses de adubação fosfatada e inoculação das sementes com *Pseudomonas fluorescens*, cultivadas em casa de vegetação.

Doses (kg ha ⁻¹)	Inoculação	
	Ausência	Presença
0	415,00 a	287,50 a
40	175,00 a	175,00 a
80	130,00 b	285,00 a
100	175,00 a	185,00 a
160	175,00 b	380,00 a

Médias seguidas de mesma letra minúsculas na linha para efeito de inoculação, não diferem entre si pelo teste de Tukey $p < 0,05$.

Nas doses de 0, 40 e 100 kg ha⁻¹ não foram observados incrementos na massa de matéria seca de raiz em resposta a inoculação. Nas doses de 80 e 160 kg ha⁻¹ a presença de inoculação resultou em maior massa de matéria seca de raiz, demonstrando efeito positivo da inoculação de *Pseudomonas fluorescens*. O mesmo foi observado por Liu (2004) com aumentos na massa seca de raiz em plantas de milho sob condições de adequado suprimento de fósforo, em relação à condição de deficiência de fósforo. De acordo com Fallik e Okon (1996) o maior crescimento do sistema radicular favorece a absorção de água e sais minerais e aumenta a tolerância ao estresse hídrico.

As variáveis massa e comprimento de espiga, número de fileiras por espiga, número de cariopses por fileira, diâmetro da espiga, massa de 100 cariopses e produtividade por planta, não foram afetadas pelos fatores doses de adubação fosfatada, inoculação e interação entre estes fatores (Quadro 3). O mesmo foi observado por Zucareli *et al.* (2011), na presença de *Pseudomonas fluorescens* e de adubação fosfatada (superfosfato triplo), no número de cariopses por fileira, a massa de 100 cariopses e a produtividade de cariopses não foram afetados significativamente, afirmando os resultados observados no presente estudo. Esses autores constataram que para a variável diâmetro da espiga a inoculação superou o tratamento sem inoculação. Resultados semelhantes foram observados por Chaves (2011) que constatou que os componentes de produção massa de 100 cariopses e produtividade não foram favorecidos pela presença de *P. fluorescens* associada com diferentes fontes de fósforo. A adição de P nos estádios iniciais de crescimento é fundamental para o desenvolvimento da planta. Especula-se que a presença de fósforo na semeadura favoreça a produção de maior número de cariopses, pois uma deficiência de fósforo durante a formação da espiga, que ocorre entre os estádios V₆ e V₇, reduz o tamanho da mesma, levando a um menor número de grãos por espiga (Grant *et al.*, 2001), efeito não observado no presente trabalho.

Contrariando os resultados obtidos, Oliveira *et al.* (2012), ao avaliar o desempenho a campo da cultura do milho submetida à inoculação de *Pseudomonas fluorescens* e cultivado sob diferentes níveis de adubação NPK, constataram acréscimos no comprimento de espiga, massa de espiga, número de cariopses por fileira, massa de 100 grãos e produtividade de grãos na presença de inoculação com 250 kg ha⁻¹ de adubação NPK formulado 08-28-16, por outro lado o número de fileiras de cariopses por espiga também não foi favorecido.

Riviera-Hernandez *et al.* (2010) também observaram aumentos no número de cariopses por fileiras e no

Quadro 3 – Médias de massa de espiga (PE), comprimento de espiga (CE), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), diâmetro da espiga (DE), massa de 100 grãos (M100G) e produtividade por planta de milho (PP), submetidas a diferentes doses de adubação fosfatada e inoculação das sementes com *Pseudomonas fluorescens*, cultivadas em casa de vegetação.

Causas de variação	Variáveis analisadas						
	ME (g)	CE (cm)	NFE	NGF	DE (cm)	M100G (g)	PP (g)
Dose (kg ha⁻¹)							
0	150,25	13,87	15,50	27,25	4,70	32,50	106,62
40	198,75	15,62	15,87	32,12	4,94	36,00	133,77
80	187,00	16,25	15,00	32,12	4,74	32,25	127,82
100	163,50	15,25	14,00	31,37	4,58	37,00	114,54
160	168,75	15,37	15,50	28,75	4,74	34,25	119,55
Inoculação							
Ausência	175,30	15,60	15,15	30,75	4,70	34,20	122,04
Presença	172,00	14,95	15,20	29,90	4,78	34,60	118,88
Valor de F							
Dose (D)	1,11 ns	0,78 ns	1,08 ns	1,09 ns	0,62 ns	0,41 ns	0,81 ns
Inoculação (I)	0,04 ns	0,54 ns	0,00 ns	0,20 ns	0,60 ns	0,83 ns	0,08 ns
D x I	0,17 ns	0,37 ns	0,48 ns	0,85 ns	0,19 ns	0,79 ns	0,94 ns
CV (%)	29,76	18,27	13,03	19,67	9,72	17,00	27,96

^{ns} não-significativo

número fileiras por espigas de milho em função da adubação fosfatada. Ainda, Ehteshami *et al.* (2007) verificaram aumento na produção de cariopses de milho com a inoculação de *Pseudomonas fluorescens* associado a micorriza, em condições de deficit hídrico, já a inoculação apenas de *P. fluorescens* não favoreceu a produção de cariopses e componentes de produção.

Os teores médios de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn e proteína em cariopses de milho, não apresentaram variações significativas em função das doses de adubação fosfatada e de inoculação e interação entre estes fatores (Quadro 4). Resultado semelhante foi obtido por Chaves (2011) em que as fontes de fósforo e a inoculação não promoveram incrementos no teor de P nas cariopses. Carneiro *et al.* (2008) também não detetaram diferenças significativas no teor de fósforo em cariopses de milho com a aplicação de 180, 360 e 540 kg ha⁻¹ P₂O₅ das fontes superfosfato triplo e fosfato natural reativo de Arad.

Considerando o potencial do uso de rizobactérias tanto em promover o crescimento quanto em aumentar o rendimento de culturas, insucessos são comuns, como descrevem Freitas e Aguilar Vildoso (2004), em que a atuação da *Pseudomonas fluorescens* foi instável quanto à promoção do crescimento de plantas cítricas. O

maior entendimento das variáveis que provocam influências sobre a colonização das plantas inoculadas com bactérias promotoras do crescimento vegetal e o desenvolvimento de novas formulações e estratégias de inoculação pode levar a obtenção de resultados agronomicamente importantes para a maioria das culturas agrícolas (Hungria *et al.*, 2005).

A influência de fatores edáficos pode dificultar a colonização e o estabelecimento de bactérias inoculadas, que enfrentam microrganismos competidores e predadores melhor adaptados a determinado ambiente de cultivo. Ainda, o nível de fertilidade do solo, na disponibilidade de fósforo, resulta em diferentes respostas do desenvolvimento vegetal e aliado a temperaturas elevadas e estresse hídrico, muitas vezes atuando juntos, tornam os principais fatores ambientais limitantes as etapas da associação microrganismo e planta hospedeira. É, portanto, de extrema importância, a seleção de estirpes que estabeleçam relações mais satisfatórias e estáveis com a planta hospedeira, bem como a identificação de condições ambientais favoráveis. Desse modo é imprescindível dar continuidade a estudos com o uso de rizobactérias promotoras de crescimento vegetal associadas a culturas de cereais como o milho.

Quadro 4 – Conteúdos médios de N, P, K, Ca, Mg, proteína (g planta⁻¹), Fe, Zn, Cu e Mn (mg planta⁻¹) em cariopses de milho provenientes de plantas submetidas a diferentes doses de adubação fosfatada e inoculação das sementes com *Pseudomonas fluorescens*, cultivadas em casa de vegetação.

Causas de variação	Variáveis analisadas									
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	% proteína
Dose (kg ha⁻¹)										
0	2,13	0,58	0,19	0,98	3,57	3,38	5,28	1,32	3,57	11,08
40	2,74	0,81	0,24	1,09	4,2	4,27	5,70	1,29	4,20	11,03
80	2,52	0,81	0,24	1,09	4,23	4,22	5,07	1,39	4,23	11,20
100	2,22	0,75	0,21	0,91	3,66	3,84	4,71	1,22	3,66	10,75
160	2,48	0,77	0,22	1,04	4,26	4,04	5,59	1,42	4,26	11,34
Inoculação										
Sem	2,58	0,75	0,22	1,03	4,01	3,98	5,35	1,37	4,01	11,33
Com	2,31	0,73	0,22	1,02	3,96	4,11	5,19	1,29	3,96	10,87
Valor de F										
Dose (D)	0,50	1,25	0,85	1,39	0,81	0,33	0,53	0,35	0,81	0,16
Inoculação (I)	0,35	0,07	0,13	0,09	0,02	0,17	0,11	0,45	0,02	0,92
D x I	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	31,14	31,67	27,67	18,23	26,57	24,92	29,19	28,44	26,57	13,8

^{ns} não-significativo

Conclusões

A inoculação com *P. fluorescens* associada a adubação fosfatada nas doses de 80 e 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅ favorece a massa de matéria seca de raiz.

O desempenho agrônomico da cultura, os teores de nutrientes e proteína nos grãos de milho não são influenciados pela inoculação com *P. fluorescens* e adubação fosfatada, demonstrando a necessidade de seleção de estirpes que estabeleçam relações mais satisfatórias e estáveis com a planta hospedeira, bem como a identificação de condições ambientais que favoreçam a interação entre planta e bactéria.

Referências Bibliográficas

- Afzal, A. e Bano, A. (2008) - *Rhizobium* and phosphate solubilizing bacteria improve the yield and phosphorus uptake in wheat (*Triticum aestivum*). *International Journal of Agriculture and Biology*, vol.10, n. 1, p. 85-88.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemists (1995) - *Official methods of analysis*. 16^a ed. Washington, D. C.
- Cardoso, I.C.M.; Mariotto, J.R.; Klauberg Filho, O.; Santos, J.C.P.; Felipe, A.F.; Neves, N.A. e Miquelutti, D.J. (2008) - Resposta de milho (*Zea mays* L.) precoce à inoculação de rizobactérias em casa-de-vegetação. In: 28^a Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 12^a Reunião Brasileira sobre Micorrizas, 10^o Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo, 7^a Reunião Brasileira de Biologia do Solo, Londrina. Anais, Fertibio.
- Carneiro, L.F.; Furtini Neto, A.E.; Resende, A.V.; Curi, N.; Santos, J.Z.L. e Lago, F.J. (2008) - Fontes, doses e modos de aplicação de P na interação P-zinco em milho. *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 32, n. 4, p. 1133-1141.
- Chang, S.K.C. - (1998) Protein analysis. In: Nielsen, S.S. (Ed.). *Food analysis*. 2^a ed. Mariland, Chapman and Hall Food Science. p. 237-249.
- Chaves, D.P. (2011) - Fontes de fósforo associadas a rizobactérias do gênero *Pseudomonas* na cultura do milho. Dissertação de Mestrado. Londrina, Universidade Estadual de Londrina. 154 p.
- Ehteshami, S.M.; Aghaalikhani, M.; Khavazi, K. e Chai-chi, M.R. (2007) - Effect of phosphate solubilizing microorganism on quantitative and qualitative characteristics of maize (*Zea mays* L.) under water deficient stress. *Pakistan Journal Biological Sciences*, vol.10, n. 20, p. 3585-3591.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (2006) - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Siste-*

- ma Brasileiro de Classificação de Solos. 2ª ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos. 306p.
- Fallik, E. e Okon, Y. (1996) - The response of maize (*Zea mays*) to *Azospirillum* inoculation in various types of soils in the field. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 12, n. 5, p. 511-515.
- Fankem, H. Ngo Knot, L.; Deubel, A.; Quinn, J.; Merbach, W.; Etoa, F.X. e Nwaga, D. (2008) - Solubilization of inorganic phosphates and plant growth promotion by strains of *Pseudomonas fluorescens* isolated acidic soils of Camerron. *African Journal of Microbiology Research*, vol. 2, n. 7, p. 171-178.
- Freitas, S. e Aguilari Vildoso, C.I. (2007) - Rizobactérias e promoção do crescimento de plantas cítricas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 28, n. 6, p. 987-994.
- Glick, B.R.; Todorovic, B.; Czarny, J.; Cheng, Z.; Duan, J. e Mcconkey, B. (2007) - Promotion of plant growth by bacterial ACC deaminase. *Critical Reviews in Plant Sciences*, vol. 26, n. 5-6, p. 227-242.
- Grant, C.A.; Flaten, D.N.; Tomasiewicz, D.J. e Sheppard, S.C. (2001) - A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. Potafos - Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. *Informações Agronômicas*, vol. 95, p. 1-5.
- Harger, N.; Brito, O.R.; Ralisch, R.; Ortiz, F.R. e Watanabe, T.S. (2007) - Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. *Semina: Ciências Agrárias*, vol. 28, n. 1, p.39-44.
- Harthmann, O.E.L.; Mógor, A.F.; Wordell Filho, J.A. e Luz, W.C. (2010) - Rizobactérias no crescimento e na produtividade da cebola. *Ciência Rural*, vol. 40, n. 2, p. 462-465.
- Hungria, M.; Loureiro, M.F.; Mendes, I.C.; Campo, R.J. e Graham, P.H. (2005) - Inoculant preparation, production and application. In: Werner W & Newton EW (Ed.) *Nitrogen fixation: origins, applications and research progress*. Amsterdam, Springer. p. 223-254.
- Liu, Y. (2004) - Rhizosphere effect and root growth of two maize (*Zea mays* L.) genotypes with contrasting P efficiency at low P availability. *Plant Science*, vol.167, p. 217-223.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C. e Oliveira, A.S. (1997) - *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba, Potafos. 319p.
- Marsaro Júnior, A.L.; Lazzari, S.M.N.; Souza, J.L.; Lazzari, F.A. e Cândido, L.M.B. (2007) - Influência de diferentes sistemas de adubação na composição nutricional do milho *Zea mays* L. (Poaceae) e seus efeitos no ataque de *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) no produto armazenado. *Semina: Ciências Agrárias*, vol. 28, n. 1, p.51-64.
- Novais, R.F.; Neves, J.C.L. e Barros, N.F. (1991) - Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira, A.J.; Garrido, W.E.; Araújo, J.D. e Lourenço, S. (Ed.) - *Métodos de Pesquisa em Fertilidade do Solo*. Brasília, Embrapa. p. 189-255.
- Oliveira, A.L.M.; Urquiaga, S. e Baldani, J.I. (2003) - *Processos e mecanismos envolvidos na influência de microrganismos sobre o crescimento vegetal*. Seropédica, Embrapa Agrobiologia, 40 p.
- Oliveira, M.A.; Zucareli, C.; Spolaor, L.T.; Domingues, A.R. e Ferreira, A.S. (2012) - Desempenho agrônomico do milho sob adubação mineral e inoculação das sementes com rizobactérias. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol.16, n. 10, p. 1040-1046.
- Pan, B.; Bai, Y.M.; Leibovitch, S. e Smith, D.L. (1999) - Plant-growth promoting rhizobacteria and kinetin as ways to promote corn growth and yield in a short-growing-season area. *European Journal of Agronomy*, vol.11, 3. 3-4, p. 179-186.
- Ritchie, S.W.; Hanway, J.J. e Benson, G.O. (1986) - *How a Corn Plant Develops*. Special Report no 48, Ames, Iowa State University of Science and Technology. 21p.
- Riviera-Hernández, B.; Carrillo-Ávila, E.; Obrador-Olaín, J.J.; Juárez-López, J.F. e Aceves-Navarro, L.A. (2010) - Morphological quality of sweet corn (*Zea mays* L.) ears as response to soil moisture tension and phosphate fertilization in Campeche, Mexico. *Agricultural Water Management*, vol. 97, n. 9, p. 1365-1374.
- Rodríguez, H. e Fraga, R. (1999) - Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*, vol. 17, n. 4-5, p. 319-339.
- Tiritan, C.S.; Santos, D.H.; FOLONI, J.S.S. e Alves Júnior R. (2010) - Adubação fosfatada mineral e organomineral no desenvolvimento do milho. *Colloquium Agrariae*, vol. 6, n. 1, p. 8-14.
- Vyas, P. e Gulati, A. (2012) - Organic acid production *in vitro* and plant growth promotion in maize under controlled environment by phosphote-solubilizing fluorescent *Pseudomonas*. *BMC Microbiology*. Disponível em: <<http://www.biomedcentral.com/1471-2180/9/174>>.
- Zaidi, A. e Mohammad, S. (2006) - Co-inoculation effects of phosphate solubilizing microorganisms and *glomus fasciculatum* on green gram-bradyrhizobium symbiosis. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, vol. 30, n. 3, p. 223-230.
- Zucareli, C.; Cil, I.R.; Prete, C.E.C. e Prando, A.M. (2011) - Eficiência agrônômica da inoculação à base de *Pseudomonas fluorescens* na cultura do milho. *Revista Agrarian*, vol.4, n. 13, p. 152-157.