

Biometria e estado nutricional da cultura da aveia branca (*Avena sativa* L.) sob inoculação com *Bacillus subtilis* e *B. megaterium*

Biometrics and nutritional status of white oat (*Avena sativa* L.) culture under *Bacillus subtilis* and *B. megaterium* inoculation

Biometría y estado nutricional del cultivo de avena blanca (*Avena sativa* L.) bajo inoculación de *Bacillus subtilis* y *B. megaterium*

Recebido: 20/04/2021 | Revisado: 29/04/2021 | Aceito: 02/05/2021 | Publicado: 15/05/2021

Alan Francisco dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4940-3586>
Universidade Anhanguera Uniderp, Brasil
E-mail: alan.f.santos@gmail.com

Bianca Obes Corrêa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3827-1407>
Universidade Anhanguera Uniderp, Brasil
E-mail: bianca.obescorreia@yahoo.com.br

Jeferson Klein

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2075-362X>
Biogenesis Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Ltda, Brasil
E-mail: jefersonklein@yahoo.com.br

José Antônio Maior Bono

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9573-9494>
Universidade Anhanguera Uniderp, Brasil
E-mail: bono@educadores.net.br

Luiz Carlos Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2242-5846>
Universidade Católica Dom Bosco, Brasil
E-mail: luizcp.agro@gmail.com

Vandeir Francisco Guimarães

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7117-1905>
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil
E-mail: vandeirfg@yahoo.com.br

Marcos Barbosa Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7594-3631>
Universidade Anhanguera Uniderp, Brasil
E-mail: marbosaf@gmail.com

Resumo

Objetivou-se avaliar repostas da *Avena sativa* L. à inoculação, com isolados de *Bacillus subtilis* e *B. megaterium*. O experimento foi conduzido em solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico no município de Campo Grande, MS. Os tratamentos foram constituídos de cinco doses de inoculante (0, 50, 100, 150, 200 mL) aplicados no sulco de plantio, sendo distribuídos em parcelas experimentais, com as dimensões de 3,0 m x 4,0 m, segundo delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições. Foram avaliados os parâmetros biométricos da planta diâmetro do perfilho e quantidade de perfilho, produção de biomassa fresca e seca da parte aérea, produção de grãos. Na qualidade do produto avaliou-se a bromatologia e os teores de minerais da folha bandeira. As plantas de aveia, apresentaram aumento na taxa de crescimento (TC), diâmetro de perfilho (DP), teores foliar de N, Fe e Cu, proteína bruta (PB), fibra detergente neutro (FDN). A aveia teve seu desempenho favorecido com as doses de inoculante até 125 mL. Observou-se, também, aumento da concentração de proteína na planta de forma concentração-resposta. Conclui-se que, o inoculante à base dos dois isolados das bactérias utilizadas no sulco de plantio, beneficia a produção de aveia.

Palavras-chave: Agricultura; Biologia; Fertilidade do solo; Microrganismos.

Abstract

The aim of this work was to evaluate responses of *Avena sativa* L. to inoculation, with isolates of *Bacillus subtilis* and *B. megaterium*. The experiment was carried out on soil classified as dystrophic Red Latosol in the municipality of Campo Grande, MS. The treatments consisted of five doses of inoculant (0, 50, 100, 150, 200 mL), applied in the planting furrow, being distributed in experimental plots, with the dimensions of 3.0 mx 4.0 m, according to the outline in random blocks with four repetitions. The biometric parameters of the plant were evaluated: tiller diameter and tiller quantity,

fresh and dry shoot biomass production, grain production. The quality of the product evaluated the bromatology and the mineral content of the flag leaf. Oat plants showed an increase in growth rate (TC), tiller diameter (DP), leaf contents of N, Fe and Cu, crude protein (PB), neutral detergent fiber (NDF). The performance of oats was favored with doses of inoculant up to 125 mL. It was also observed an increasing of protein concentration in the plant in a concentration-response fashion. It is concluded that the inoculant based on the two isolates of the bacteria used in the planting furrow, benefits the production of oats.

Keywords: Agriculture; Biology; Soil fertility; Microorganisms.

Resumen

El objetivo fue evaluar las respuestas de *Avena sativa* L. a la inoculación, con aislamientos de *Bacillus subtilis* y *B. megaterium*. El experimento se llevó a cabo en un suelo clasificado como Latosol Rojo distrófico en el municipio de Campo Grande, MS. Los tratamientos consistieron en cinco dosis de inoculante (0, 50, 100, 150, 200 mL, aplicadas en el surco de siembra), distribuyéndose en parcelas experimentales, con las dimensiones de 3.0 mx 4.0 m, según una delimitación en bloques al azar con cuatro repeticiones. Se evaluaron los parámetros biométricos de la planta: diámetro y cantidad de macollos, producción de biomasa de brotes frescos y secos, producción de granos. La calidad del producto evaluó la bromatología y el contenido mineral de la hoja bandera. Las plantas de avena mostraron un aumento en la tasa de crecimiento (TC), diámetro de la macolla (DP), contenido foliar de N, Fe y Cu, proteína cruda (PB), fibra detergente neutra (NDF). El rendimiento de la avena se vio favorecido con dosis de inoculante de hasta 125 mL. También se observó un aumento en la concentración de proteína en la planta en forma concentración-respuesta. Se concluye que el inoculante a base de los dos aislados de la bacteria utilizados en el surco de siembra, beneficia la producción de avena.

Palabras clave: Agricultura; Biología; Fertilidad del suelo; Microorganismos.

1. Introdução

O baixo teor de fósforo (P) dos solos brasileiros caracterizam baixa fertilidade em relação ao ambiente de cultivo para as plantas, além disso, alguns micro-organismos presentes no entorno das raízes (rizosfera) competem pelo fósforo presente no solo, adsorvendo-o, não permitindo que ele seja absorvido pelas plantas (Glick et al., 2007). Somente 20% do total de P aplicado no solo é absorvido pelas plantas por causa de diferentes eventos como, as interações do elemento com a fixação dos minerais de argila, deslocamento por difusão e precipitação com outros elementos químicos, o que torna o custo de produção alto já que a adubação fosfatada acaba tendo baixa eficiência (Quadros et al., 2014).

Diferentes pesquisadores demonstraram a eficiência de bactérias em promover o crescimento de plantas cultivadas, possibilitando a sustentabilidade na agricultura, esse campo de pesquisa é amplo e há contínuo desenvolvimento de novos inoculantes (Zaidi & Khan, 2006; Hernández-León, et al., 2015) para otimizar o uso dos fertilizantes fosfatados uma vez que há esgotamento das reservas mundiais de rochas fosfáticas (Pantano et al., 2016).

As bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP), possibilitam aumento da disponibilidade de nutrientes para as plantas pela solubilização de fosfato inorgânico (Pi) proporcionando o crescimento das raízes, absorção de água e outros nutrientes (Zaidi & Khan, 2006).

No solo, a região da rizosfera é colonizada por diversos grupos de bactérias promotoras do crescimento de plantas, além de estimular o processo de biofertilização e/ou fitoestimulação que podem promover o crescimento de plantas (Kumar et al., 2012). Estes microrganismos atuam na solubilização de fosfato, produção de fito-hormônios, giberelina, citocinina, e ácido indol acético (Saraf et al., 2011).

A solubilização de Pi (Ca-P, Al-P e Fe-P) por bactérias ditas solubilizadoras de fosfato vem se destacando na agricultura. Essas bactérias são capazes de liberar o P em formas assimiláveis pelas plantas, por meio da produção de ácidos orgânicos, ácidos minerais, substâncias húmicas, dentre outras (Pei-Xiang et al., 2012).

As BPCP podem estimular o crescimento da planta pelo acionamento de mecanismos como o controle biológico de patógenos, mineralização de fosfato orgânico (Po) e fixação biológica de N (Rodríguez & Fraga, 1999; Oliveira et al., 2003) e promovem a indução de enzimas de defesa a agentes fitopatogênicos nas plantas (Kavitha et al., 2007). Assim, estudos sobre o uso de inoculantes à base de BPCP são alternativas que busca a sustentabilidade e o melhor aproveitamento da adubação fosfatada

na agricultura (Quadros et al., 2014).

O *Bacillus subtilis* é uma das bactérias mais estudadas, sendo não patogênica aos seres humanos e é considerada formadora de colônias, podendo ser encontrada tanto em ambiente terrestre como aquático (Rineh et al., 2014), formadora de esporos que demonstram resistência a diversas condições ambientais desfavoráveis como calor, radiação ultravioleta, agentes oxidantes, enzimas líticas, solventes, teores elevados de pH, entre outros predadores (Nicholson et al., 2000). De forma semelhante o *B. megaterium* também tem capacidade de solubilizar fosfatos naturais existentes no solo, disponibilizando o P contido nestes materiais, para as plantas (Bergey & Holt, 2000). Essas características fazem destes microrganismos alvos de estudo sobre suas habilidades na área da biotecnologia (Potot et al., 2010).

Neste sentido, o presente trabalho avaliou a biometria e o estado nutricional da aveia branca (*Avena sativa* L.), semeadas com inoculante à base de isolados de *Bacillus subtilis* e *B. megaterium*.

2. Metodologia

O experimento foi realizado em solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico, localizada nas coordenadas geográficas 20°26'34" latitude Sul e 54°38'47" longitude Oeste, altitude média de 508 m e suas características química e física (Tabela 1) foram determinadas conforme descrito no Manual de métodos de análise de solo (EMBRAPA, 2009).

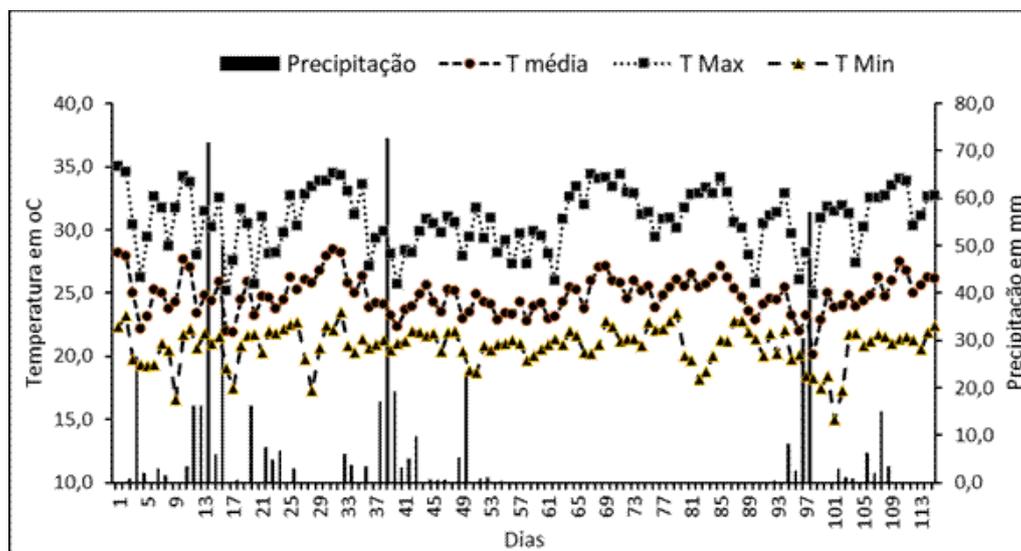
Tabela 1. Análise química do solo coletado na área experimental.

pH água	pH CaCl ₂	P	K	Ca	Mg	H	A	M.O	SB	CTC pH 7,0	V	Argila	Silte	Areia
		mg dm ⁻³		cmol+ dm ⁻³				g dm ⁻³		cmol+ dm ⁻³	%		g kg ⁻¹	
5,7	5,2	13	180	2,8	1,2	3,7	0	29,8	4,4	8,2	54	490	130	830

Fonte: Autores.

O clima da região, é classificado como tipo tropical Cwa, segundo a classificação de Köppen, com estação seca e chuvosa bem definida e temperaturas média em torno de 25° C e as condições climáticas no período experimental registrada encontra-se na Figura 1.

Figura 1. Valores médios das temperaturas médias diárias, máxima e mínima e precipitação diária acumulada no período experimental.



Fonte: CEMTEC (2019).

Os tratamentos foram constituídos de cinco doses (0, 50, 100, 150 e 200 mL ha⁻¹) de um inoculante em fase de registro à base de isolados bacterianos das espécies *Bacillus megaterium* (B119) e *B. subtilis* (B2084) combinados. Utilizou-se adubação básica para todos os tratamentos: 50 kg P₂O₅ ha⁻¹ da fonte superfosfato triplo e 20 kg de N ha⁻¹ da fonte ureia aplicados no sulco de plantio e 40 kg de N ha⁻¹ aplicados 30 dias após emergência. As sementes da cultivar IPR 126 IAPAR de aveia forrageira foram tratadas de acordo com as recomendações do fabricante antes da semeadura. Para os experimentos no campo foram seguidos os procedimentos descritos no protocolo da Rede de Laboratórios para Recomendação, Padronização e Difusão de Tecnologia de Inoculantes Microbianos de Interesse Agrícola (RELARE), conforme Castro (2019).

A semeadura foi realizada em 30 de março de 2018 de forma manual, na profundidade de 0,02 a 0,04 m em linhas espaçadas de 0,20 m, distribuindo-se 80 sementes por metro linear no sulco da cultivar, totalizando 400 sementes por m². As parcelas experimentais tiveram as dimensões de 3 m x 4 m e os tratamentos distribuídos segundo o delineamento de blocos casualizados com quatro repetições.

As avaliações foram realizadas na área útil com dimensões de 1 m x 1 m (1 m²) no centro da parcela. A altura das plantas foi medida da superfície do solo até a extremidade da folha bandeira do maior perfilho da planta, quinzenalmente, após semeadura até 60 dias (início do florescimento). Com os dados de altura e tempo de avaliação, através da relação entre essas variáveis, determinou-se a taxa de crescimento em cm dia⁻¹.

Quando as plantas apresentaram 50% de seu florescimento coletou-se a lâmina foliar das folhas bandeira, que foram secas em estufa de circulação de ar forçado a 65 °C e moídas em moinho do tipo Wiley, para determinação dos teores de minerais e da análise bromatológica.

A partir de extratos nítrico-perclóricos foram avaliados o P, por colorimetria; os elementos K, Ca e Mg por fotometria de chama e o N total pelo método semimicro Kjeldahl segundo metodologia de Malavolta et al. (1997).

A análise bromatológica foi realizada por meio da matéria seca (MS), matéria orgânica (MO) e proteína bruta (PB), segundo metodologias descritas por Silva e Queiroz (2006). A avaliação de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), foi realizada segundo metodologias descritas por Van Soest (1965) e para digestibilidade in vitro (DIV), adotou-se a técnica descrita por Tilley e Terry (1963) adaptada ao Rúmen Artificial, desenvolvida pela ANKOM®, conforme descrito por Holden (1999), utilizando-se a metodologia do fermentador ruminal (incubadora anaeróbica, modelo MA443,

Marconi).

Aos 110 dias da semeadura, coletaram-se todas as partes aéreas da área útil das parcelas, determinando-se a quantidade de perfilho e o diâmetro ao nível do solo e, em seguida separaram-se os grãos do material vegetal, obtendo-se a massa de grãos e a massa fresca parte aérea (MFFPA), em seguida, a massa fresca foi dessecada em estufa de ar forçado a 65 °C por 24h sendo novamente pesada para obtenção da massa seca da parte aérea (MSPA).

Os dados foram submetidos à análise de variância ($P < 0,05$) e quando significativos, foram submetidos à análise de regressão de Pearson, além de regressão simples para a análise da taxa de crescimento utilizando o pacote estatístico *Statistical Analysis System* (SAS® 9.1. Cary).

3. Resultados e Discussão

A altura das plantas, avaliadas do período da semeadura ao florescimento (60 dias), não apresentou efeito significativo até 30 dias. No entanto, a partir dos 45 e 60 dias foi possível observar o efeito significativo do grupo que recebeu o inoculante (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios da altura (cm) da planta da aveia branca oriundas de sementes tratadas com doses de inoculante à base de *Bacillus subtilis* e *B. megaterium*.

Dose (mL ha ⁻¹)	Dias após semeadura			
	15	30	45	60
	cm			
0	11,06	35,52	59,83	77,04
50	13,07	39,35	65,63	83,68
100	12,33	39,55	67,13	84,24
150	11,49	38,78	66,00	83,38
200	12,25	37,85	63,50	85,93
Valor de F	1,208	1,761	2,356	2,264
Pr > F	0,246	0,147	0,0351	0,0427
CV%	24,6	23,1	27,6	25,9

Fonte: Autores.

O inoculante utilizado proporcionou incremento na taxa de crescimento, passando de 1,29 cm dia⁻¹ médio, sem o inoculante, para 1,40 cm dia⁻¹ médio quando comparado com tratamentos com o inoculante, ou seja, incremento de 9,3%, até a dose de 125 mL ha⁻¹.

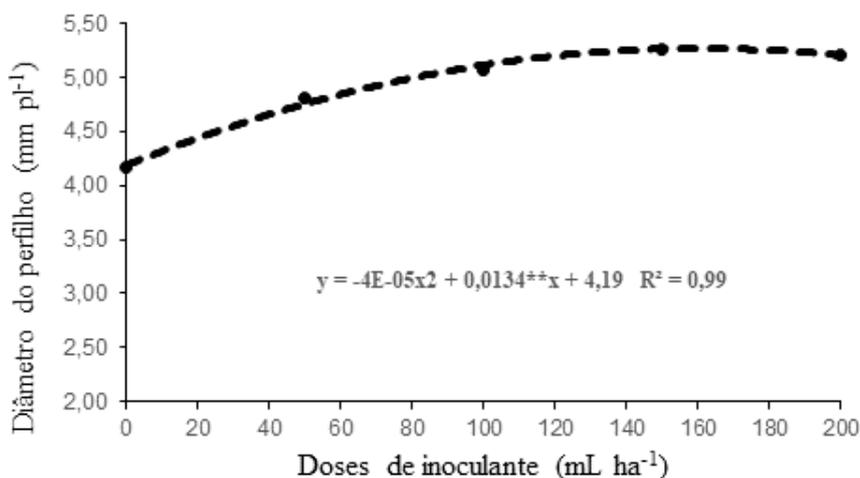
No presente trabalho, no estabelecimento inicial da cultura, não foram observados incrementos, no entanto, aos 60 dias, observou-se aumento médio de 79,04 cm do tamanho das plantas que receberam o tratamento com inoculante. Este aumento do crescimento das plantas onde foram utilizados os tratamentos com inoculante justifica-se porque bactérias do gênero *Bacillus*, segundo Araújo e Hungria (1999), apresentam diferentes habilidades que incluem a produção de fito-hormônios, possibilitando a emissão de pelos radiculares e desenvolvimento das raízes, e neste mesmo sentido Manjula e Podile (2005) indicaram que a capacidade de produção de fito-hormônios também desencadeia atividades fisiológicas relacionadas às redes de sinalizações das raízes com o ambiente externo, facilitando a percepção e absorção de nutrientes.

Estes dados confirmam os de Ongena et al. (2005) que relataram o tratamento de sementes com um isolado de *B. subtilis* proporcionou a promoção do crescimento de plantas de aveia possibilitando rápida germinação, emergência e crescimento das plantas fazendo com que elas atingissem o estágio adulto mais rapidamente, permanecendo menos tempo no campo.

No entanto, com o aumento na taxa de crescimento observou-se o aumento do diâmetro, reduzindo o número e de

perfilhos com o uso do inoculante (Figura 2), tendo seu ponto de máxima na dose de 167,5 mL ha⁻¹.

Figura 2. Diâmetro do perfilho da aveia branca (*Avena sativa* L.) em função da concentração de inoculante à base de *Bacillus megaterium* (B119) e *B. subtilis* (B2084).



Fonte: Autores.

Com relação a biometria das plantas, observou-se efeito do inoculante, para as variáveis diâmetro de perfilhos e produtividade, como pode ser observado na (Tabela 3).

Tabela 3. Médias do diâmetro de perfilho, número de perfilhos, massa seca da parte aérea (MSPA) e produtividade de grãos de plantas oriundas de sementes tratadas com doses de inoculante à base de *B. subtilis* e *B. megaterium*.

Dose (mL ha ⁻¹)	Diâmetro do perfilho (mm)	Número de Perfilhos planta ⁻¹	MSPA	Produtividade de grãos (Kg ha ⁻¹)
0	4,167	21,750	8,848	1,198
50	4,818	17,000	8,515	1,638
100	5,072	16,000	9,137	1,777
150	5,261	17,250	9,018	1,688
200	5,211	18,000	8,783	1,767
Média	4,93	18,08	8,61	1,570
Valor de F	2,871	3,279	1,841	3,124
Pr > F	0,0235	0,0124	0,179	0,013
CV%	27,6	28,3	32,1	29,4

Fonte: Autores.

O valor médio de MSPA foi de 8,61 kg ha⁻¹ em único corte, superior aos 4,35 kg ha⁻¹ na soma de quatro cortes registrados por Demétrio et al. (2012).

O diâmetro do perfilho teve efeito positivo, passando de 4,17 mm, sem inoculante para o valor médio de 5,08 mm, ou seja, um incremento de 22%, proporcionando a redução do número de perfilhos sem comprometer a MSPA.

A produtividade de grãos passou de 1,198 kg ha⁻¹, sem o inoculante para a média de 1,645 kg ha⁻¹ com inoculante, proporcionando incremento de 37%, indicando efeito positivo do tratamento de sementes com o inoculante à base de *B. subtilis* e *B. megaterium*.

Na avaliação dos teores de macro e micronutrientes na folha bandeira, observaram-se efeitos significativos ($P < 0,05$) para os nutrientes P, S Fe e Zn (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios dos teores dos minerais da lâmina foliar da folha bandeira da aveia com doses de inoculante à base de isolados de *B. subtilis* e *B. megaterium*.

Dose mL ha ⁻¹	Ca	Mg	K	P	S	N	B	Fe	Zn	Cu	Mn
	----- g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----				
0	3,57	1,14	45,01	2,27	3,94	41,6	12,21	89,42	38,75	52,71	108,50
50	4,13	0,99	43,65	2,54	4,57	44,0	8,74	88,00	44,38	46,88	95,75
100	3,61	1,09	45,17	2,46	4,33	41,3	9,46	90,38	46,13	44,38	116,75
150	3,07	1,33	45,59	2,58	4,45	44,7	12,87	76,88	46,75	46,00	95,88
200	2,72	1,08	42,90	2,35	3,94	44,2	17,86	82,00	43,75	45,50	117,38
Média	3,42	1,13	44,46	2,44	4,25	4,32	12,23	85,34	43,95	47,09	106,85
Valor de F	2,34	1,23	1,09	3,53	2,58	1,25	2,14	2,45	3,14	1,67	1,67
Pr > F	0,071	0,156	0,147	0,016	0,036	0,231	0,312	0,017	0,002	0,274	0,121
CV%	22,8	18,3	23,7	19,7	24,5	27,9	35,2	32,4	27,6	31,7	29,3

Fonte: Autores.

Comparando-se os teores de nutrientes no tecido foliar da aveia, a sequência de extração de nutrientes obedeceu à seguinte ordem para macro nutrientes K>N>S>Ca>P>Mg e Mn>Fe>Cu>Zn>B para os micros nutrientes.

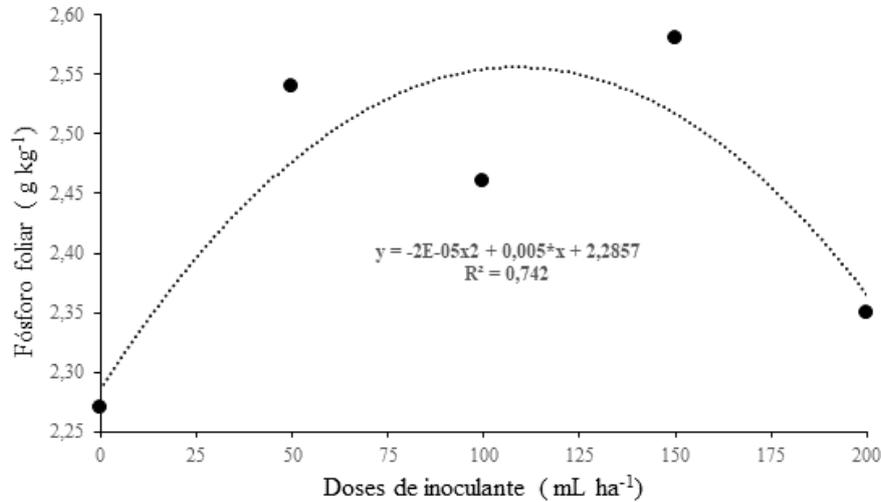
Analisando-se os valores médios de P do tratamento sem inoculante (2,27 g kg⁻¹) com o valor médio dos que receberam o inoculante (2,48 g kg⁻¹), constatou-se que houve efeito positivo na absorção do elemento pela planta. Este valor está acima dos registrados por Nakagawa et al. (2009), em ensaios com adubação fosfata convencional em aveia, que encontraram, na folha bandeira, valores de 2,14 g kg⁻¹. Os nutrientes S e Zn também seguiram a mesma tendência que o P, aventa-se que o inoculante potencializa a capacidade da planta em absorver estes nutrientes, uma vez que a presença de colonização radicular por bactérias do gênero *Bacillus* aumenta a área de exploração radicular como já foi indicado por Manjula e Podile (2005).

A taxa de crescimento da aveia nos tratamentos onde houve adição do inoculante está diretamente relacionada, pois a quantidade de N utilizado no estudo (20 kg ha⁻¹ no sulco de plantio e 40 kg ha⁻¹ em cobertura) não seria suficiente para atender à demanda da planta, pois conforme afirmam Mundstock e Bredemeier (2001), o N exerce forte influência na formação e desenvolvimento dos perfilhos no crescimento inicial da cultura.

Primavesi et al. (2002) constataram que o P e o N foram os nutrientes que mais limitaram o estabelecimento, a produção de matéria seca e o perfilhamento de aveia. A redução dos perfilhos com uso do inoculante, foi compensada pelo aumento do seu diâmetro médio.

Considerando que o P desempenha importante papel no desenvolvimento radicular e no perfilhamento das gramíneas, o valor de 13 mg dm⁻³ de P disponível no solo deste estudo, estaria acima do nível crítico sugerido por Ribeiro et al. (1999) de 12 mg dm⁻³. No entanto, quando se avaliaram os teores foliares desse elemento, observou-se maior acúmulo com o uso do inoculante nas amostras de plantas que as sementes foram tratadas com o inoculante (Figura 3).

Figura 3. Concentração de fósforo foliar nas folhas bandeira de plantas de aveia branca (*Avena sativa* L.) em função da concentração de inoculante à base de *Bacillus megaterium* (B119) e *B. subtilis* (B2084).



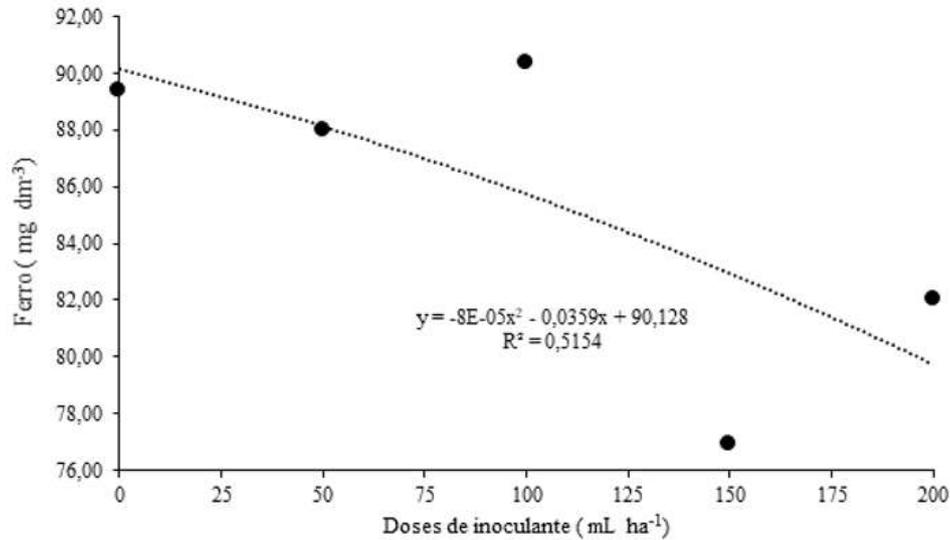
Fonte: Autores.

A importância do P para a sobrevivência é tal, que a planta desenvolve mecanismos de adaptação para melhorar seu acesso aos estoques do mineral (Hoppo et al., 1999). A concentração de Pi na solução do solo geralmente é baixa, porque ele é rapidamente adsorvido nas superfícies dos colóides do solo ou é precipitado como fosfatos de cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe) e alumínio (Al). O P no solo se move, basicamente, por difusão até as raízes, sendo o fator mais limitante na absorção do mineral pelas plantas (Novais et al., 2007).

Portanto, o P é praticamente imóvel no solo e os isolados bacterianos estariam favorecendo a absorção pelas plantas de aveia além de outras espécies vegetais estudadas corroborando com Luz (2001) que, ao estudar plantas de trigo, relata que o *B. subtilis* é uma das principais rizobactérias para o crescimento da planta, influenciando positivamente a germinação, desenvolvimento e rendimento da cultura devido à produção de substâncias promotoras de crescimento e melhoria na nutrição de plantas, mesmo sob estresse (Yang et al., 2009), principalmente pela solubilização de fósforo, além de diferentes nutrientes, síntese de fito-hormônios, aumento da fixação de nitrogênio e melhoria das condições do solo (Manjula & Podile, 2005).

Os teores de Ferro (Fe), no tecido foliar, reduziram com uso do inoculante (Figura 4), fato que pode estar relacionado com as bactérias estarem competindo com a planta por esse mineral.

Figura 4. Concentração de ferro foliar na folha bandeira da aveia branca (*Avena sativa* L.) em função da concentração de inoculante à base de *Bacillus megaterium* (B119) e *B. subtilis* (B2084).



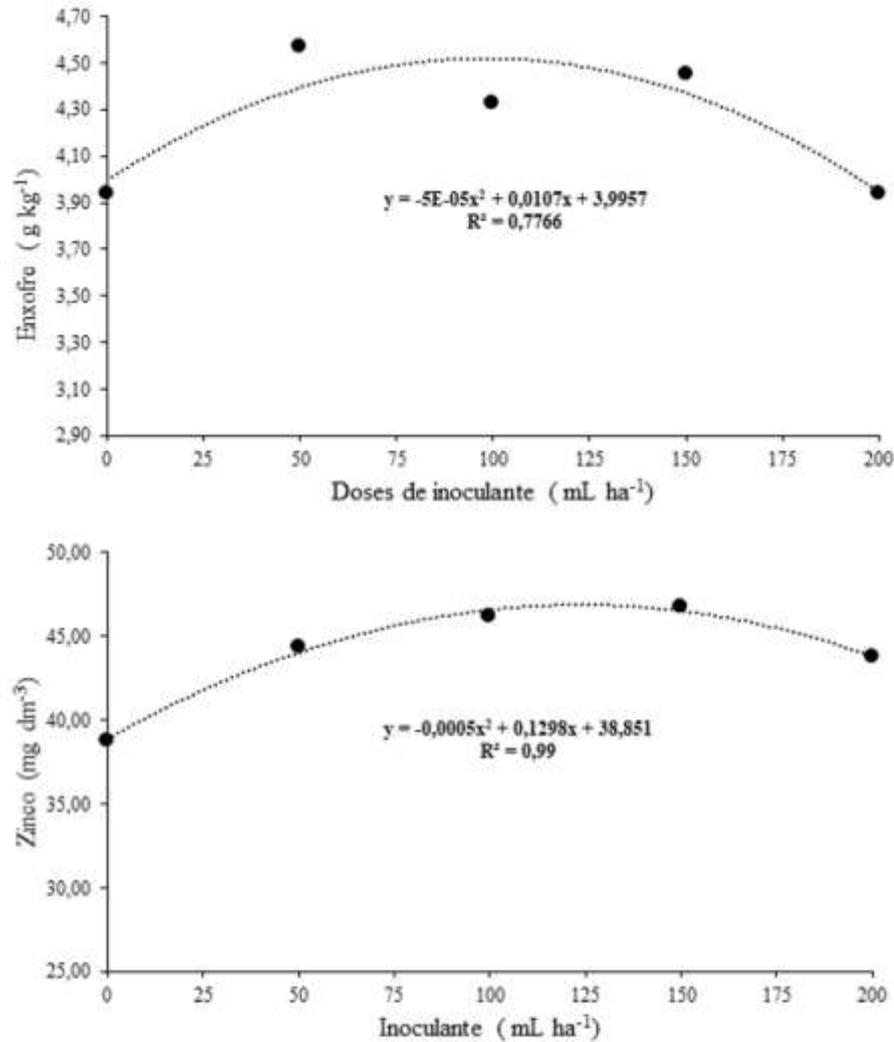
Fonte: Autores.

Os teores de ferro, no solo estudado, são altos, no entanto, o elemento não está biodisponível em ambientes aeróbios devido à baixa solubilidade do Fe³⁺ (Storey et al., 2006). Assim, para contornar a baixa solubilidade, microrganismos e plantas desenvolveram estratégias para assimilar o elemento presente na rizosfera com a produção de moléculas de baixa massa molecular, conhecidos como sideróforos (Fedrizzi, 2006), que são compostos orgânicos produzidos por bactérias, fungos e plantas gramíneas formando complexos (quelatos) que demonstram muita afinidade com o ferro (Reichard, 2005). Quando excretados para o meio extracelular, os sideróforos captam o ferro com grande facilidade, formando complexos ferro-sideróforos. A biossíntese destes compostos é tipicamente regulada pelo nível de Fe³⁺ no ambiente onde o organismo está localizado (Hood & Sakkar, 2012).

A redução na absorção de Fe observada no tecido foliar, pode estar associada à formação de biofilmes bacterianos que demandam a aquisição de complexos de sideróforos de Fe que podem passar a competir com a planta pelo elemento (Anupa et al., 2007).

Ao contrário do que aconteceu com o Fe, os teores de S e Zn também aumentaram no tecido foliar com o uso do inoculante (Figura 5).

Figura 5. Concentração de enxofre e zinco foliar na folha bandeira da aveia branca (*Avena sativa* L.) em função da concentração do inoculante à base de *Bacillus megaterium* (B119) e *B. subtilis* (B2084).

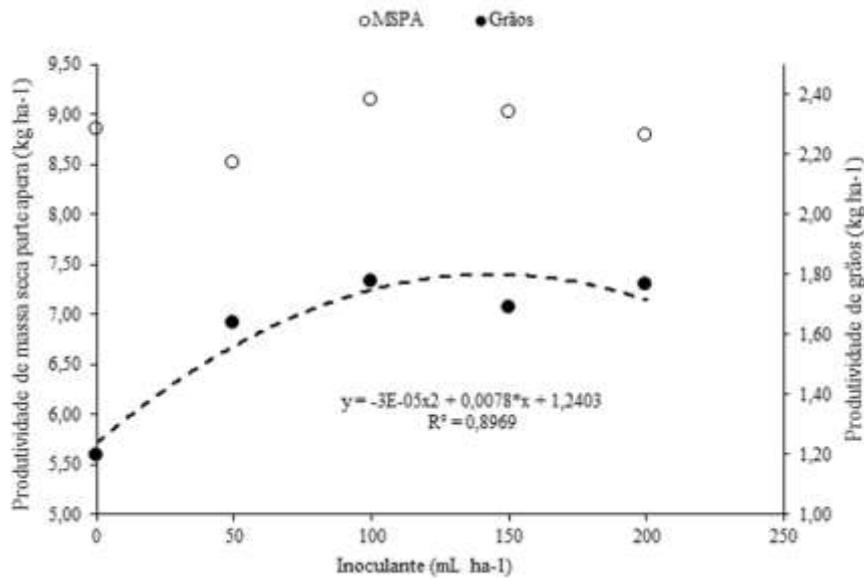


Fonte: Autores.

Pode haver inibições competitivas entre cobre e os nutrientes Zn e Fe (Malavolta et al., 1997), ou seja, a redução da disponibilidade de Fe, estaria favorecendo a absorção de Zinco, pelo fenômeno de deslocamento de íons dos sítios de troca (Mengel & Kirkby, 2001).

Considerando a melhoria nutricional da aveia para P, S e Zn, não se observou efeito significativo para a produtividade da massa seca da parte aérea (MSPA), mas sim sobre a de grãos (Figura 6).

Figura 6. Produtividade da massa seca da parte aérea (MSPA), e produtividade de grãos de aveia branca (*Avena sativa* L.) em função da concentração do inoculante à base de *Bacillus megaterium* (B119) e *B. subtilis* (B2084).



Fonte: Autores.

As condições climáticas foram adequadas até aos 55 dias da sementeira, quando houve um período de déficit hídrico perdurando até aos 95 dias, nesse contexto, o período de enchimento de grãos ocorreu durante o déficit hídrico da cultura, nesta fase os nutrientes móveis na planta, como N, P e K, podem ter sido remobilizados das folhas para os grãos.

Estes aspectos de mobilização de nutrientes são abordados nos trabalhos de Hoppe et al. (1999) e de Nakagawa et al. (2009) que observaram que apenas 45% do P total da parte aérea tinha sido absorvido até o florescimento. À medida que as plantas se desenvolviam, o P era removido das folhas e caules e direcionado para os grãos. Outro fato a se destacar, seria a eficiência do inoculante utilizado em suprir P às plantas em período de deficiência hídrica. Corroboram essa afirmação os autores Yang et al. (2009), que abordam a importância de bactérias deste gênero como potenciais agentes mitigadores de estresse abiótico em diferentes culturas.

A análise bromatológica (Tabela 5) revelou que houve resposta das plantas que receberam o inoculante na produção de proteína bruta (PB) e a fibra de detergente neutro (FDN).

Tabela 5. Médias dos teores para digestibilidade in vitro (DIVMS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), matéria orgânica (MO) e fibra em detergente ácido (FDA) da aveia com doses de inoculante à base de isolados de *B. subtilis* e *B. megaterium*.

Dose mL ha ⁻¹	DIVMS	PB	FDN	MO	FDA
	%				
0	93,47	21,38	48,42	88,99	21,15
50	92,63	22,17	43,74	88,51	20,87
100	91,49	23,13	44,98	88,16	20,58
150	91,84	22,66	45,44	89,07	20,97
200	90,37	23,93	45,15	88,84	21,67
Média	91,96	22,65	45,55	88,71	21,05
Valor de F	1,026	2,891	3,425	1,247	1,256
Pr > F	0,257	0,0132	0,0109	0,347	0,269
CV%	22,3	26,7	27,9	19,5	24,7

Fonte: Autores.

O teor médio de PB para o tratamento sem inoculante foi de 21,38% e a média com os tratamentos com inoculante foi de 22,97%, evidenciando o efeito das bactérias no aumento da proteína bruta em plantas de aveia.

Estes valores, estão relativamente elevados em comparação aos descritos na literatura. Cecato et al. (2001) avaliaram genótipos de *Avena spp.* e observaram 13,3 a 18,3% de PB na MS. A ação das bactérias contidas no inoculante, poderia estar associada à solubilização de fosfato e fixação de nitrogênio, consequentemente aumentando o valor proteico na planta, apesar de não haver aumento significativo do N no tecido foliar. Esses resultados têm grande importância no uso da aveia produzida com o inoculante na alimentação animal que é carente de alimentos com altos níveis de PB e de boa digestibilidade, exigidos para melhor eficiência na produção de proteína animal.

Os maiores valores de FDN foram obtidos no tratamento sem o inoculante, indicando que este isolado tem efeito na redução do FDN, consequentemente melhorando a digestibilidade da MS. No entanto, a DIVMS, MO e FDA não acompanharam a mesma tendência da PB e FDN.

4. Conclusão

O inoculante estudado é eficiente para a produtividade de grãos, para o aumento do teor de proteína bruta e para a melhoria de digestibilidade da fibra vegetal da *Avena sativa* L. em dosagens acima de 150 mL ha⁻¹.

Referências

- Anupa, N., Asha, J. A. & Sanjeev, S. K. (2007). Production and Characterization of Siderophores and its Application in Arsenic Removal from Contaminated Soil. *Water Air and Soil Pollution*, 180(4), 1999-2012. <https://doi.org/10.1007/s11270-006-9263-2>.
- Araujo, F. F. & Hungria, M. (1999). Nodulação e rendimento de soja, co-infectada com *Bacillus subtilis*, *Bradyrhizobium japonicum*/ *Bradyrhizobium elkanii*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34(5), 1633-1643. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999000900014>.
- Bergey, D. H., & Holt, J. G. (2000). *Bergey's manual of determinative bacteriology*. (9th ed.), Lippincott Williams & Wilkin. <https://doi.org/10.1038/162833a0>.
- Castro, J. R. P. (2019). Panorama do Uso de Inoculantes no Brasil. Perspectivas e Desafios. In: XIX RELARE, 2019, Foz do Iguaçu. *Anais... Foz do Iguaçu: ANPIL*. 21-24.
- Cecato, U., Rêgo, F. C. A., Gomes, J. A. N. Canto, M. W. Jobim, C. C. Coneglian, S. & Moreira, F. B. (2001). Produção e composição química em cultivares e linhagens de aveia (*Avena spp.*). *Acta Scientiarum*, 23(4), 775-780. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v23i0.2578>.
- CEMTEC – Centro de monitoramento de Tempo, do Clima e dos Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul, Campo Grande – MS, <http://www.cemtec.ms.gov.br/>.
- Demétrio, J. V., Costa, A. C. T. & Oliveira, P. S. R. (2012). Produção de biomassa de cultivares de aveia sob diferentes manejos de corte. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 42(2)2, 198-205. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000200011>.

- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2009). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Fábio Cesar da Silva (Ed. Técnico) (2a ed.), Embrapa Informação Tecnológica, 627.
- Fedrizzi, S. M. G. (2006). Produção de metabólitos antimicrobianos e sideróforos de isolados provenientes de Terra Preta Antropogênica da Amazônia Ocidental. 117pp. Tese (Doutorado em Ciências) - *Universidade de São Paulo*. 10.11606/T.64.2006.tde-20032007-081838.
- Glick, B. R., Cheng, Z., Czarny, J. & Duan, J. (2007). Promotion of plant growth by ACC deaminase - producing soil bacteria. *European Journal of Plant Pathology*, 119(3), 329-339. <https://doi.org/10.1080/07352680701572966>.
- Hernández-León, R., Rojas-Solís, D., Contreras-Pérez, M., Orozco-Mosqueda, M. C., Macías-Rodríguez, L. I., Reyes, L. C. H., Valencia-Cantero, C. E. & Santoyo, G. (2015). Characterization of the antifungal and plant growth - promoting effects of diffusible and volatile organic compounds produced by *Pseudomonas fluorescens* strains. *Biological Control*. 81(1), 83-92. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.11.011>.
- Holden, L. A. (1999). Comparison of methods of in vitro dry matter digestibility for ten feeds. *Journal of Dairy Science*, 82(8), 1791-1794. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75409-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75409-3).
- Hood, M. I. & Skaar, E. P. (2012). Nutritional immunity: transition metals at the pathogen - host interface. *Nature Reviews Microbiology*, 10(8), 525-537. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2836>.
- Hoppo, S. D., Elliot, D. E. & Reuter, D. J. (1999). Plant tests for diagnosing phosphorus deficiency in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 39, 857-872. <https://doi.org/10.1071/EA99029>.
- Kavitha, J., Jonathan, E. I. & Umamaheswari, R. (2007). Field application of *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis* and *Trichoderma viride* for the control of Meloidogyne incognita in sugarbeet. *Journal of Biological Control*, 21(2), 211-215. <https://doi.org/10.18311/JBC/2007/3851>.
- Kumar, K. V. K., Yellareddygar, S. K. R., Reddy, M. S., Klopper, J. W., Lawrence, K. S., Zhou, X. G., Sudini, H., Groth, D. E., Raju, S. K. & Miller, M. E. (2012). Efficacy of *Bacillus subtilis* MBI 600 against sheath blight caused by *Rhizoctonia solani* and on growth and yield of rice. *Rice Science*, 19(1), 55-63. [https://doi.org/10.1016/S1672-6308\(12\)60021-3](https://doi.org/10.1016/S1672-6308(12)60021-3).
- Luz, W. C. (2001). Evaluation of plant growth - promoting and bioprotecting rhizobacteria on wheat crop. *Fitopatologia Brasileira*, 26(3), 597-600. <https://doi.org/10.1590/S0100-41582001000300003>.
- Malavolta, E., Vitti, G. C. & Oliveira, S. A. de. (1997). *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. POTAFOS.
- Manjula, K. & Podile, A. R. (2005). Increase in Seedling Emergence and Dry Weight of Pigeon Pea in the Field with Chitin-Supplemented Formulations of *Bacillus subtilis* AF 1. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 21(7), 1057-1062. <https://doi.org/10.1007/s11274-004-8148-z>.
- Mengel, K. & Kirkby, E. A. (2001). Effect of split application of potassium on growth, yield and potassium accumulation by soybean. *Fertility Research*, 39(3), 217-222. <https://doi.org/10.1007/BF00750249>.
- Mundstock, C. M. & Bredemeier, C. (2001). Disponibilidade de nitrogênio e sua relação com o afilamento e o rendimento de grãos de aveia. *Ciência Rural*, 31(2), 205-211. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000200003>.
- Nakagawa, J., Crusciol, C. A. C. & Zucareli, C. (2009). Teores de nutrientes da folha bandeira e grãos de aveia-preta em função da adubação fosfatada e potássica. *Semina: Ciências Agrárias*, 30(4), 833-840. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052005000300014>.
- Nicholson, W. L., Mu-Nakata, N., Horneck, G., Melosh, H. J. & Setlow, P. (2000). Resistance of *Bacillus* endospores to extreme terrestrial and extraterrestrial environments. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 64(3) 548-572. <https://doi.org/10.1128/MMBR.64.3.548-572.2000>.
- Novais, R. F., Smyth, T. J. & Nunes, F. N. (2007). Fósforo, I. N. Fertilidade do solo, ed. Novais, R. F., Alvarez V. V. H., Barros, N. F. de, Fontes, R. L. F., Cantarutti, R. B., & Lima, J. C. *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*. <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/14671/1/12.pdf>.
- Oliveira, A. L. M., Urquiaga, S. & Baldani, J. I. (2003). Processos e mecanismos envolvidos na influência de microrganismos sobre o crescimento vegetal. *Embrapa Agrobiologia*, 161(40). <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAB-2010/28064/1/doc161.pdf>.
- Ongena, M., Duby, F., Jourdan, E., Beaudry, T., Jadin, V., Dommès, J. & Thonart, P. (2005). *Bacillus subtilis* M4 decreases plant susceptibility towards fungal pathogens by increasing host resistance associated with differential gene expression. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 67(5) 692-698. <https://doi.org/10.1007/s00253-004-1741-0>.
- Pantano, G., Grosseli, G. M., Mozeto, A. A. & Fadini, P. S. (2016). Sustentabilidade no uso do fósforo: uma questão de segurança hídrica e alimentar. *Química Nova*, 39(1), 732-740. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20160086>.
- Pei-Xiang, Y., Li, M. A., Ming-Hui, C., Jia-Quin, X., Feng, H. E., Chang-Qun, D., Ming-He, M., Dun-Huang, F., Yan-Qing, D. & Fa-Xiang, Y. (2012). Phosphate solubilizing ability and phylogenetic diversity of bacteria from phosphorus rich soils around Dianchi lake drainage area of China. *Pedosphere*, 22(5), 707-716. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(12\)60056-3](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(12)60056-3).
- Potot, S., Serra, C. R., Henriques, A. O. & Schyns, G. (2010). Display of recombinant proteins on *Bacillus subtilis* spores, using a coat-associated enzyme as the carrier. *American Society for Microbiology Journals*. 76(17), 5926-5933. <https://doi.org/10.1128/AEM.01103-10>.
- Primavesi, A. C., Primavesi, O., Cantarella, H., Godoy, R. & Vivaldi, L. J. (2002). Adubação de aveia em dois sistemas de plantio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 37(12), 1773-1778. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002001200014>.
- Quadros, P. D., Roesch, L. F. W., Silva, P. R. F., Vieira, V. M., Roehrs, D. D. & Camargo, F. A. O. (2014). Desempenho agrônomo a campo de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*. *Revista Ceres*, 61(2), 209-218. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2014000200008>.

- Reichard, P. U. (2005). Effects of microbial and plant siderophore ligands on the dissolution of iron oxides. 189. Tese (Doutorado em Ciências Naturais). *Swiss Federal Institute of Technology*, Zurich. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-004937932>.
- Ribeiro, A. C., Guimarães, P. T. G. & Alvarez, V. H. (1999). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 360.
- Rineh, A., Kelso, J., Michael, V., Fatma, T., George, H. & Michael, P. (2014). Clostridium difficile infection: Molecular pathogenesis and novel therapeutics. *Expert review of anti-infective therapy*. 12(1), 131-50. <https://doi.org/10.1586/14787210.2014.866515>.
- Rodriguez, H. & Fraga, R. (1999). Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*, 17(5), 319-339. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(99\)00014-2](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(99)00014-2).
- Saraf, M., Rajkumar, S. & Saha, T. (2011). Perspectives of PGPR in agri-ecosystems. *Springer*, 1(4), 361-385. https://doi.org/10.1007/978-3-642-18357-7_13.
- SAS - Statistical Analysis System [SAS]. (2004). *STAT user's guide: statistics*. Version 9.1. Cary, NC: Statistical Analysis System Institute Inc., 1057 https://www.sas.com/pt_br/trials.html.
- Silva, D. J. & Queiroz, C. (2006). *Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos*. (3a ed.), UFV, 235.
- Storey, S. P., Boghazian, R., Little, J. L., Lowman, D. W. & Chakraborty, R. (2006). Characterization of 'Schizokinen', a dihydroxamate - type siderophore produced by *Rhizobium leguminosarum* IARI 917. *Biometals* 19(6), 637-649. <https://doi.org/10.1007/s10534-006-9001-7>.
- Tilley, J. M. A. & Terry, R. A. (1963). A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Journal British Grassland Society*, 18(2), 104-111. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x>.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. D. & Lewis, B. A. (1965). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).
- Yang, J., Kloepper, J. W. & Ryu, C. M. (2009). Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends in Plant Science*, 14(1), 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.10.004>.
- Zaidi, A., & Khan, M. S. (2006). Co-inoculation Effects of Phosphate Solubilizing Microorganisms and *Glomus fasciculatum* on Green Gram-*Bradyrhizobium* Symbiosis. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30(3), 223-230. <https://dergipark.org.tr/pub/tbtkagriculture/issue/11621/138452>.