

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

**DEISE CADORIN VITTO**

**INTERAÇÃO ENTRE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO  
VEGETAL E FERTILIZAÇÃO COM CAMA DE FRANGO NA CULTURA DO  
MILHO**

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PARANÁ  
2023**

**DEISE CADORIN VITTO**

**INTERAÇÃO ENTRE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO  
VEGETAL E FERTILIZAÇÃO COM CAMA DE FRANGO NA CULTURA DO  
MILHO**

Tese apresentada a Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do Título de Doctor Scientiae.

Orientador: Prof. Dr. Vandeir Francisco Guimarães

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PARANÁ  
2023**

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Cadorin Vitto, Deise  
INTERAÇÃO ENTRE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO  
VEGETAL E FERTILIZAÇÃO COM CAMA DE FRANGO NA CULTURA DO  
MILHO MARECHAL / Deise Cadorin Vitto; orientador Vandeir  
Francisco Guimarães; coorientador Paulo Sérgio Rabello de  
Oliveira. -- Marechal Cândido Rondon, 2023.  
97 p.

Tese (Doutorado Campus de Marechal Cândido Rondon) --  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências  
Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2023.

1. Adubação orgânica. 2. Bactérias promotoras de  
crescimento vegetal. 3. Cama de frango. 4. Cultura do milho.  
I. Francisco Guimarães, Vandeir, orient. II. Rabello de  
Oliveira, Paulo Sérgio, coorient. III. Título.



**unioeste**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46  
 Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>  
 Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000  
 Marechal Cândido Rondon - PR.



**DEISE CADORIN VITTO**

"Interação entre bactérias promotoras de crescimento vegetal e fertilização com cama de frango na cultura do milho"

Tese apresentada à distância, de forma síncrona e por videoconferência, conforme Resolução nº 052/2020 – CEPE e Instrução de Serviços 001/2023 – PRPPG, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutora em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Manejo de Culturas, APROVADA pela seguinte banca examinadora:

Orientador - Vandeir Francisco Guimarães

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Antonio Carlos Torres da Costa

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Edmar Soares de Vasconcelos

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Tháísa Muriel Mioranza

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB)

Janaína Dartora

Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-Paraná)

Vandeir Francisco Guimarães  
 Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Marechal Cândido Rondon, 29 de setembro de 2023

*À Deus Pai.*  
*Aos meus pais, Zelinda Cadorin Vitto e Antonio Valmir Vitto.*  
*Aos meus avós paternos Catarina Arcaro Vitto (in memorian) e Adelino Vitto (in memorian).*  
*Aos meus avós maternos Benta Damin Cadorin (in memorian) e Pedro Cadorin (in memorian).*  
*À minha irmã Erica Cadorin Vitto.*  
*A minha filha Cecília Vitto Pavanello.*  
*Ao meu companheiro de vida Jonathan Pavanello.*  
*Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

Pelo dom da vida, pois só pela vontade de Deus somos e temos tudo para que possamos desfrutar dessa graça que é viver.

Aos meus pais, Antônio e Zelinda, e minha irmã, Erica, que me proporcionaram todo amor, educação e incentivo para que eu trilhasse meu caminho da melhor forma possível, não tenho nem como expressar em palavras toda minha gratidão e amor por vocês, só cheguei até aqui pelas bases sólidas e valorosas em que fui criada.

Ao meu companheiro de sempre, Jonathan Pavanello, que todo esse tempo de mestrado e doutorado esteve comigo nas horas boas e ruins e sempre fazendo com que as horas ruins passassem logo, me ensinando que a vida é feita de amor e companheirismo. Sou muito grata também à minha menina Cecília, que nos últimos anos desse doutorado foi meu gás, te amo pequena.

Ao meu orientador, Vandeir, que me acolheu e me deu a chance de aprender um pouco mais sobre como ser uma cientista de plantas e trabalhar com bactérias promotoras de crescimento vegetal, agradeço a todos os ensinamentos e convivência.

À Capes, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores que colaboraram para minha formação humana e intelectual, em nome do PPGA, da Universidade Estadual do Oeste Paranaense, por toda a estrutura de campo, salas, laboratórios e recursos que possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho e da realização da pós-graduação. Aos funcionários que fizeram parte de cada momento de trabalho, se pondo à disposição para ajudar sem medir esforços, obrigada.

Ao grupo de pesquisa em fisiologia da promoção de crescimento de plantas. Agradeço imensamente aos companheiros de laboratório e campo, amigos e conselheiros: Alisson, Tauane, Cecatto, André, Kérolem, Alexandre, Viviane, Lucas, dentre tantos outros, pois ninguém faz nada sozinho e por isso, agradeço a vocês por tudo, sempre que precisei, estavam ao meu lado dando força, ensinando e ajudando, seja com conselhos ou em fatos, no trabalho. Obrigada pela amizade e obrigada pelos cafés e conversas que tive com todos vocês, vou sempre levar vocês no coração.

Enfim, a todos os amigos que ganhei nessa jornada, seja na Universidade ou aqueles que a cidade de Marechal Cândido Rondon me deu de presente, obrigada pela contribuição em cada momento especial nessa fase de minha vida, vocês foram muito importantes, saibam disso!

*“Em vez de pensar “quero fazer”, pense “consigo fazer”.  
Em vez de pensar “quero ser”, pense “posso ser”.  
Pensar “quero” é força da vontade, mas pensar “posso” é força da convicção”  
(Katsumi Tokuhisa)*

## RESUMO

VITTO, Deise Cadorin, D. S., Universidade Estadual do Oeste do Paraná, dezembro - 2023.

**Interação entre bactérias promotoras de crescimento vegetal e fertilização com cama de frango na cultura do milho.** Orientador: Dr. Vandeir Francisco Guimarães. Coorientador: Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira.

Os efeitos da aplicação de inoculantes com bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) em sementes, associado à utilização de cama de frango em plantas de milho devem ser estudados, a fim de elucidar o desempenho agrônomico dessa associação e a eficiência econômica do cultivo de milho. Este trabalho teve por objetivo avaliar a associação de BPCV com cama de frango no milho. O experimento foi realizado em cultivo protegido, em delineamento em blocos casualizados e em esquema fatorial 4x5 mais 4 tratamentos adicionais e quatro repetições. O primeiro fator foi composto pela inoculação via sementes com BPCVs: (1) sem inoculação; (2) *Azospirillum brasilense*; (3) *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium* e (4) *Pseudomonas fluorescens*; e o segundo fator foi a aplicação de 5 doses de cama de frango, sendo elas: 0; 0,5; 1; 1,5; 2,0 vezes a dose recomendada, que foi de 3.530 kg ha<sup>-1</sup> de cama de frango, enquanto nos tratamentos adicionais foi realizado o manejo comercial com fertilizante químico na dose de 370 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 10-15-15 juntamente com 250 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples (SFS) no momento da semeadura e adubação de cobertura com 408 kg ha<sup>-1</sup> de uréia no estádio V6, aliado aos tratamentos sem inoculação e à dose de cada inoculante contendo as bactérias. As variáveis avaliadas foram: Altura de plantas, diâmetro de colmo, índice SPAD, massa seca de folhas, colmo+bainha e raiz, área foliar, volume de raiz, altura de espiga, comprimento de espiga, diâmetro de espiga, peso de espiga, número de grãos por espiga, fileira por espiga, grãos por fileira, massa total de grãos e massa de mil grãos, teores de folhas e grãos de nitrogênio, fósforo, e potássio, taxa assimilatória líquida de CO<sub>2</sub> (*A*), condutância estomática (*g<sub>s</sub>*), concentração interna de CO<sub>2</sub> na câmara subestomática (*C<sub>i</sub>*), taxa de transpiração foliar (*E*), além das seguintes relações: eficiência de uso da água (*EUA*), eficiência intrínseca do uso da água (*EIUA*) e eficiência instantânea de carboxilação (*EiC*). A utilização da cama de frango em associação com BPCV é capaz de suprir as necessidades nutricionais do milho, podendo ser utilizada em substituição à adubação mineral. A interação de BPCV e cama de frango influenciou no acúmulo de biomassa e componentes de produção do milho. Não houve interação entre as BPCV e a cama de frango sobre o teor indireto de clorofila e as trocas gasosas nas plantas de milho.

Palavras-chave: *A. brasilense*. *Bacillus*. *P. fluorescens*. Adubação orgânica. Fotossíntese.

## ABSTRACT

VITTO, Deise Cadorin. D. S., Universidade Estadual do Oeste do Paraná, December - 2023. **Interaction between plant growth-promoting bacteria and fertilization with poultry litter in corn crops.** Advisor: Dr. Vandeir Francisco Guimarães. Co-Advisor: Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira.

The effects of applying inoculants with plant growth-promoting bacteria (BPCV) on seeds, associated with the use of poultry litter on corn plants, should be studied to elucidate the agronomic performance of this association and the economic efficiency of corn cultivation. This work aimed to evaluate the association of BPCV with poultry litter in corn. The experiment was carried out in protected cultivation, in a randomized block design and in a 4x5 factorial scheme plus 4 additional treatments and four replications. The first factor was composed of inoculation via seeds with BPCVs: (1) without inoculation; (2) *Azospirillum brasilense*; (3) *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium* and (4) *Pseudomonas fluorescens*; and the second factor was the application of 5 doses of chicken litter, as follows: 0; 0.5; 1; 1.5; 2.0 times the recommended dose, which was 3,530 kg ha<sup>-1</sup> of chicken litter, while in the additional treatments, commercial management was carried out with chemical fertilizer at a dose of 370 kg ha<sup>-1</sup> of the 10-15-15 formula together with 250 kg ha<sup>-1</sup> of simple superphosphate (SFS) at the time of sowing and top dressing with 408 kg ha<sup>-1</sup> of urea at stage V6, combined with treatments without inoculation and the dose of each inoculant containing the bacteria. The variables evaluated were: Plant height, stem diameter, SPAD index, dry mass of leaves, stem+sheath and root, leaf area, root volume, ear height, ear length, ear diameter, ear weight, number of grains per ear, row per ear, grains per row, total mass of grains and mass of thousand grains, leaf and grain contents of nitrogen, phosphorus, and potassium, net CO<sub>2</sub> assimilation rate (*A*), stomatal conductance (*g<sub>s</sub>*), internal CO<sub>2</sub> concentration in the substomatal chamber (*C<sub>i</sub>*), leaf transpiration rate (*E*), in addition to the following relationships: water use efficiency (*EUA*), intrinsic water use efficiency (*EIUA*) and instantaneous carboxylation efficiency (*E<sub>iC</sub>*). The use of chicken litter in association with BPCV can meet the nutritional needs of corn and can be used to replace mineral fertilizer. The interaction of BPCV and poultry litter influenced the accumulation of biomass and corn production components. There was no interaction between BPCV and chicken litter on indirect chlorophyll content and gas exchange in corn plants.

Keywords: *A. brasilense*. *Bacillus*. *P. fluorescens*. Organic fertilizer. Photosynthesis.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Médias quinzenais de temperatura mínima, média e máxima e umidade relativa do ar durante os meses no período do experimento em cultivo protegido.....38
- Figura 2 - Altura de plantas nos estádios V4 (A) e V8 (B) e diâmetro de colmo de milho nos estádios V4 (C) e V8 (D) fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.....43
- Figura 3 - Teor indireto de clorofila – índice SPAD em V4 (A), e V8 (B) de milho fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.....45
- Figura 4 - Massa da matéria seca colmo + bainha (A), massa da matéria seca de raiz (B), área foliar (C) e volume de raiz (D) de milho fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.....46
- Figura 5 - Altura de inserção de espigas (A), comprimento de espigas (B) e massa de espigas (C) de milho fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.....48
- Figura 6 - Número de grãos por espigas (A), fileiras por espiga (B), número de grãos por fileiras (C) e massa total de grãos (D) de milho fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.....50
- Figura 7 - Massa da matéria seca de folhas (MMS de folhas) de milho sem inoculação (A), inoculado com *A. brasilense* (B), *B. subtilis* + *B. megaterium* (C) e *P. fluorescens* (D) e fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.....53
- Figura 8 - Diâmetro de espiga de milho sem inoculação (A), inoculado com *A. brasilense* (B), *B. subtilis* + *B. megaterium* (C) e *P. fluorescens* (D) e fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.....55
- Figura 9 - Massa de mil grãos de milho sem inoculação (A), inoculado com *A. brasilense* (B), *B. subtilis* + *B. megaterium* (C) e *P. fluorescens* (D) e fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.....57
- Figura 10 - Médias quinzenais de temperatura mínima, média e máxima e umidade relativa do ar durante os meses no período do experimento em cultivo protegido.....70
- Figura 11 - Teor de N em raízes de milho não inoculado (A), inoculado com *A. brasilense* (B), com *B. subtilis*+*B. megaterium* (C) e com *P. fluorescens* (D) e fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.....76
- Figura 12 - Teor de N em grãos de plantas de milho sem inoculação (A), inoculado com *A. brasilense* (B), inoculado com *B. subtilis* + *B. megaterium* (C), inoculado com *P. fluorescens* (D) e fertilizadas com doses de cama de frango e adubo químico.....77
- Figura 13 - Teor de P em folhas de milho sem inoculação (A) inoculado com *A. brasilense* (B), com *B. subtilis* + *B. megaterium* (C), com *P. fluorescens* (D) e fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.....78
- Figura 14 - Teor de K em folhas de milho sem inoculação (A) inoculado com *A. brasilense* (B), com *B. subtilis* + *B. megaterium* (C), com *P. fluorescens* (D) e fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.....80

Figura 15 - Teor de K em raízes de milho sem inoculação (A) inoculado com *A. brasilense* (B), com *B. subtilis* + *B. megaterium* (C), com *P. fluorescens* (D) e fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.....81

Figura 16 - Teor de K em grãos de milho sem inoculação (A) inoculado com *A. brasilense* (B), com *B. subtilis* + *B. megaterium* (C), com *P. fluorescens* (D) e fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.....82

Figura 17 – A - Taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A), *g<sub>s</sub>* - condutância estomática (B), *E* - taxa de transpiração foliar (C) e *EiC* - eficiência instantânea de carboxilação (D) em milho fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.....83

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Mecanismos empregados por BPCV e seus principais efeitos nas plantas.....17
- Tabela 2 - Graus de liberdade e quadrado médio de altura de plantas, diâmetro de colmo e índice SPAD em V4 e V8, massa da matéria seca de folhas, massa da matéria seca de colmo + bainha, massa da matéria seca de raiz, área foliar, volume de raiz, altura de inserção de espiga, comprimento de espiga, diâmetro de espiga, peso de espiga, número de grãos por espiga, número de fileira por espiga, número de grãos por fileira, massa total de grãos e massa de mil grãos em função do milho inoculado com diferentes bactérias promotoras de crescimento vegetal e adubado com doses de cama de frango e adubo químico em estufa.....42
- Tabela 3 - Diâmetro de espiga, grãos por espiga, peso de espiga, massa total de grãos e massa de mil grãos de milho sem inoculação (SI), inoculado com *A. brasilense* (Azo), *B. subtilis* + *B. megaterium* (Bac) e *P. fluorescens* (Pse), na safra 2019/2020.....51
- Tabela 4 - Graus de liberdade e quadrado médio para os teores nutricionais de folha, raiz e grãos, assim como para as variáveis de trocas gasosas em função do milho inoculado com diferentes bactérias promotoras de crescimento vegetal e adubado com doses de cama de frango e adubo químico em estufa, na safra 2019/2020.....75

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
2.1	CULTURA DO MILHO .....	15
2.2	BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL (BPCV) .....	15
2.2.1	Gênero <i>Azospirillum</i> .....	17
2.2.2	Gênero <i>Bacillus</i> .....	19
2.2.3	Gênero <i>Pseudomonas</i> .....	20
2.3	CAMA DE FRANGO .....	21
2.4	INTERAÇÃO ENTRE BPCV E ADUBO ORGÂNICO .....	23
2.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	24
2.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	24
<b>3</b>	<b>ARTIGO 1 - CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE MILHO, INOCULADAS COM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO, E FERTILIZADAS COM CAMA DE FRANGO.</b> .....	<b>34</b>
3.1	INTRODUÇÃO .....	35
3.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	37
3.2.1	Descrição do local do experimento .....	37
3.2.2	Tratamentos e delineamento experimental .....	37
3.2.3	Material vegetal e condução experimental .....	38
3.2.4	Análises morfométricas .....	40
3.2.5	Componentes da produção .....	41
3.2.6	Análise estatística .....	41
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	41
3.4	CONCLUSÕES .....	58
3.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	58
<b>4</b>	<b>ARTIGO 2 - TROCAS GASOSAS E TEORES FOLIARES DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO DO MILHO INOCULADO COM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL ASSOCIADO À FERTILIZAÇÃO COM CAMA DE FRANGO</b> .....	<b>66</b>
4.1	INTRODUÇÃO .....	67
4.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	69

4.2.1	Descrição do local do experimento.....	69
4.2.2	Tratamentos e delineamento experimental .....	70
4.2.3	Material vegetal e condução experimental .....	71
4.2.4	Análise dos teores nutricionais de folhas, raízes e grãos .....	72
4.2.5	Trocas gasosas das plantas.....	73
4.2.6	Análise estatística.....	73
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	74
4.4	CONCLUSÕES.....	86
4.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	86
5	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>93</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O milho, também conhecido como *Zea mays* L., tem sua origem na região do México e é cultivado em todo o território brasileiro. Na safra 2021/22, alcançou produção de 113 milhões de toneladas, com aumento de 30% em relação à safra anterior (CONAB, 2022). Desempenha também papel importante na alimentação humana, animal e agroindústria, conforme mencionado por Fornasier Filho (2007). No entanto, mais de 40% de toda a produção nacional de milho é destinada às atividades pecuaristas, como bovinocultura, suinocultura e avicultura (BRASIL, 2020).

Apesar do milho ser uma cultura que exige uso de fertilizantes químicos em larga escala, é importante ressaltar que seu uso indiscriminado e sem critérios pode acarretar riscos ao meio ambiente, como a eutrofização do solo e a contaminação das águas, como mencionado por Dungait et al. (2012) e Marks et al. (2013).

Uma alternativa viável para mitigar esses problemas é o emprego de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) em culturas de grande importância. Para isso, diversas técnicas são utilizadas para empregar esses microrganismos nas plantas de milho, como a inoculação nas sementes, a incorporação no substrato de plantio e pulverizações na parte aérea (COSTA et al., 2015).

Essas rizobactérias desempenham papel crucial no manejo integrado de nutrientes, podendo promover o crescimento das plantas por meio de diferentes mecanismos. Elas são capazes de participar diretamente ou indiretamente da fixação biológica de nitrogênio e de solubilizar o fósforo inorgânico, por meio da excreção de ácidos orgânicos e quelatos que aceleram a sua decomposição e liberação (ADESEMOYE et al., 2008).

Esses microrganismos também têm influência sobre variáveis bioquímicas e morfológicas nas plantas. Os processos fotossintéticos são considerados de grande importância para o crescimento e desenvolvimento vegetal. Sobretudo as trocas gasosas, que correspondem às taxas de conversão e produção energética, se transformando prontamente na obtenção de massa seca vegetal (KERBAUY, 2008; SALISBURY e ROSS, 2012; TAIZ et al., 2017).

Bellé (2015), verificou teores de taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (*A*) superiores nos tratamentos inoculados com *A. brasilense* em comparação aos não inoculados, exercendo assim influência no comportamento bioquímico e na produção de massa das plantas de milho. Na prática biotecnológica, a inoculação de sementes com BPCV é tida como uma forma importante de reduzir custos com a fertilização na produção vegetal, uma vez que maior aproveitamento dos fertilizantes ocorre quando estas são utilizados. Contudo, há a necessidade de alternativas

para buscar ainda mais o aumento de benefícios para a planta e para o ambiente, com redução dos custos de produção.

Uma das opções é utilizar resíduos orgânicos como fertilizantes em plantas, pois esse material possui alto potencial nutricional, podendo ser usado como matéria-prima para adubação de forma complementar ou total (SANTOS et al., 2014).

Dentre os resíduos orgânicos provenientes da agropecuária utilizados na adubação de plantas, encontra-se a cama de frango, que é um composto formado pela mistura da forração de pisos de galpões (maravalha, casca de arroz, entre outros materiais) utilizada para proteger os animais. Ela passa por diversos lotes de frango de corte ou de galinhas poedeiras, acumulando dejetos, penas e restos de ração que caem dos comedouros dos animais (BLUM et al., 2003).

Quando a cama de frango passa pelo processo de compostagem e é aplicada ao solo, ela pode ter um efeito positivo sobre ele. Além de conter macro e micronutrientes, pode aumentar o teor de matéria orgânica e de carbono total no solo, se tornando assim, fonte de energia para os organismos presentes e colaborando com o seu ciclo biológico, mantendo o solo em estado dinâmico (LANDGRAF et al., 2005).

A utilização de cama de frango no solo pode melhorar a capacidade de troca catiônica (CTC) (WATTS et al., 2010), o armazenamento e infiltração de água, reduzindo as perdas de nutrientes por escoamento e lixiviação (BOT e BENITES, 2005), resultando em melhorias na qualidade química, física e biológica do ambiente. Essa prática nutre os microrganismos e tem impacto positivo na produtividade de várias culturas, estudos mostram que a utilização da cama de frango como adubo orgânico é eficiente em diversas culturas, incluindo o milho, e resulta em aumento na produção de grãos quando comparada à adubação mineral (SANTOS et al., 2014). Pesquisas sobre a aplicação de resíduos no solo afirmam que a presença de matéria orgânica favorece o aumento da atividade enzimática de microrganismos na rizosfera (FEREIDONI et al., 2013; LIU et al., 2010) e que ao inocular microrganismos promotores de crescimento, como o *A. brasilense*, a planta tem maior acessibilidade e maior aproveitamento dos resíduos orgânicos aplicados no solo, refletindo no aumento do aporte de biomassa de plantas de milho (VITTO et al., 2022).

No entanto, há a necessidade de trabalhos que possam avaliar os efeitos da aplicação de inoculantes com bactérias capazes de promover o crescimento de plantas em semente associando-os a utilização de cama de frango em plantas, verificando o desempenho agrônômico dessa relação no cultivo de milho.

Diante do exposto, a hipótese desse trabalho é que a inoculação de sementes de milho com bactérias promotoras de crescimento vegetal associada à fertilização com doses de cama

de frango favorece o aproveitamento do fertilizante orgânico pela planta, contribuindo no aumento do desempenho das plantas de milho, em relação as características morfofisiológicas, nutricionais e componentes da produção da cultura do milho.

Sendo assim, este trabalho teve por objetivo principal avaliar os efeitos sobre o acúmulo de biomassa de plantas, o teor indireto de clorofila, os teores de nutrientes, trocas gasosas foliares e os componentes da produção da cultura de milho, inoculado com as bactérias *A. brasilense*, *B. subtilis* + *B. megaterium* e *P. fluorescens* em relação ao maior aproveitamento de diferentes doses de cama de frango.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CULTURA DO MILHO

O milho (*Zea mays* L.) é originário da região do México e cultivado em todo o território brasileiro. O Brasil é considerado um dos líderes mundiais em produção de grãos, pois apesar das condições climáticas adversas e desfavoráveis ocorridas na safra, alcançou a marca de 113 milhões de toneladas na safra 2021/22, superando em 30% a safra do ano anterior (CONAB, 2022).

Este cereal tem grande importância por seus grãos terem elevada qualidade nutricional e amplo modo de consumo. O milho é utilizado na alimentação humana, animal, na agroindústria e na produção de biocombustíveis (FORNASIERI FILHO, 2007), entretanto, de toda a produção nacional de milho, mais de 40% vão para as atividades pecuaristas como, bovinocultura, suinocultura e avicultura (BRASIL, 2020).

Devido à grande demanda por este cereal, existe a necessidade da elevação de produtividade da cultura, mas, para isso, são necessárias pesquisas relacionadas ao maior crescimento e desenvolvimento vegetal, chegando a maiores aportes de fotoassimilados presentes na planta para os órgãos de interesse econômico. Com isso, essa cultura requer elevada quantidade de fertilizantes minerais, contendo nutrientes que estão diretamente relacionados aos processos bioquímicos da planta (RANUM et al., 2014). Entretanto, a utilização de fertilizantes químicos é onerosa e quando usado sem critérios e de forma indiscriminada, pode ser causador de riscos ao meio ambiente, resultando na eutrofização do solo e contaminação das águas (DUNGAIT et al., 2012; MARKS et al., 2013).

O emprego de alternativas que possam minimizar os efeitos ambientais negativos, aliada à elevação da eficiência produtiva da cultura, em especial à redução de custos de produção, contribuirão para todo o sistema agroindustrial da cadeia produtiva do milho. Uma possibilidade é o emprego das bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) em culturas de grande importância como o milho (COSTA et al., 2015).

### 2.2 BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL (BPCV)

As bactérias promotoras de crescimento vegetal fazem parte da população residente das raízes das plantas (rizobactérias) podendo sobreviver como epifíticas ou endofíticas. Não são fitopatogênicas e são eficientes em proporcionar efeitos benéficos para as plantas de forma direta e indireta (BALDANI e BALDANI, 2005).

Estes microrganismos são empregados como complementos para fertilizantes químicos com o objetivo de aprimorar a produtividade das culturas e promover o desenvolvimento de sistemas agrícolas mais sustentáveis (QIU et al., 2019). Diversos grupos de BPCVs têm sido utilizados na formulação de inoculantes para plantas. Entre os anos de 1998 e 2014, pelo menos 30 grupos foram empregados nessas formulações, destacando-se: *Azospirillum*, *Azorhizobium*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Bradyrhizobium*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Glucanacetobacter*, *Herbaspirillum*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Mesorhizobium*, *Rhizobium*, *Serratia* e *Sinorhizobium* (BASHAN et al., 2014).

Para o uso desses microrganismos nas plantas, diversas técnicas são aplicadas, podendo ser realizada inoculação nas sementes, incorporação ao substrato de plantio e pulverizações realizadas na parte aérea (COSTA et al., 2015).

Essas rizobactérias possuem grande importância para o manejo integrado de nutrientes, podendo promover o crescimento vegetal por diferentes mecanismos, pois são capazes de participar direta ou indiretamente da fixação biológica de nitrogênio pela planta, assim como, atuarem na solubilização do P inorgânico, por meio da excreção de ácidos orgânicos e quelatos que aceleram seu processo de decomposição e liberação (ADESEMOYE et al., 2008).

Esses microrganismos também são capazes de aumentar a produção de estímulos provocados por fitormônios como auxinas, citocininas, giberelinas e aumento da produção e atividade de enzimas como a ACC-deaminase, que atua na redução dos níveis de etileno, atrasando a senescência da planta e a mantendo por mais tempo verde, mesmo quando a espiga se encontra em adiantado estágio de maturação (*Stay green*). Assim estes estímulos são originados pela associação planta-microrganismo, promovendo a aceleração do crescimento radicular e resultando no aumento da capacidade de absorção de água e nutrientes, como podemos observar na tabela 1 (PEDRAZA, 2008; KHAN E BANO, 2016; BLAHA et al., 2006; COSTA et al., 2015).

Tabela 1 - Mecanismos empregados por BPCV e seus principais efeitos nas plantas.

Mecanismo	Efeito no crescimento da planta	Exemplos de gêneros de BPCV
Fixação de nitrogênio	Aumento na quantidade de nitrogênio e biomassa	<i>Acetobacter, Azospirillum Azotobacter, Bradyrhizobium, Burkholderia, Frankia, Herbaspirillum, Rhizobium</i>
Produção de fitormônios	Aumento da ramificação e comprimento da raiz, da parte aérea e da biomassa	<i>Azospirillum, Bacillus, Bradyrhizobium, Herbaspirillum, Pseudomonas, Rhizobium</i>
Solubilização de fosfatos	Aumento da quantidade de fósforo e da biomassa	<i>Azospirillum, Azotobacter, Bacillus, Burkholderia, Enterobacter, Herbaspirillum, Pseudomonas, Rhizobium</i>
Indução de resistência a doenças e estresse	Aumento da sobrevivência de plântulas e da biomassa	<i>Azospirillum, Pseudomonas, Rhizobium</i>

Fonte: Adaptado de (ARKHIPOVA et al., 2007; BASTIÁN et al., 1998; VAN OOSTEN et al., 2017; SOBTI et al., 2019).

### 2.2.1 Gênero *Azospirillum*

O gênero *Azospirillum* faz parte da classe de bactérias chamada Alfaproteobactérias, pertencente à ordem *Rhodospirillales* e à família *Rhodospirillaceae*. Até o momento, foram descritas 33 espécies desse grupo (PARTE et al., 2020). Essas bactérias são encontradas no solo, vivendo de forma livre, e habitam diversos ambientes terrestres (DOBEREINER e PEDROSA, 1987; HUERGO et al., 2008). Elas também são encontradas na rizosfera de várias plantas da família Poaceae, como arroz, trigo, milho e cana-de-açúcar, sendo essas as plantas hospedeiras mais comuns (MEHNAZ, 2015).

A espécie *Spirillum lipoferum* foi inicialmente descrita em 1925 e, em 1978, foi proposta a reclassificação dela como *Azospirillum*, juntamente com a descrição das primeiras duas espécies do gênero: *Azospirillum lipoferum* e *Azospirillum brasilense* (TARRAND et al., 1978). Essas foram as primeiras espécies a ganhar destaque mundial com a descoberta de sua capacidade de fixar o nitrogênio biologicamente quando associadas a gramíneas (DÖBEREINER e DAY, 1976).

As bactérias desse gênero são Gram-negativas, não formadoras de esporos, caracterizadas por possuírem uma forma semelhante a bastonetes, um padrão de flagelo misto

e um movimento vibratório característico (HALL e KRIEG, 1984). Elas possuem diâmetro de 1 micrômetro ( $\mu\text{m}$ ) e comprimento que varia de 2,1 a 3,8  $\mu\text{m}$  (PRIMAVESI et al., 2005). Essas bactérias também são conhecidas por sua habilidade de colonizar a rizosfera das plantas, embora possam existir diferenças específicas entre linhagens e espécies do gênero em relação à forma de colonização. A maioria das espécies coloniza principalmente a superfície das raízes, enquanto algumas linhagens de certas espécies têm a capacidade de infectar os tecidos internos das plantas (BASHAN et al., 2004).

As espécies de *Azospirillum* são capazes de realizar quimiotaxia, que é um fenômeno físico onde as células bacterianas têm a propriedade de sentir o ambiente químico, orientando seus movimentos em direção aos ambientes mais atraentes e se afastando dos mais repelentes, assim, essas bactérias usam esse fenômeno para seguir em direção aos vários exsudatos secretados pelas raízes dessas plantas, como aminoácidos, ácidos orgânicos, açúcares e compostos aromáticos (OKON et al., 1980; RODRÍGUEZ-NAVARRO et al., 2007).

Embora essas BPCVs serem utilizadas na realização de aporte biológico de nitrogênio, vale ressaltar que as rizobactérias como o *Azospirillum brasilense* ao realizar fixação biológica de nitrogênio, não são capazes de suprir totalmente as necessidades da cultura, podendo proporcionar uma economia de até 50% no uso de fertilizantes nitrogenados, pois pode ocorrer modificações no sistema radicular da planta, resultando em maior produção de raízes, ampliando assim sua exploração no solo (HUNGRIA et al., 2010).

Quadros et al. (2014), também relataram benefícios da interação entre a bactéria *Azospirillum* sp. e a planta de milho e perceberam que seu uso é capaz de resultar em aumento na produtividade de grãos. Enquanto Rodriguez et al. (2004) verificaram a formação de ácido glucônico pelo *A. brasilense* quando cultivado em meio “*in vitro*” de fosfato de cálcio (fonte pouco solúvel) e ao mesmo tempo reduzindo o pH e liberando fosfatos antes indisponíveis para o meio, aumentando sua disponibilização.

Dentre outras rizobactérias também encontradas em abundância nos solos que possuem grande capacidade de solubilizar P pela redução do pH do meio estão as cepas bacterianas relacionadas aos gêneros *Bacillus* spp. e *Pseudomonas* sp. (MUMTAZ et al., 2017). Estas são capazes de produzir ácidos orgânicos como lático, cítrico, acético, ácidos glucônico, malônico e succínico (WEI et al., 2018) e enzimas fosfatases (KAPRI e TEWARI, 2010), para realizar disponibilização do nutriente na forma inorgânica para a planta.

### 2.2.2 Gênero *Bacillus*

O gênero *Bacillus* pertence ao filo Firmicutes, classe *Bacilli*, ordem *Bacillales*, família Bacillaceae, é composto por bactérias gram-positivas, produtoras de endósporos, que possuem uma ampla diversidade de funções metabólicas, incluindo propriedades surfactantes e promotoras de crescimento vegetal, através da produção de fitohormônios, que estimulam o crescimento das plantas, polissacarídeos para a formação de biofilme, sideróforos para a solubilização de ferro e enzimas líticas. Também desempenham papel importante na solubilização de fosfato e na fixação de nitrogênio, por meio da atividade enzimática da nitrogenase, que é produzida por espécies como *Bacillus megaterium*, *B. cereus*, *B. licheniformis*, *B. pumilus*, *B. circulans*, *B. firmus*, *B. subtilis*, *B. marisflavi* e *B. alkalidiazotrophicus* (XIE et al., 1998; DING et al., 2005; SOROKIN et al., 2008).

A espécie *B. subtilis*, que a princípio era nomeada como *Vibrio subtilis* (1835), posteriormente foi renomeada em 1872 (HARWOOD, 1989). *B. subtilis* se tornou uma das espécies mais estudadas do gênero *Bacillus*. Isso se deve à sua habilidade natural de captar DNA extracelular, facilitando a modificação genética simples, e à ocorrência de esporulação (ERRINGTON, 2003). *B. subtilis* é ubíqua e pode ser encontrada em vários habitats, o que a torna uma espécie utilizada em diversas aplicações biotecnológicas, desde a produção de enzimas e fermentação de alimentos até o biocontrole de plantas (ERRINGTON, 2003; KOVÁCS, 2019).

Morfologicamente, essa espécie bacteriana é Gram-positiva, móvel e possui esporos com formato elipsoidal a cilíndrico. As células vegetativas de *B. subtilis* podem estar isoladas ou em pares, raramente em cadeias, e possuem comprimento de 0,7 a 1 µm (LOGAN et al., 2009).

Outra bactéria muito estudada também é a espécie *B. megaterium* (atualmente chamada de *Priestia megaterium*) é uma espécie Gram-positiva, aeróbica, possui células vegetativas com comprimento de 1,2 – 1,5 µm. Seus esporos são elipsoidais e as vezes esféricos. Essa espécie fornece uma poderosa fábrica de células para biotecnologia, com inúmeras patentes e aplicações industriais. No entanto a espécie *B. megaterium* também é considerada uma excelente bactéria rizosférica solubilizadora de fosfato (SAEID et al., 2018).

Essas rizobactérias do gênero *Bacillus* spp, são amplamente utilizadas para compor inoculantes bacterianos com objetivo de aplicação em plantas. Sua natureza heterotrófica as torna importante no ciclo do carbono e do nitrogênio como desnitrificantes, fixadores e degradadores do nitrogênio orgânico. Eles possuem atividades de enzimas fosfatases, que são

capazes de liberar fosfatos para o desenvolvimento das plantas, atuam sobre o ciclo do enxofre (S) como oxidante de enxofre no solo e na redução do manganês (Mn) (MANDIC-MULEC e PROSSER, 2011).

Diversas pesquisas realizadas encontraram promoções no crescimento e aumento da produção em plantas, com relatos de produção de fitormônios, solubilização de P, absorção de N e outros íons, após a inoculação com espécies do gênero *Bacillus* (DOBBELAERE et al., 2003; ÇAKMAKÇI et al., 2006; HAYAT et al., 2010; WANI e KHAN, 2010).

Silva et al. (2020) e Rodriguez et al. (2004), obtiveram como resultado da inoculação de *B. subtilis* e *A. brasilense* o aumento de 100 e 54,6% na eficiência do uso do fósforo, respectivamente. Bulegon et al. (2017), observaram efeitos sobre o déficit hídrico em braquiárias (*Urochloa ruziziensis*), onde o uso de *A. brasilense* promoveu altas taxas de assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, em comparação ao controle, mantendo a planta por mais tempo realizando fotossíntese, com menor disponibilidade hídrica. Bellé (2015), encontrou teores de taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (*A*) superiores nos tratamentos inoculados com *A. brasilense* quando comparados aos não inoculados, influenciando assim no comportamento bioquímico e na produção de massa das plantas de milho.

### 2.2.3 Gênero *Pseudomonas*

O gênero *Pseudomonas* pertence à classe das Gamaproteobactérias, à ordem *Pseudomonadales*, à família *Pseudomonadaceae* e é composto por 532 espécies até o momento (PARTE et al., 2020). Entre as BPCV o grupo das *Pseudomonas* é considerado o maior e mais promissor devido às características distintas das espécies do gênero, tais como crescimento rápido, requisitos simples de nutrientes e habilidade para utilizar diversos substratos inorgânicos. Essas características conferem ao gênero versatilidade nutricional, alta mobilidade e diversidade de metabólitos produzidos. As principais espécies do gênero incluem *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas syringae*, *Pseudomonas chlororaphis* e *Pseudomonas aureofaciens* (DORJEY et al., 2017).

As variedades deste tipo são rizobactérias gram-negativas e quimio-heterotróficas. A maioria delas vive livremente ou endofiticamente (PALLERONI et al., 1973). Essas variedades estão presentes em uma ampla gama de habitats ecológicos, incluindo ambientes terrestres e marinhos, e possuem um grande potencial de utilização como biofertilizantes (PANPATTE et al., 2016). *Pseudomonas* spp. exibe vários mecanismos para promover o crescimento, como a produção de enzimas e metabólitos, como antibióticos, sideróforos, bio-surfactantes, osmolitos e fitormônios, solubilização de nutrientes, bem como desempenha um papel forte como agente

de controle biológico contra doenças e competindo agressivamente com outros microrganismos (AMBARDAR e VAKHLU, 2013; ANDREOLLI et al., 2021; GNANAMANICKAM, 2006; NADEEM et al., 2016; PANPATTE et al., 2016; RAAIJMAKERS e MAZZOLA, 2012; SANTOS et al., 2019).

Estes microrganismos, através dos mecanismos de promoção de crescimento, são capazes de ter influência também sobre variáveis bioquímicas e morfológicas nas plantas. Dentre os processos de maior importância, os fotossintéticos são considerados cruciais para o crescimento e desenvolvimento vegetal, principalmente as trocas gasosas, que são as taxas de conversão e produção energética e que se equivalem prontamente na produção de massa seca de planta (KERBAUY, 2008; SALISBURY e ROSS, 2012; TAIZ et al., 2017).

A rizobactéria *P. fluorescens* é capaz de acelerar o crescimento de mudas em girassol (*Helianthus annuus* L.) quando inoculado nas sementes (MOEINZADEH et al., 2010); assim como tem a capacidade de controlar o “*dumping-off*” em plantas de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) (ARDAKANI et al., 2010). Tem a capacidade de manter o rendimento de milho quando se diminui a quantidade de fertilizante nitrogenado em torno de 25% (SANDINI et al., 2019).

A prática biotecnológica da inoculação de sementes com microrganismos promotores de crescimento é considerada uma importante forma de minimizar custos com fertilização na produção de plantas, visto que o maior aproveitamento dos fertilizantes pode ocorrer quando esses são utilizados. No entanto, ocorre a necessidade de alternativas para se buscar ainda mais o aumento de benefícios para a planta e para o ambiente, com redução dos custos de produção.

### 2.3 CAMA DE FRANGO

Paralelamente a essa prática, pode-se fazer uso de resíduos orgânicos, pois é possível afirmar que a pecuária brasileira apresenta alta produção deste composto, e ao mesmo tempo, ocasiona impactos ambientais quando é descartado sem os procedimentos corretos, devido a sua taxa de geração ser maior que a de degradação. Assim, é cada vez mais importante e necessário encontrar formas de aproveitamento desse passivo ambiental.

Uma das alternativas de uso para os resíduos orgânicos é como fertilizantes em plantas, pois esse material possui alto potencial nutritivo, podendo ser empregado como matéria prima para a adubação de forma complementar ou total (SANTOS et al., 2014). Esta prática pode resultar em menor custo de produção, além de ser uma alternativa ambientalmente correta,

diminuindo o uso de fertilizantes industrializados que aumentam a poluição de corpos de água e oneram o cultivo.

Dentre os resíduos orgânicos provenientes da agropecuária, utilizados na adubação de plantas está a cama de frango. Este material está disponível nas propriedades rurais e possui baixo custo, pois é considerado um subproduto da criação de aves. Se transforma em uma alternativa de uso sustentável quando manejada de forma correta para sua reutilização como adubo orgânico, utilizando a técnica de compostagem (COSTA et al., 2009; RODRIGUES et al., 2014; ANDRADE, 2015).

A cama de frango é um composto formado pela mistura da forração de pisos de galpões (maravalha, casca de arroz, dentre outros materiais) utilizada na proteção dos animais, que passa por diversos lotes de frango de corte ou de galinhas poedeiras, recebendo o acúmulo de dejetos, penas e restos de ração caída dos comedouros dos animais (BLUM et al., 2003).

A técnica de compostagem de cama de frango baseia-se na mistura do substrato, formando pilhas de resíduos com alta umidade e temperatura, em locais adequados e deixados decompondo-se até estarem prontos para serem devolvidos ao ambiente ou até o produtor necessitar melhorar a fertilidade do solo (AQUINO, 2005). Este processo de tratamento de resíduos, pode ser definido como sendo biológico e controlado, sendo que ao final tem-se a estabilização dos resíduos orgânicos para a produção de adubo orgânico (VALENTE et al., 2009).

Quando a cama de frango passa pela compostagem e é aplicado ao solo, pode atuar positivamente no mesmo. Além da presença de macro e micronutrientes, pode elevar o teor de matéria orgânica e carbono total do solo. É capaz de tornar-se fonte de energia para os organismos que colaboram com o seu ciclo biológico, mantendo o solo em estado dinâmico (LANDGRAF et al., 2005).

A cama de frango pode aumentar a capacidade de troca catiônica do solo (CTC) (WATTS et al., 2010) e a retenção e infiltração de água, minimizando as perdas de nutrientes presentes no solo por escoamento e lixiviação (BOT e BENITES, 2005), promovendo assim incrementos na qualidade química, física e biológica do meio, nutrindo os microrganismos e atuando diretamente na produtividade de diversos cultivos (SANTOS et al., 2014).

Para a utilização da cama de frango como adubo deve-se levar em consideração a dose recomendada dos nutrientes para atingir a necessidade das culturas, de acordo com a propriedades químicas do solo (COSTA et al., 2009). A grande variabilidade encontrada na composição química da cama de frango, deve-se principalmente ao sistema de criação utilizado sobre a cama, ao número de lotes aplicado e ao modo e tempo da compostagem realizada.

Segundo Pitta et al. (2012), as maiores taxas de decomposição da cama de frango e a liberação de nutrientes ocorre nos primeiros 60 dias de incubação no solo, nesse período, cerca de 40% de N, 34% de P e 91% de K encontrados na massa seca da cama de frango podem ser liberados para o ambiente.

Uma pesquisa realizada por Santos et al. (2014) e seus colaboradores, utilizando diversos fertilizantes, perceberam a eficiência do uso de cama de frango em algumas culturas, dentre elas o milho, pois ao comparar com a adubação mineral, a utilização de cama de frango proporcionou o aumento da produtividade de grãos. Outro estudo relata que o uso da cama de frango tem taxas de disponibilidade de até 50% de N quando comparado a aplicação de nitrato de amônio na produtividade de milho, com aumentos de até 800 kg ha<sup>-1</sup> de grãos (JN-BAPTISTE et al., 2013).

Santos et al. (2019) perceberam que ao utilizar de cama de frango na fertilização das plantas houve influência em suas trocas gasosas, como na taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> ( $A$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), concentração interna de CO<sub>2</sub> na câmara subestomática ( $C_i$ ), taxa de transpiração foliar ( $E$ ) e na eficiência instantânea de carboxilação da Rubisco ( $E_iC = A/C_i$ ) em plantas de ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata*).

Os nutrientes existentes no resíduo orgânico podem contribuir no desenvolvimento foliar das plantas, principalmente o nitrogênio presente no adubo orgânico. Esse nutriente faz parte das moléculas de clorofila e dos aminoácidos associados a Ribulose 1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (RUBISCO) que é a enzima mais abundante nas plantas e sua função principal é a fixação do dióxido de carbono no ciclo de Calvin (TAIZ et al., 2017).

Bellé (2015) em sua pesquisa, também comprovou que a aplicação de cama de frango como adubo orgânico, quando aplicado na quantidade ideal, podem aumentar as taxas de assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, de condutância estomática e a taxa de transpiração foliar das plantas de milho.

## 2.4 INTERAÇÃO ENTRE BPCV E ADUBO ORGÂNICO

Estudos relacionados com a aplicação de resíduos no solo afirmam que a maior presença de matéria orgânica influencia no aumento da atividade enzimática de microrganismos rizosféricos (FEREIDONI et al., 2013; LIU et al., 2010), e que ao inocular microrganismos promotores de crescimento, como o *A. brasilense*, a planta tem maior acessibilidade e maior aproveitamento dos resíduos orgânicos aplicados no solo, refletindo no aumento do aporte de biomassa de plantas de milho (VITTO et al., 2022).

A utilização da combinação do gênero *Bacillus* com resíduos orgânicos é capaz de acentuar o crescimento e aumentar o teor de N e P de plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*), quando comparada com a mesma taxa de fertilizante químico com o inoculante (SAXENA et al., 2013). Enquanto a bactéria *Pseudomonas fluorescens* suplementada com meia dose de fertilizante orgânico aumenta significativamente o crescimento e a produção do milho em comparação com a dose completa de fertilizante químico (NAVEED et al., 2008).

## 2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da aplicação de microrganismos benéficos no solo em concomitância ao uso de fertilizantes oriundos de resíduos orgânicos, tem-se a junção de tecnologias com impacto ambiental reduzido, aumentando ao mesmo tempo a sustentabilidade da prática de cultivos agrícolas, com baixos custos de produção e aumentando o rendimento da cultura.

No entanto, apesar do comprovado benefício que a prática da fertilização com cama de frango aliada a inoculação com rizobactérias pode trazer ao cultivo, ainda se faz necessário realizar pesquisas mais intensivas para obter respostas precisas sobre o efeito da fertilização com cama de frango quando inoculadas as bactérias promotoras de crescimento vegetal sobre as respostas fisiológicas e produtivas das plantas de milho.

## 2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADESEMOYE, A. O.; TORBERT, H. A.; KLOEPPER, J. W. Enhanced plant nutrient use efficiency with PGPR and AMF in an integrated nutrient management system. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 54, n. 10, p. 876-886, 2008.

AMBARDAR, S.; VAKHLU, J. Plant growth promoting bacteria from *Crocus sativus* rhizosphere. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 29, n. 12, p. 2271–2279, 2013.

ANDRADE, F. C. **Compostagem como alternativa de disposição final dos resíduos sólidos orgânicos gerados na Embrapa Soja**. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015.

ANDREOLLI, M.; ZAPPAROLI, G.; LAMPIS, S.; SANTI, C.; ANGELINI, E.; BERTAZZON, N. In vivo endophytic, rhizospheric and epiphytic colonization of *vitis vinifera*

by the plant-growth promoting and antifungal strain *Pseudomonas protegens* MP12. **Microorganisms**, v. 9, n. 2, p. 1–14, 2021.

AQUINO, A. M. Integrando Compostagem e Vermicompostagem na Reciclagem de Resíduos Orgânicos Domésticos. EMBRAPA. Circular Técnica, n. 12, 2005.

ARDAKANI, S. S.; HEYDARI, A.; KHORASANI, N.; ARJMANDI, R. Development of new bioformulations of *Pseudomonas fluorescens* and evaluation of these products against damping-off of cotton seedlings. **Journal of Plant Pathology**, v. 92, n. 1 p. 83-88, 2010.

ARKHIPOVA, T.; PRINSEN, E.; VESELOV, S.; MARTINENKO, E.; MELENTIEV, A.; KUDOYAROVA, G. Cytokinin producing bacteria enhance plant growth in drying soil. **Plant Soil**, v. 292, n. 1, p. 305–315, 2007.

BALDANI, J. I.; BALDANI, V. L. D. History on the biological nitrogen fixation research in *graminaceous* plants: special emphasis on the brazilian experience. **Academia Brasileira de Ciências**, v. 77, n. 3, p. 549–579, 2005.

BASHAN, Y.; BASHAN, L. E. de; PRABHU, S. R.; HERNANDEZ, J. P. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: Formulations and practical perspectives (1998-2013). **Plant and Soil**, v. 378, n. 1–2, p. 1–33, 2014.

BASHAN, Y.; HOLGUIN, G.; DE-BASHAN, L. E. *Azospirillum*-plant relationships: Physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). **Canadian Journal of Microbiology**, v. 50, n. 8, p. 521–577, 2004.

BASTIÁN, F.; COHEN, A.; PICCOLI, P.; LUNA, V.; BARALDI, R.; BOTTINI, R. Production of indole-3-acetic acid and gibberellins A1 and A3 by *Acetobacter diazotrophicus* and *Herbaspirillum seropedicae* in chemically-defined culture media. **Plant Growth Regulation**, v. 24, n. 1, p. 7–11, 1998.

BELLÉ, R. F. **Desenvolvimento inicial de plantas de milho inoculadas com *Azospirillum brasilense* e fertilizadas com cama de frango**. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2015.

BLAHA, D.; PRIGENT-COMBARET, C.; MIRZA, M. S.; MOËNNE-LOCCOZ, Y. Phylogeny of the 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase-encoding gene *acdS* in

phytobeneficial and pathogenic proteobacteria and relation with strain biogeography. **Federation of European Microbiological Societies Microbiology Ecology**, v. 56, n. 3, p. 455–470, 2006.

BLUM, L. E. B.; AMARANTE, C. V. T. do; GÜTTLER, G.; MACEDO, A. F. de; KOTHE, D. M.; SIMMLER A. O.; PRADO, G. do; GUIMARÃES, L. S. Produção de moranga e pepino em solo com incorporação de cama aviária e casca de pinus. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 4, p. 627–631, 2003.

BOT, A.; BENITES, J. The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production. Food & Agriculture Organization of the United Nations. FAO: Roma, Italia, 2005.

BRASIL. 2020. Projeções do Agronegócio: Brasil 2019/20 a 2029/30 projeções de longo prazo. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. – Brasília: MAPA/ACE.

BULEGON, L. G.; BATTISTUS, A. G.; GUIMARÃES, V. F.; INAGAKI, A. M.; OFFEMANN, L. C.; SOUZA, A. K. P.; OLIVEIRA, P. S. R. Physiological responses of *Urochloa ruziziensis* inoculated with *Azospirillum brasilense* to severe drought and rehydration conditions. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 10, p. 1283-1289, 2017.

ÇAKMAKÇI, R.; DÖNMEZ, F.; AYDIN, A.; ŞAHİN, F. Growth promotion of plants by plant growth-promoting rhizobacteria under greenhouse and two different field soil conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 6, p. 1482-1487, 2006

CONAB. 2022. Acompanhamento de safra brasileira – grãos: quinto levantamento, fevereiro 2022 – safra 2021/2022: Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento.

COSTA, A. M. da; BORGES, E. N.; SILVA, A. de A.; NOLLA, A.; GUIMARÃES, E. C. Potencial de recuperação física de um latossolo vermelho, sob pastagem degradada, influenciado pela aplicação de cama de frango. **Ciência Agrotecnológica**, v. 33, n. 1, p. 1991–1998, 2009.

COSTA, R. R. G. F.; QUIRINO, G. da S. F.; NAVES, D. C. de F.; SANTOS, C. B.; ROCHA, A. F. de S. Efficiency of inoculant with *Azospirillum brasilense* on the growth and yield of second-harvest maize. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 3, p. 304–311, 2015.

DING, Y. Q.; WANG, J. P.; LIU, Y.; CHEN, S. F. Isolation and identification of nitrogen fixing *Bacillus* from plant rhizosphere in Beijing region. **Journal of Applied Microbiology**, v. 99, n. 5, p. 1271-1281, 2005.

DOBBELAERE, S.; VANDERLEYDEN, J.; OKON, Y. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. **Critical reviews in plant sciences**, v. 22, n. 2, p. 107-149, 2003.

DÖBEREINER, J.; DAY, J. M. Associative symbioses in tropical grasses: characterization of microorganisms and dinitrogen-fixing sites. *In*: Proceedings of the 1st international symposium on nitrogen fixation 1976, **Anais [...]**: Washington State University Press Pullman, p. 518–538, 1976.

DOBEREINER, J.; PEDROSA, F. O. **Nitrogen-fixing bacteria in non-leguminous crop plants**. New York: Springer, 155p. 1987.

DORJEY, S.; DOLKAR, D.; SHARMA, R. Plant Growth Promoting Rhizobacteria *Pseudomonas*: A Review. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 10, n. 4, p. 882–886, 2017.

DUNGAIT, J. A.; HOPKINS, D. W.; GREGORY, A. S.; WHITMORE, A. P. Soil organic matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance. **Global Change Biology**, v. 18, n. 6, p. 1781-1796, 2012.

ERRINGTON, J. Regulation of endospore formation in *Bacillus subtilis*. **Nature Reviews Microbiology**, v. 1, n. 2, p. 117-126, 2003.

FEREIDOONI, M.; RAIESI, F.; FALLAH, S. Ecological restoration of soil respiration, microbial biomass and enzyme activities through broiler litter application in a calcareous soil cropped with silage maize. **Ecological Engineering**, v. 58, n. 1, p. 266-277, 2013.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 273p. 2007.

GNANAMANICKAM, S. S. **Plant-associated bacteria**. New York: Springer, 722p. 2006.

HALL, P. G.; KRIEG, N. R. Application of the indirect immunoperoxidase stain technique to the flagella of *Azospirillum brasilense*. **Applied and environmental microbiology**, v. 47, n. 2, p. 433, 1984.

HARWOOD, C. R. **Biotechnology Handbooks 2: *Bacillus***. New York: Plenum Press, 424p. 1989.

HAYAT, R.; ALI, S.; AMARA, U.; KHALID, R.; AHMED, I. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. **Annals of microbiology**, v. 60, n. 4, p. 579-598, 2010.

HUERGO, L. F.; MONTEIRO, R. A.; BONATTO, A. C.; RIGO, L. U.; STEFFENS, M. B. R.; CRUZ, L. M.; CHUBATSU, L. S.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Regulation of nitrogen fixation in *Azospirillum brasilense*. **Azospirillum sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina**. Buenos Aires: Asociación Argentina de Microbiología, p. 17–35, 2008.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant Soil**, v. 331, n. 1, p. 413–425, 2010.

JN-BAPTISTE, M.; SISTANI, K. R.; TEWOLDE, H. Poultry litter time and method of application effects on corn yield. **Soil science**, v. 178, n. 3, p. 109-119, 2013.

KAPRI, A.; TEWARI, L. Phosphate solubilization potential and phosphatase activity of rhizospheric *Trichoderma* spp. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 41, n. 3, p. 787-795, 2010.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 431p. 2008.

KHAN, N.; BANO, A. Role of plant growth promoting rhizobacteria and Ag-nano particle in the bioremediation of heavy metals and maize growth under municipal wastewater irrigation. **International Journal of Phytoremediation**, v. 18, n. 3, p. 211-221, 2016.

KOVÁCS, Á. T. *Bacillus subtilis*. **Trends in Microbiology**, v. 27, n. 8, p. 724-725, 2019.

LANDGRAF, M. D.; MESSIAS, R. A.; REZENDE, M. O. O. **A importância ambiental da vermicompostagem: vantagens e aplicações**. São Carlos: Rima, 106p. 2005.

LIU, E.; YAN, C.; MEI, X.; HE, W.; BING, S. H.; DING, L.; LIU, Q. Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China. **Geoderma**, v. 158, n. 3-4, p. 173-180, 2010.

LOGAN, N. A.; BERGE, O.; BISHOP, A. H.; BUSSE, H.-J.; DE VOS, P.; FRITZE, D.; HEYNDRICKX, M.; KÄMPFER, P.; RABINOVITCH, L.; SALKINOJA-SALONEN, M. S.; SELDIN, L.; VENTOSA, A. Proposed minimal standards for describing new taxa of aerobic, endospore-forming bacteria. **International journal of systematic and evolutionary microbiology**, v. 59, n. 8, p. 2114-2121, 2009.

MANDIC-MULEC, I.; PROSSER, J. I. Diversity of endospore-forming bacteria in soil: characterization and driving mechanisms. *In: Endospore-forming soil bacteria*. Springer, Berlin, Heidelberg. p. 31-59, 2011.

MARKS, B. B.; MEGÍAS, M.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Biotechnological potential of rhizobial metabolites to enhance the performance of *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense* inoculants with soybean and maize. **Applied Microbiology and Biotechnology Express**, v. 3, n. 21, p. 1-10, 2013.

MEHNAZ, S. *Azospirillum*: A biofertilizer for Every Crop. *In: Plant Microbes Symbiosis: Applied Facets*. Springer, Uttar Pradesh, India, p. 297-314, 2015.

MOEINZADEH, A.; SHARIF-ZADEH, F.; AHMADZADEH, M.; TAJABADI, F. H. Biopriming of sunflower (*Helianthus annuus* L.) seed with *Pseudomonas fluorescens* for improvement of seed invigoration and seedling growth. **Australian Journal of Crop Science**, v. 4, n. 7, p. 564-570, 2010.

MUMTAZ, M. Z.; AHMAD, M.; JAMIL, M.; HUSSAIN, T. Zinc solubilizing *Bacillus* spp. potential candidates for biofortification in maize. **Microbiological Research**, v. 202, n. 1, p. 51-60, 2017.

NADEEM, S. M.; NAVEED, M.; AYYUB, M.; KHAN, M. Y.; AHMAD, M.; ZAHIR, Z. A. Potential, limitations and future prospects of *Pseudomonas* spp. For sustainable agriculture and environment: A review. **Soil and Environment**, v. 35, n. 2, p. 106–145, 2016.

NAVEED, M.; KHALID, M.; JONES, D. L.; AHMAD, R.; ZAHIR, Z. A. Relative efficacy of *Pseudomonas* spp., containing ACC-deaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of organic fertilizer. **Pakistan Journal of Botany**, v. 40, n. 3, p. 1243-1251, 2008.

OKON, Y.; CAKMAKCI, L.; NUR, I.; CHET, I.. Aerotaxis and chemotaxis of *Azospirillum brasilense*: a note. **Microbial ecology**, v. 6, n. 3, p. 277–280, 1980.

PALLERONI, N. J.; KUNISAWA, R.; CONTOPOULOU, R.; DOUDOROFF, M. Nucleic acid homologies in the genus *Pseudomonas*. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 23, n. 4, p. 333–339, 1973.

PANPATTE, D. G.; JHALA, Y. K.; SHELAT, H. N.; VYAS, R. V. *Pseudomonas fluorescens*: A Promising Biocontrol Agent and PGPR for Sustainable Agriculture. **Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity**, v. 1, n. 1, p. 1–343, 2016.

PARTE, A. C.; CARBASSE, J. S.; MEIER-KOLTHOFF, J. P.; REIMER, L.C.; GÖKER, M. List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature (LPSN) moves to the DSMZ. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 70, n. 11, 5607–5612, 2020.

PEDRAZA, R. O. Recent advances in nitrogen-fixing acetic acid bacteria. **International Journal of Food Microbiology**, v. 125, n. 1, p. 25–35, 2008.

PITTA, C. S. R.; ADAMI, P. F.; PELISSARI, A.; ASSMANN, T. S.; FRANCHIN, M. F.; CASSOL, L. C.; SARTOR, L. R. Year-round poultry litter decomposition and N, P, K and Ca release. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 1043–1053, 2012.

PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L. de A.; CANTARELLA, H.; SILVA, A. G. da. Efeito de doses e de fontes de nitrogênio na composição mineral de capim-marandu. **Embrapa Pecuária Sudeste**. Comunicado técnico, 7p. 2005.

QIU, Z.; EGIDI, E.; LIU, H.; KAUR, S.; SINGH, B. K. New frontiers in agriculture productivity: Optimised microbial inoculants and in situ microbiome engineering. **Biotechnology Advances**, v. 37, n. 6, p. 107–371, 2019.

QUADROS, P. D.; ROESCH, L. F. W.; SILVA, P. R. F.; VIEIRA, V. M.; ROESCH, D. D.; CAMARGO, F. A. O. Desempenho agrônômico a campo de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*. **Revista Ceres**, v. 61, n. 2, p. 209–218, 2014.

RAAIJMAKERS, J. M.; MAZZOLA, M. Diversity and natural functions of antibiotics produced by beneficial and plant pathogenic bacteria. **Annual Review of Phytopathology**, v. 50, n. 1, p. 403–424, 2012.

RANUM, P.; PEÑA-ROSAS, J. P.; GARCIA-CASAL, M. N. Global Maize Production, Utilization, and Consumption. **Annals of The New York Academy of Sciences**, v. 1312, n. 1, p. 105-112, 2014.

RODRIGUES, L. F. O. S.; GUIMARÃES, V. F.; SILVA, M. B.; PINTO JR, A. S.; KLEIN, J.; COSTA, A. C. P. R. Agronomic characteristics of wheat due to *Azospirillum brasilense*, humic acids and nitrogen in greenhouse. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 18, n. 1, p. 31-37, 2014.

RODRIGUEZ, H.; GONZALEZ, T.; GOIRE, I.; BASHAN, Y. Gluconic acid production and phosphate solubilization by the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* spp. **Naturwissenschaften**, v. 91, n. 11, p. 552–555, 2004.

RODRÍGUEZ-NAVARRO, D. N.; DARDANELLI, M. S.; RUÍZ-SAÍNIZ, J. E. Attachment of bacteria to the roots of higher plants. **Federation of European Microbiological Societies Microbiology Letters**, v. 272, n. 2, p. 127–136, 2007.

SAEID, A.; PROCHOWNIK, E.; DOBROWOLSKA-IWANIEK, J. Phosphorus solubilization by *Bacillus* species. **Molecules**, v. 23, n. 11, p. 2897, 2018.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiologia das plantas Cengage Learning**. Belmont: Wadsworth, 792p. 2012.

SANDINI, I. E.; PACENTCHUK, F.; HUNGRI, M.; NOGUEIRA, M. A.; DA CRUZ, S. P.; NAKATANI, A. S.; ARAUJO, R. S. Seed inoculation with *Pseudomonas fluorescens* promotes growth, yield and reduces nitrogen application in maize. Embrapa Soja. **International Journal of Agriculture and Biology**. v. 22, n. 6, p. 1369-1375, 2019.

SANTOS, L. A. L. de. **Efeitos da co-inoculação de *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* associados adubação química e orgânica na cultura do milho**. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) - Universidade Federal Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul, 2019.

SANTOS, L. B. D.; CASTAGNARA, D. D.; BULEGON, L. G.; ZOZ, T.; RABELLO DE OLIVEIRA, P. S.; GONÇALVES, A. C.; NERES, M. A. Mineral nitrogen substitution by chicken litter in succession oat/corn. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 272-281, 2014.

SANTOS, M. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. **Applied Microbiology and Biotechnology Express**, v. 9, n. 205, p. 1-22, 2019.

SAXENA, J.; RANA, G.; PANDEY, M. Impact of addition of biochar along with *Bacillus* sp. on growth and yield of french beans. **Scientia Horticulturae**, v. 162, n. 1, p. 351-356, 2013.

SILVA, L. F. P. da; ROSSET, J. S.; OZÓRIO, J. M. B.; CASTILHO, S. C. de P.; MARRA, L. M. Desenvolvimento da cultura do milho e carbono orgânico total sob diferentes fontes de adubos. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**; v. 13, n. 4, p. 1509-1532, 2020.

SOBTI, R. C.; ARORA, N. K.; KOTHARI, R. **Environmental Biotechnology: For Sustainable Future**. Singapore: Springer, 401p. 2019.

SOROKIN, I. D.; KRAVCHENKO, I. K.; TOUROVA, T. P.; KOLGANOVA, T. V.; BOULYGINA, E. S.; SOROKIN, D. Y. U. *Bacillus alkali diazotrophicus* sp. nov., a diazotrophic, low salt-tolerant alkaliphile isolated from mongolian soda soil. **International journal of systematic and evolutionary microbiology**, v. 58, n. 10, p. 2459-2464, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 888p. 2017.

TARRAND, J. J.; KRIEG, N. R.; DÖBEREINER, J. A taxonomic study of the *Spirillum lipoferum* group, with descriptions of a new genus, *Azospirillum* gen. nov. and two species, *Azospirillum lipoferum* (Beijerinck) comb. nov. and *Azospirillum brasilense* sp. nov. **Canadian journal of microbiology**, v. 24, n. 8, p. 967-980, 1978.

VALENTE, B. S.; XAVIER, E. G.; MORSELLI, T. B. G. A.; JAHNKE, D. S.; BRUM JR, B.; CABRERA, B. R.; MORAES, P.; LOPES, D. C. N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de zootecnia**, v. 58, n. 224, p. 59-85, 2009.

VAN OOSTEN, M. J.; PEPE, O.; PASCALE, S. de; SILLETTI, S.; MAGGIO, A. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 4, n. 1, p. 1–12, 2017.

VITTO, D.C.; GUIMARÃES, V. F.; OLIVEIRA, P. S. R. de; CECATTO Jr, R.; SILVA, A. S. L. da; HOSCHEID, A. R. S. Produção e produtividade de milho inoculado com *Azospirillum brasilense* fertilizado com cama de frango. **Nativa**, v. 10, n. 4, p. 477-485, 2022.

WANI, P. A.; KHAN, M. S. *Bacillus* species enhance growth parameters of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in chromium stressed soils. **Food and Chemical Toxicology**, v. 48, n. 11, p. 3262-3267, 2010.

WATTS, D. B.; TORBERT, H. A.; PRIOR, S. A.; HULUKA, G. Long-term tillage and poultry litter impacts soil carbon and nitrogen mineralization and fertility. **Soil Science Society of America Journal**. v. 74, n. 4, p. 1239-1247, 2010.

WEI, J. Z.; O'REAR, J.; SCHELLENBERGER, U.; ROSEN, B. A.; PARK, Y. J.; MCDONALD, M. J.; ZHU, G.; XIE, W.; KASSA, A.; PROCYK, L.; ORTEGA, C. P.; ZHAO, J.; YALPANI, N.; CRANE, V. C.; DIEHN, S. H.; SANDAHL, G. A.; NELSON, M. E.; LU, A. L.; WU, G.; LIU, L. A selective insecticidal protein from *Pseudomonas mosselii* for corn rootworm control. **Plant biotechnology journal**. v. 16, n. 2, p. 649-659, 2018.

XIE, G. H.; SU, B. L.; CUI, Z. J. Isolation and identification of N<sub>2</sub>-fixing strains of *Bacillus* in rice rhizosphere of the Yangtze River valley. **Acta Microbiologica Sinica**, v. 38, n. 6, p. 480-483, 1998.

### **3 ARTIGO 1 - CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE MILHO, INOCULADAS COM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO, E FERTILIZADAS COM CAMA DE FRANGO.**

Este trabalho avaliou se a inoculação de bactérias promotoras crescimento vegetal associadas à fertilização com cama de frango otimizam as respostas sobre o acúmulo de biomassa, teor indireto de clorofila e componentes da produção do milho. O experimento foi realizado em cultivo protegido, DBC, com quatro repetições, esquema fatorial 4x5 mais 4 tratamentos adicionais. O primeiro fator: BPCVs: (1) sem inoculação; (2) *Azospirillum brasilense*; (3) *Bacillus subtilis*+*B. megaterium* e (4) *Pseudomonas fluorescens*. O segundo fator: aplicação de 5 doses de cama de frango, sendo elas: 0; 0,5; 1; 1,5; 2,0 vezes a dose recomendada de 3530 kg ha<sup>-1</sup> de cama de frango, os tratamentos adicionais foram realizados com fertilizante químico na dose de 370 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 10-15-15 juntamente com 250 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples (SFS) no momento da semeadura e adubação de cobertura com 408 kg ha<sup>-1</sup> de uréia no estágio V6, aliado ao tratamento sem inoculação e à dose de cada inoculante contendo as bactérias. Variáveis avaliadas: altura de plantas, diâmetro de colmo, SPAD, massa seca de folhas, colmo+bainha e raiz, área foliar, volume de raiz, altura de espiga, comprimento de espiga, diâmetro de espiga, massa de espiga, grãos por espiga, fileiras por espiga, grãos por fileira, massa total de grãos e massa de mil grãos. A interação de BPCV e cama de frango influenciou no acúmulo de biomassa e componentes de produção do milho. O melhor desempenho do milho, considerando a utilização das BPCV, foi obtido com doses acima das 3 toneladas por hectare.

**Palavras-chave:** *A. brasilense*. *Bacillus* spp. *P. fluorescens*. adubação orgânica.

### 3.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado mundialmente o terceiro maior produtor de milho, alcançando 113,3 milhões de toneladas na safra 2021/22, superando as últimas safras com aumento de 30,1% em relação ao ano anterior (CONAB, 2022). Possui alto valor nutricional, sendo principalmente utilizada na alimentação humana e animal.

A pecuária brasileira apresenta alta produção de resíduos orgânicos, e ao mesmo tempo, ocasiona impactos ambientais, pois sua taxa de geração é maior que de degradação. Assim, é cada vez mais importante e necessário encontrar formas de aproveitamento desse material. Dessa forma, uma das alternativas de uso para os resíduos orgânicos é como fertilizantes em plantas, pois esse material possui alto potencial nutritivo, podendo ser empregado como matéria prima para a adubação de forma complementar ou total, diminuindo o custo de manejo das culturas da região (SANTOS et al., 2014).

Entre os resíduos oriundos da produção animal, a cama de frango, é considerada um composto formado pela mistura da forração de pisos de galpões utilizadas para a proteção dos animais, que ao passar pelos diversos lotes de frangos de corte, fica constituída por dejetos, penas e restos de ração (BLUM et al., 2003). A cama de frango apresenta variabilidade em sua composição, dependendo do sistema de criação utilizado, o número de lotes criados sobre a cama, modo e tempo de compostagem.

Segundo Pitta et al. (2012), nos primeiros 60 dias após o material ser retirado, ocorre a maior parte da decomposição e da liberação dos nutrientes da cama de frango, apresentando valores em torno de 40, 34, 91 e 39% de liberação para os nutrientes N, P, K e Ca, respectivamente, encontrados na massa seca inicial da cama. Sendo assim, para se recomendar a quantidade correta de sua aplicação, deve-se levar em conta as propriedades químicas da cama de frango, do solo, bem como, as necessidades da cultura (COSTA et al., 2009).

A utilização de cama de frango pode favorecer o melhoramento de várias características do solo quando comparado aos adubos químicos, aumentando a presença de macro e micronutrientes (ZHANG et al., 2001), a capacidade de troca catiônica (CTC) (WATTS et al., 2010), o teor de matéria orgânica e carbono total do solo, promovendo incrementos na sua qualidade química, física e biológica (SANTOS et al., 2014).

No milho, o uso da cama de frango tem taxas de disponibilidade de até 50% de N quando comparado a aplicação de nitrato de amônio na sua produtividade, com aumentos de até 800 kg de grãos por hectare (JN-BAPTISTE et al., 2013). O uso desses resíduos está se tornando uma importante forma de minimizar custos com fertilização na produção de plantas. No entanto,

para elevar a eficiência de seu uso pela cultura é possível empregar a prática biotecnológica de inoculação em sementes utilizando bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCVs).

As BPCVs são microrganismos que crescem próximo às raízes (rizobactérias) das plantas sendo estimuladas pelos exsudatos radiculares e que tem a capacidade de promover o crescimento vegetal por diferentes mecanismos quando inoculadas nas sementes ou no solo (COSTA et al., 2015). São capazes dentre outras características, de participar direta ou indiretamente da absorção de nitrogênio pela planta, assim como, atuarem na dissolução do P inorgânico, por meio da excreção de ácidos orgânicos e quelatos que aceleram seu processo de decomposição e liberação (ADESEMOYE et al., 2008).

Dentre os microrganismos capazes de auxiliar na promoção do crescimento da planta, encontra-se as bactérias do gênero *Azospirillum* sp. Esses organismos são considerados bactérias endofíticas facultativas, pois colonizam tanto o interior quanto as superfícies das raízes de gramíneas (BALDANI e BALDANI, 2005).

Dentre outras bactérias solubilizadoras de fosfato naturalmente encontrados em abundância nos solos, as cepas bacterianas relacionadas aos gêneros, *Pseudomonas* e *Bacillus* spp. são as mais estudadas pois possuem a capacidade de solubilizar P pela redução do pH do meio (MUMTAZ et al., 2017) e são capazes de produzir ácidos orgânicos como láctico, cítrico, acético, ácidos glucônico, malônico e succínico (WEI et al., 2018).

Alguns estudos realizados com inoculações do gênero *Bacillus* em plantas, relatam a promoção do crescimento e aumento da produtividade, produção de fitormônios, solubilização de P, absorção de N e outros íons após a inoculação com diferentes espécies de *Bacillus* (ÇAKMAKÇI et al., 2006; DOBBELAERE et al., 2003; HAYAT et al., 2010; WANI e KHAN, 2010).

Resultados de estudos relatam que o aumento da atividade enzimática de microrganismos é influenciado pela presença da matéria orgânica no solo (FEREIDOONI et al., 2013; LIU et al., 2010) e que microrganismos presentes nesse solo tem a capacidade de estimular a decomposição de resíduos orgânicos, como exemplo, a inoculação de *A. brasilense* pode proporcionar maior produção de biomassa em plantas de milho fertilizadas com cama de frango em relação ao grupo não inoculado (VITTO et al., 2022). Ao mesmo tempo que a utilização de *Bacillus* sp. é capaz de aumentar do teor de N e P em feijão (*Phaseolus vulgaris*), quando comparada com a mesma taxa de fertilizante químico com inoculantes (SAXENA, et al., 2013) a bactéria *P. fluorescens* suplementada com meia dose de fertilizante orgânico aumenta significativamente o crescimento e a produtividade do milho em comparação com a dose completa de fertilizante químico isoladamente (NAVEED et al., 2008).

Apesar de algumas pesquisas realizadas na área, ainda há a necessidade de trabalhos que possam avaliar os efeitos da prática da inoculação com BPCVs em sementes quando associada aos fertilizantes orgânicos verificando o desempenho agrônômico dessa relação em plantas de milho na região oeste do Paraná.

Este trabalho objetivou avaliar se a inoculação das bactérias *A. brasilense*, *B. subtilis* + *B. megaterium* e *P. fluorescens* associadas à fertilização com cama de frango otimizam as respostas sobre o acúmulo de biomassa de plantas, teor indireto de clorofila e componentes da produção do milho.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Descrição do local do experimento

O experimento foi desenvolvido em cultivo protegido, durante a safra de 2019/2020, na Estação Experimental de Cultivo Protegido e Controle Biológico Prof. Dr. Mario César Lopes, pertencente ao Núcleo de Estações Experimentais da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Campus de Marechal Cândido Rondon - PR. O município está localizado no extremo Oeste do Estado do Paraná sob as coordenadas geográficas 54° 22' Oeste, 24° 46' Sul e altitude média de 420 metros.

A implantação e condução do experimento ocorreu em vasos de polietileno de 25 kg. O substrato utilizado para o preenchimento dos vasos foi proveniente do horizonte A de um LATOSSOLO VERMELHO eutroférico (LVef) (SANTOS et al., 2013), de textura muito argilosa. Foi coletado material na camada de 0 – 20 cm, no município de Marechal Cândido Rondon – PR. Antes da instalação do experimento se realizou a coleta de solo para sua caracterização química.

O clima da região é do tipo Cfa, subtropical mesotérmico, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, com precipitação pluvial média variando de 1600 a 1800 mm (APARECIDO et al., 2016). Ao longo do ciclo da cultura, os dados climáticos, como temperatura e umidade relativa do ar (UR), eram registrados por um Termohigrômetro Datalogger, colocado dentro do ambiente protegido onde foi conduzido o experimento (Figura 1).

### 3.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial 4x5 mais 4 tratamentos adicionais. O primeiro fator foi referente à aplicação de inoculantes

contendo BPCVs: (1) sem inoculação; (2) *Azospirillum brasilense* AbV5 e AbV6 ( $2 \times 10^8$  UFC  $\text{ml}^{-1}$ ); (3) *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium* ( $4 \times 10^9$  UFC  $\text{ml}^{-1}$ ) e (4) *Pseudomonas fluorescens* ( $2 \times 10^8$  UFC  $\text{ml}^{-1}$ ). O segundo fator, consistiu na aplicação de doses da cama de frango, sendo elas: 0; 0,5; 1; 1,5; 2,0 vezes a dose recomendada, que foi de  $3530 \text{ kg ha}^{-1}$  de cama de frango, ou seja: 0, 1765, 3530, 5295, 7061  $\text{kg ha}^{-1}$  de cama de frango, respectivamente.

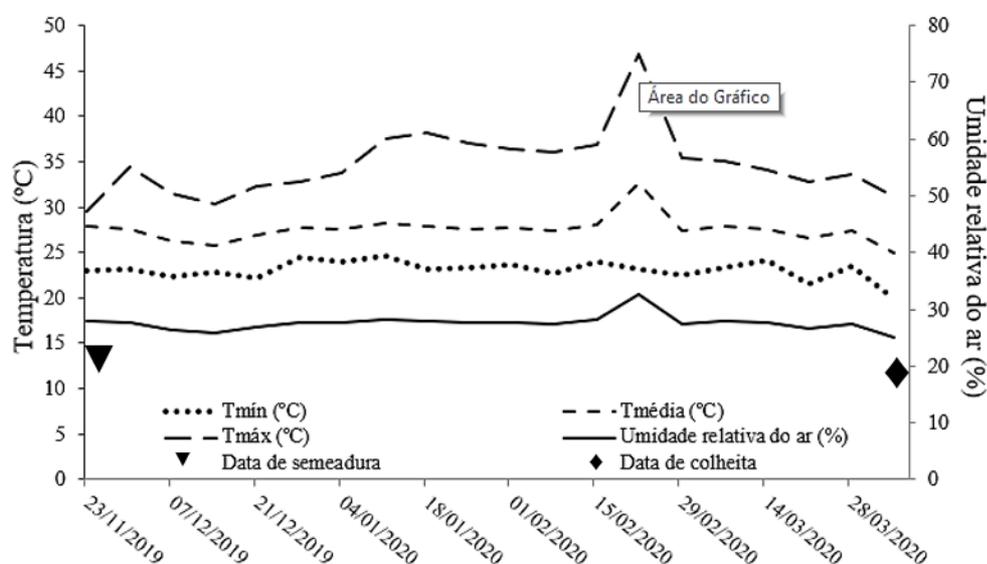


Figura 1 - Médias quinzenais de temperatura mínima, média e máxima e umidade relativa do ar durante os meses no período do experimento em cultivo protegido.

Nos tratamentos adicionais foram aplicados a dose recomendada de fertilizante químico, sem inoculação e a mesma dose juntamente com cada inoculante contendo as BPCVs. Dessa forma, o experimento constou de 24 tratamentos com 4 repetições, totalizando 96 unidades experimentais com 2 plantas cada. O experimento foi instalado em duplicata com o objetivo de realizar as análises destrutivas no estágio V8 das plantas.

### 3.2.3 Material vegetal e condução experimental

Realizou-se a análise química do solo no Laboratório de Química Ambiental e Instrumental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus Marechal Cândido Rondon. A análise resultou nos seguintes valores:  $14,35 \text{ g dm}^{-3}$  de M.O.; pH ( $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ) 4,99;  $10,40 \text{ mg dm}^{-3}$  de P ( $\text{melich}^{-1}$ );  $0,52 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de  $\text{K}^+$ ;  $4,04 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de  $\text{Ca}^{2+}$ ;  $1,19 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de  $\text{Mg}^{2+}$ ;  $12,00 \text{ mg dm}^{-3}$  de Cu;  $2,40 \text{ mg dm}^{-3}$  de Zn;  $105,00 \text{ mg dm}^{-3}$  de Mn;  $31,60 \text{ mg dm}^{-3}$  de Fe;  $9,49 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de CTC; 60,69% de saturação de bases e relação Ca/Mg de 3,40.

O material utilizado para a adubação orgânica dos tratamentos foi cama de frango proveniente de propriedade rural da região, que reutilizou cama de maravalha por 9 lotes

seguidos de frangos de corte, com duração aproximada de 42 dias cada lote. Não era utilizado gesso sobre a cama durante o intervalo entre os lotes. Assim, após a retirada do último lote, esta cama passou por trituração com auxílio de triturador ainda no aviário, amontoa e permaneceu por 30 dias em repouso coberto com lonas pretas, procurando manter sempre o material com alta umidade (>60%) através de regas semanais e conseqüentemente alta temperatura pela atuação dos microrganismos.

Após a compostagem, o material foi enviado para realização de análise química e determinação de sua composição no Laboratório SBS de Análises Agronômicas e Veterinárias, localizada no município de Cascavel - PR, resultando na seguinte composição: 40,06% de massa seca; 26,39% de resíduo mineral total; pH ( $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>) 7,7; 2,93% de N total; 1,23% de P total; 2,39% de K total; 3,31% de Ca total; 1,01% de Mg total; 376,5 mg kg<sup>-1</sup> de Cu total; 548,5 mg kg<sup>-1</sup> de Zn total; 625 mg kg<sup>-1</sup> de Mn total; 6989,5 mg kg<sup>-1</sup> de Fe total e 52,34 mg kg<sup>-1</sup> de B total.

Antes da semeadura foi realizada a aplicação dos adubos orgânicos e químicos nos vasos, utilizando como base a análise química de solo e da cama de frango, bem como os cálculos da recomendação do Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná na cultura do milho (PAVINATO et al., 2017). Nos tratamentos com adubação orgânica foram aplicados em superfície as cinco doses: 0, 1765 (51,7 kg de N; 21,7 kg de P; 42,18 kg de K), 3530 (103 kg de N; 43,4 kg de P; 84,36 kg de K), 5295 (155,87 kg de N; 65,43 kg de P; 127,15 kg de K), 7061 (206,88 kg de N; 86,8 kg de P; 168,76 kg de K) kg ha<sup>-1</sup> de cama de frango.

Para a adubação química, no momento da implantação do experimento, foi usado 370 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 10-15-15, possuindo 10% de nitrogênio, 15% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 15% de K<sub>2</sub>O e para complemento do fósforo na semeadura foi aplicado 250 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples contendo 18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Quando a planta atingiu o estágio V6, realizou-se adubação de cobertura, com aplicação de 408 kg ha<sup>-1</sup> de uréia contendo 45% de nitrogênio. Esses valores de adubo químico resultaram nas quantidades de 238 kg de N; 100,5 kg de P; 55,5 kg de K aplicados por hectare.

Foram utilizadas para o experimento sementes de milho da cultivar AS 1677 com tecnologia VTPRO3, da empresa Agroeste®, denominado como Híbrido Simples e hiper precoce.

A semeadura ocorreu no dia 23 de novembro de 2019, sendo realizada a inoculação das sementes 30 minutos antes, com o auxílio de sacos plásticos, adicionando o volume de 100 ml para 60000 sementes ou 1,67 µL por semente de inoculante e cada tratamento e homogeneizando por agitação manual durante 3 minutos.

Foi realizado desbaste de plantas quando estas apresentavam de 4 a 5 folhas totalmente expandidas, mantendo apenas as duas plantas mais vigorosas em cada vaso. A irrigação foi realizada por gotejamento nos vasos durante todos os dias, sempre efetuada no mesmo horário do dia, sendo interrompida quando se atingia a capacidade de campo do solo, ou seja, até o escoamento sob o vaso iniciar.

### 3.2.4 Análises morfométricas

Nos estádios V4 e V8, foram realizadas mensurações da altura de plantas e diâmetro de colmo expresso em cm, com auxílio de régua graduada, de fita métrica e de paquímetro digital. Também no estádio V8 realizou-se a mensuração do teor indireto de clorofila nas folhas (índice SPAD) no terço médio em todas as folhas uteis da planta, utilizando o medidor portátil de clorofila SPAD-502 Plus (Konica Minolta Sensing Americas, Inc.).

Ao atingir o estádio V8, as plantas passaram pelas análises destrutivas. Foram coletadas suas folhas para determinação de área foliar segundo Benincasa (2003) sendo retiradas áreas das folhas de tamanho conhecido (cm<sup>2</sup>), consideradas como área foliar da amostra (AF amostra), evitando-se a nervura central, as quais passaram por secagem em estufa de circulação de ar forçada a 65 °C ± 3 °C durante 72 horas e determinação da massa seca da amostra (g) em balança analítica de precisão (MS amostra). Procedeu-se também a secagem do total de folhas das plantas para a massa seca foliar total (MSF Total) determinando assim a área foliar total (AF Total) de acordo com a seguinte fórmula:

$$AF\ TOTAL = \frac{AF\ amostra \times MSF\ Total}{MS\ amostra}$$

onde a AF Total foi transformada de cm<sup>2</sup> para m<sup>2</sup>.

Determinou-se o volume de raiz de plantas utilizando o método de deslocamento de volumes. As raízes foram lavadas em água, retirado o excesso de umidade com auxílio do papel toalha. Em seguida, fez-se a mensuração pelo método de deslocamento de líquidos em proveta graduada, onde foi adicionado 250 ml de solução composta por 90% de água e 10% de álcool etílico 70%, usado para quebra da tensão superficial da água, visando eliminar a formação de bolhas de ar. As raízes foram depositadas na solução até estarem completamente submersas e então foi realizada a leitura anotando-se o volume em cm<sup>3</sup>.

Ao final das análises destrutivas, as plantas do estádio V8 foram utilizadas para mensuração da massa seca de plantas, sendo a biomassa seccionada em raiz, folhas e colmo+bainha e acondicionadas em sacos de papel kraft para secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C ± 2 °C durante 72 horas ou até alcançar a massa constante. Em seguida,

estas amostras foram pesadas em balança analítica obtendo-se a massa em g.

### **3.2.5 Componentes da produção**

No estágio R6, foi realizada a medição da altura de inserção de espigas em cm com auxílio de trena graduada. Após a colheita; foram determinados os componentes da produção: diâmetro de espiga com auxílio de paquímetro digital e expresso em cm; comprimento de espiga com auxílio de trena graduada, expressa em cm, contagem de número de fileiras, número de grãos por fileira, número de grãos por espiga e peso de espigas expresso em g.

Posteriormente foi realizada a secagem dos grãos em estufa até atingir 13% de umidade, mensurando-se a massa total de grãos, expressas em g e a massa de mil grãos, determinada a partir de cinco repetições de 100 sementes, pesadas em balança analítica; a média das cinco repetições foi multiplicada por 10 obtendo-se o valor do peso de mil grãos (BRASIL, 2009).

### **3.2.6 Análise estatística**

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância pelo teste F de Fisher-Snedecor ( $p < 0,05$ ). Quando detectadas diferenças significativas, foi realizada análise de regressão para as doses e comparações de médias da interação “dose x adicional” através do teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ). O teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) foi utilizado para comparação das médias resultantes dos tratamentos com inoculações. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software Sisvar (FERREIRA, 2014)

## **3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na tabela 2 são apresentados os quadrados médios relativos às variáveis avaliadas no experimento. Verificou-se que, de acordo com o teste F ( $p \leq 0,05$ ) utilizado, as diferenças entre as doses do adubo orgânico e químico foram estatisticamente significativas em todas as variáveis coletadas neste trabalho.

A análise de variância com o teste F ( $p \leq 0,05$ ) também apresentou efeitos significativos entre as diferentes bactérias utilizadas para a inoculação nos tratamentos isoladamente, apenas quando analisados o diâmetro de espiga, peso de espiga, número de grãos por espiga, número de grãos por fileira de espiga, massa total de grãos e massa de mil grãos. A interação entre os inoculantes e doses de fertilizante orgânico ou químico (Inoc x Dose) foi significativa apenas para as variáveis de massa da matéria seca de folhas, diâmetro de espigas e massa de mil grãos.

Tabela 2 - Graus de liberdade e quadrado médio de altura de plantas, diâmetro de colmo e índice SPAD em V4 e V8, massa da matéria seca de folhas, massa da matéria seca de colmo + bainha, massa da matéria seca de raiz, área foliar, volume de raiz, altura de inserção de espiga, comprimento de espiga, diâmetro de espiga, peso de espiga, número de grãos por espiga, número de fileira por espiga, número de grãos por fileira, massa total de grãos e massa de mil grãos em função do milho inoculado com diferentes bactérias promotoras de crescimento vegetal e adubado com doses de cama de frango e adubo químico em estufa.

FV	Quadrado Médio										
	GL	AltV4	AltV8	DiamV4	DiamV8	SPADV4	SPADV8	MMS Folhas	MMS Co + Ba	MMS Raiz	AF
Inoculante	3	10,793 <sup>ns</sup>	449,639 <sup>ns</sup>	3,069 <sup>ns</sup>	5,021 <sup>ns</sup>	26,295 <sup>ns</sup>	3,553 <sup>ns</sup>	5,529 <sup>ns</sup>	10,549 <sup>ns</sup>	42,671 <sup>ns</sup>	0,009 <sup>ns</sup>
Dose	5	497,650*	20182,375*	137,600*	88,864*	238,994*	321,543*	513,929*	3371,050*	2327,683*	0,365*
Inoc x Dose	15	11,772 <sup>ns</sup>	167,781 <sup>ns</sup>	4,028 <sup>ns</sup>	3,815 <sup>ns</sup>	11,947 <sup>ns</sup>	15,276 <sup>ns</sup>	5,649*	50,672 <sup>ns</sup>	21,634 <sup>ns</sup>	0,008 <sup>ns</sup>
Bloco	3	325,974	14589,139	34,792	11,552	86,287	190,369	2,546	25,299	492,382	0,099
Erro	69	8,233	512,110	3,328	2,355	12,652	9,545	2,836	44,427	111,739	0,010
CV (%)		10,93	17,53	15,28	10,57	11,13	11,88	8,29	18,64	55,89	16,33
Média		26,25	129,13	11,94	14,52	31,97	26,01	20,31	35,75	18,91	0,61

FV	Quadrado Médio										
	GL	Vol Raiz	Alt Espiga	Comp Espiga	Diam Esp	Peso Espiga	Grãos Espiga	Fileira Espiga	Grãos Fileira	MTG	MMG
Inoculante	3	334,288 <sup>ns</sup>	266,587 <sup>ns</sup>	2,078 <sup>ns</sup>	0,467*	760,972*	8044,554*	1,704 <sup>ns</sup>	33,778*	417,835*	14951,049*
Dose	5	25986,718*	2901,510*	68,997*	1,852*	7944,320*	92705,038*	4,659*	519,303*	5106,599*	29881,015*
Inoc x Dose	15	480,747 <sup>ns</sup>	162,278 <sup>ns</sup>	0,678 <sup>ns</sup>	0,207*	116,238 <sup>ns</sup>	1969,111 <sup>ns</sup>	1,181 <sup>ns</sup>	8,855 <sup>ns</sup>	74,375 <sup>ns</sup>	7418,060*
Bloco	3	4698,872	3015,337	5,978	0,433	365,237	1132,776	0,676	6,934	163,609	5716,905
Erro	69	489,995	157,427	1,489	0,076	174,301	2054,412	0,834	11,119	108,690	3540,219
CV (%)		23,42	11,68	11,56	8,21	23,89	28,00	7,29	26,28	23,56	19,49
Média		94,53	107,43	10,56	3,37	55,25	161,88	12,53	12,69	44,24	305,29

\* significativo pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ); <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ). FV: Fonte de Variação; QM: Quadrado médio; CV: Coeficiente de variação.

A fonte de adubo orgânico (cama de frango) utilizada, aumentou o crescimento das plantas de milho nas duas fases avaliadas, representado pela altura das plantas nas figuras 2A e 2B e pelo diâmetro de colmos, nas figuras 2C e 2D, os gráficos demonstram o aumento de forma quadrática dessas variáveis.

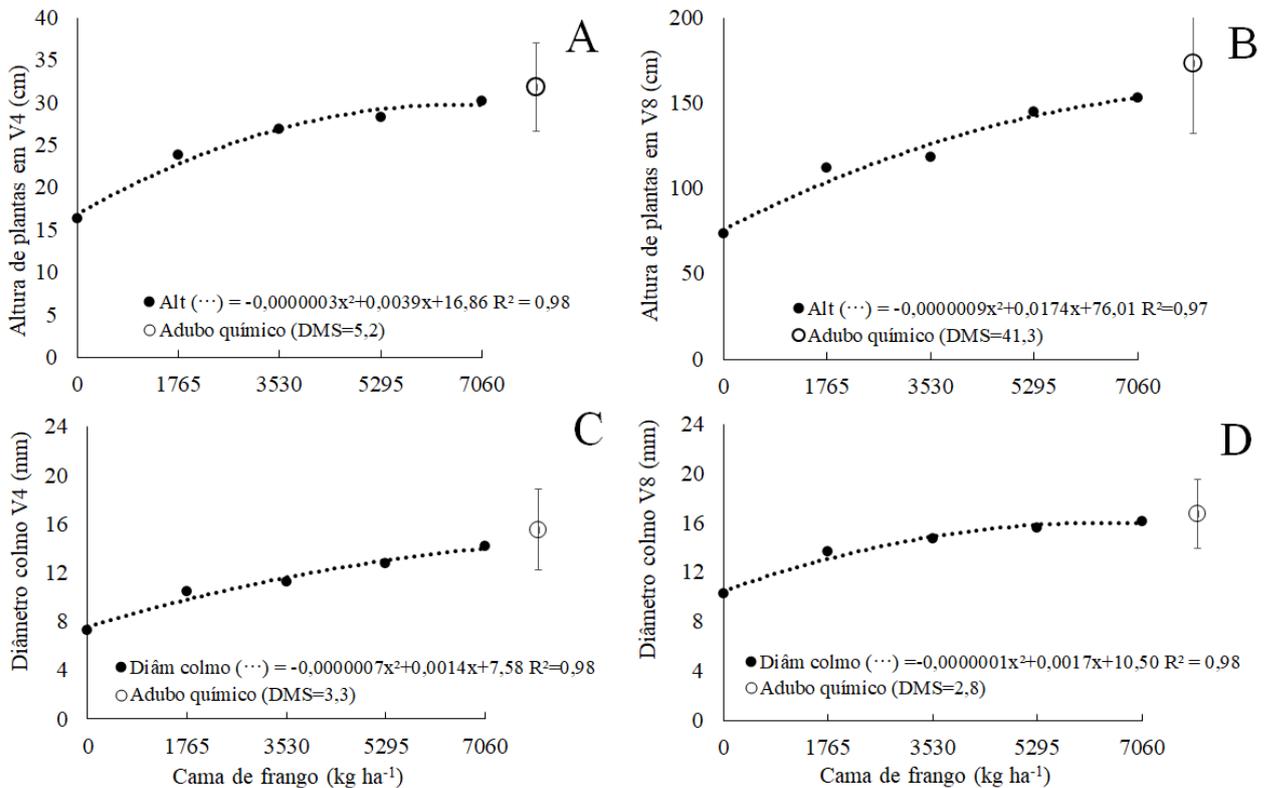


Figura 2 - Altura de plantas nos estádios V4 (A) e V8 (B) e diâmetro de colmo de milho nos estádios V4 (C) e V8 (D) fertilizadas com doses de cama de frango e adubo químico.

Na altura de plantas (Figura 2A), a altura máxima de 29,5 cm no estágio V4 de desenvolvimento foi alcançada com 6500 kg de cama de frango aplicada, contribuindo com 80,2% na altura em relação a ausência de adubação, enquanto no estágio V8 (Figura 2B), a maior altura foi encontrada na maior dose do adubo orgânico, onde o ponto de máxima da curva seria atingido com a aplicação de 9667 kg de adubo orgânico com a planta chegando à altura de 160,11 cm, com 118,4% de aumento. Assim percebe-se que a diferença de altura entre as doses do adubo orgânico ocorreu de forma mais expressiva no estágio V8, quando comparado ao V4.

No diâmetro de colmo das plantas, conforme foram aumentando as doses da cama de frango, o diâmetro se comportou com curvas quadráticas e crescentes nos estádios V4 e V8 (Figura 2C e 2D) que extrapolaram as doses aplicadas nos seus possíveis pontos de máximas aos 10000 e 8500 kg de cama de frango por hectare (14,6 e 17,7 mm, respectivamente). No entanto, ao contrário da altura de plantas, a diferença entre a ausência de adubação e o ponto de

máxima da curva foi superior no estágio inicial das plantas (V4), com 99,7% de aumento, em comparação ao estágio V8 que atingiria a diferença de 72,5%.

Nos testes de médias de Dunnett, para a comparação entre a adubação orgânica e a química, em todas as respostas de altura de planta e de diâmetro de colmo, observou-se que as respostas das plantas a partir das doses próximas a 6000 kg ha<sup>-1</sup> do fertilizante orgânico (1,5 e 2,0 vezes a recomendação), não apresentaram diferença significativa em comparação a adubação química.

Resultados semelhantes apareceram no trabalho de Silva et al. (2020), em que a altura de plantas e o diâmetro de colmo responderam de forma mais expressiva ao longo do tempo, pois quando analisado aos 15 dias, a cama de frango não causou efeito diferente da adubação mineral e das plantas sem tratamentos, enquanto aos 45 dias a adubação mineral e a cama de frango apresentaram efeitos superior as plantas sem tratamento.

O resíduo orgânico aplicado nos tratamentos proporcionou incrementos da cultura do milho em função das variáveis de crescimento analisadas (Figura 2). Comparando com diversos trabalhos encontrados na literatura (HIRZEL e WALTER, 2008; CARVALHO et al., 2011; GUIMARÃES et al., 2016) a cama de frango pode gerar incrementos no crescimento de diversas culturas de alto valor comercial, como no caso do milho, soja e cana-de-açúcar.

Em relação ao teor indireto de clorofila no milho, se verificou diferença significativa entre os tratamentos com adubação orgânica. As leituras médias do índice SPAD nas folhas do milho aumentaram linearmente com as doses do fertilizante orgânico aplicado no estágio V4 (Figura 3A) e estágio V8 (Figura 3B) chegando a aumentos de 42% no estágio V4 e a 9,4% no estágio V8.

O fato de o adubo orgânico ter sido aplicado apenas no momento da semeadura, pode ter influenciado na diferença do teor de clorofilas mais expressiva em V4, do que em V8, conforme as doses aumentaram.

Quando feita a comparação entre a adubação orgânica e os tratamentos adicionais (adubação mineral) nas duas fases das plantas, percebe-se que no início do crescimento (V4), a diferença do índice SPAD entre os dois adubos não existe, pois o fertilizante químico diferiu apenas do tratamento com ausência de adubação. Diferente da fase V8, na qual a adubação química foi superior significativamente de todas as doses do fertilizante orgânico, inclusive a dose máxima.

Esses resultados são capazes de demonstrar que em períodos menores, a adubação orgânica não apresenta efeito residual, enquanto para outros autores que observaram períodos maiores, as respostas diferiram, como foi relatado por Balbinot Jr et al. (2012) que ressaltam

que a cama de aviário pode ser capaz de apresentar efeito residual positivo no desenvolvimento e produtividade de plantas quando feito consórcio de aveia-preta/ervilhaca e milho em sucessão.

Lima Neto et al. (2018) também percebeu que com o passar dos anos, a cama de aves contribuiu gradativamente com a disponibilização de nitrogênio para o milho, pois ao longo de 3 anos, a cama de frango foi capaz de suprir a necessidade de N das plantas de milho, em comparação a aplicação de N em cobertura.

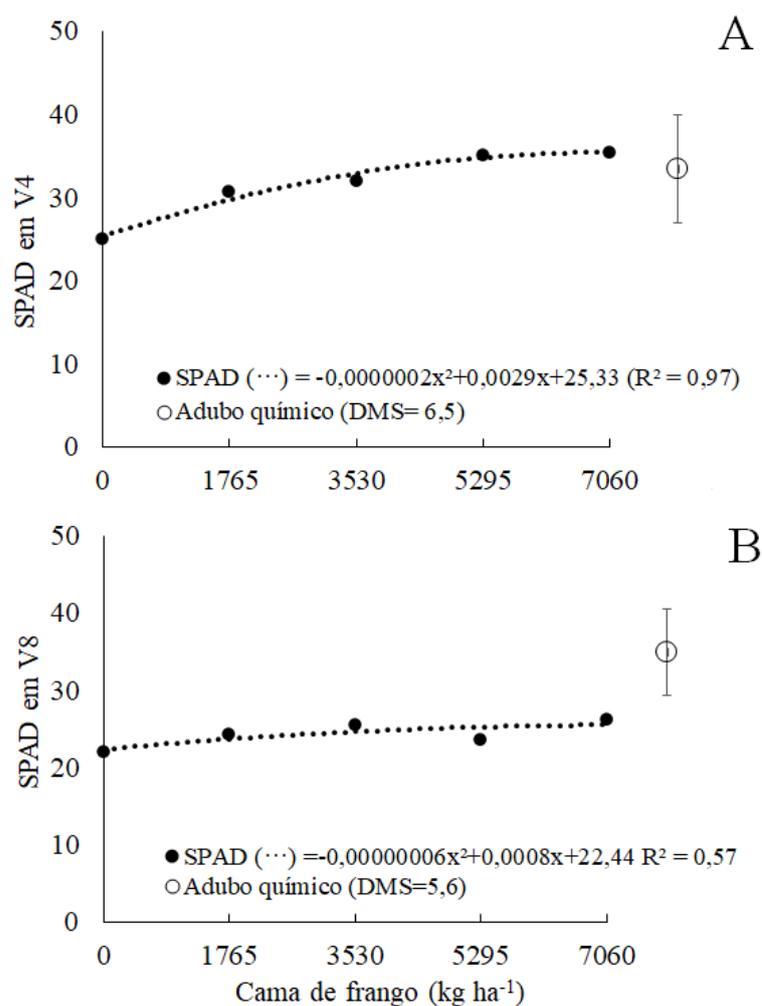


Figura 3 - Teor indireto de clorofila – índice SPAD em V4 (A), e V8 (B) de milho fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.

No entanto, quando o nitrogênio do fertilizante mineral é aplicado em duas doses distintas, como é comumente utilizado na forma comercial, esse nutriente permanece prontamente sendo usado pelas plantas logo que esteja no solo em diferentes fases, sendo esse fato de suma importância, pois aumenta a concentração de clorofilas *a* e *b* ao longo do crescimento, pelo fato do nitrogênio foliar se correlacionar positivamente com elas, com isso, esse evento também leva ao aumento da taxa fotossintética, e como resultado, elevando a

produtividade das plantas (RAMBO et al., 2011; RUTTANAPRASERT et al., 2012).

Dentre as variáveis analisadas em relação ao acúmulo de biomassa das plantas, observou-se que a massa seca de colmo + bainha (Figura 4A) e a massa seca de raiz (Figura 4B), resultaram em efeito linear positivo com o uso da fertilização orgânica, indicando aumentos de 163% e 213% de acúmulo de massa, respectivamente. No entanto, seu efeito foi menor quando comparado com a adubação química realizada nas plantas de milho. Pois através da aplicação do teste de médias ( $p \leq 0,05$ ), encontrou-se superioridade em todas as doses da fertilização com cama de frango aplicadas no experimento. As médias obtidas da avaliação de área foliar (Figura 4C) demonstraram crescimentos lineares positivos proporcional ao acréscimo nas doses de cama de frango aplicadas, apresentando aumento em torno de 59% entre a ausência de adubação e a dose máxima utilizada de 7061 kg ha<sup>-1</sup> de cama de frango.

A cama de frango também contribuiu significativamente para o crescimento das raízes das plantas, pois o volume de raiz das plantas de milho apresentou incremento com a adubação orgânica, demonstrando aumentos de 94% entre a ausência de adubo e a dose máxima aplicada. Tanto os tratamentos que receberam a adubação mineral quanto a cama de frango, foram superiores a ausência de adubação, propiciando maiores resultados para as variáveis de acúmulo de massa em geral.

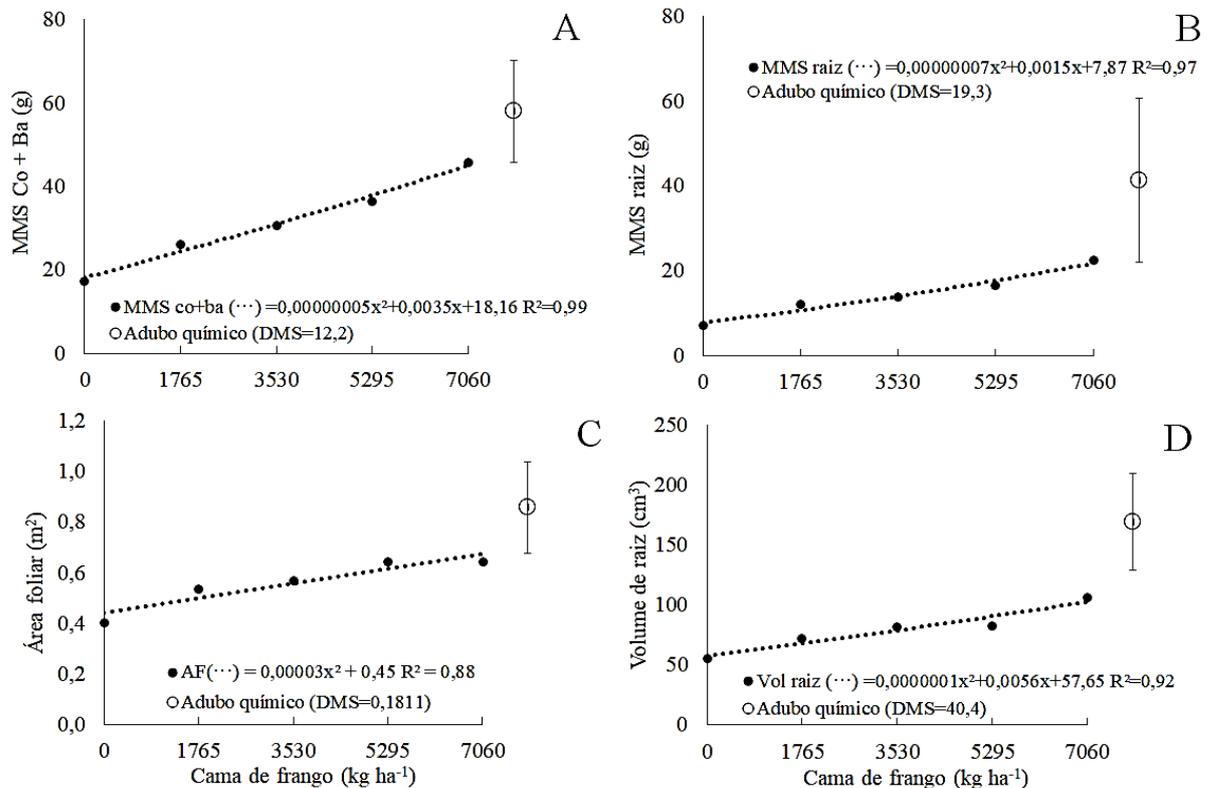


Figura 4 - Massa da matéria seca colmo + bainha (A), massa da matéria seca de raiz (B), área foliar (C) e volume de raiz (D) de milho fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.

Apesar de os adubos orgânicos serem compostos por mais de quinze micronutrientes, a agricultura atual e moderna está mais preocupada com apenas cinco ou seis desses elementos, que são essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Assim, a adubação orgânica está presente como uma estratégia para contribuir principalmente na qualidade química dos solos que é empregada. Esse material é capaz de disponibilizar a matéria orgânica juntamente com o carbono orgânico e aumentar a capacidade de troca de cátions através dos ácidos orgânicos que liberam ao longo do tempo, promovendo a disponibilidade de nutrientes necessários para as plantas e aumentando a sua capacidade de rendimento de massa final (SHOWLER, 2015; BRADY e WEIL, 2013).

Alguns autores comentam que esses resíduos orgânicos são estratégias de manejo seguras para o incremento da fertilidade dos solos e conseqüentemente da capacidade de produção da cultura com baixas demandas de custo. Devido a isso, é um manejo indicado principalmente para produtores que possuem solos pobres em carbono e nutrientes em suas propriedades (ANDRADE et al., 2003).

Apesar da contribuição do adubo orgânico nas médias de área foliar e de volume de raiz das plantas, as doses da cama de frango não conseguiram superar o fertilizante químico (Figura 4D). Nesses casos, adubos mais solúveis como é o caso do adubo mineral, disponibilizam mais rapidamente os nutrientes que as plantas precisam, o que não acontece com os resíduos orgânicos, esse fato resulta em crescimento e desenvolvimento inicial mais rápido e maior desempenho em características de morfometria dessas culturas, como em massa seca total de plantas de milho (SILVA et al., 2020).

Os resíduos orgânicos em geral, devem passar pelo processo de mineralização, ou seja, o processo biológico pelo qual o material residual (restos de animais e vegetais) passa, convertendo substâncias orgânicas em inorgânicas para compor o solo e ficar de maneira totalmente disponível para as plantas. Todo esse processo necessita de um ambiente controlado, com temperatura e umidade adequados, depende da composição química do material orgânico que será utilizado, e a textura e mineralogia do solo. Todo esse conjunto de fatores fará com que os nutrientes possam ser efetivamente aproveitados pela planta (GIACOMINI et al., 2003).

Pode-se observar na figura 5A, que as médias da altura de inserção de espiga foram crescentes conforme aumentava-se a dose do adubo orgânico, porém de forma quadrática, de tal modo que o ponto de máxima da curva, possivelmente chegará a 117,5 cm, se aplicada a dose de 7330 kg de cama de frango, representando aumento de 41,05% de altura de espiga em relação a ausência de adubação.

No entanto, as médias para o adubo orgânico demonstradas neste mesmo gráfico sobre altura da inserção de espiga (5A) não se diferem quando comparadas pelo teste de Dunnett com a média do fertilizante químico (119,5 cm), sendo esse superior apenas da ausência de adubação (média de 83,3 cm), com diferença de 43,5%.

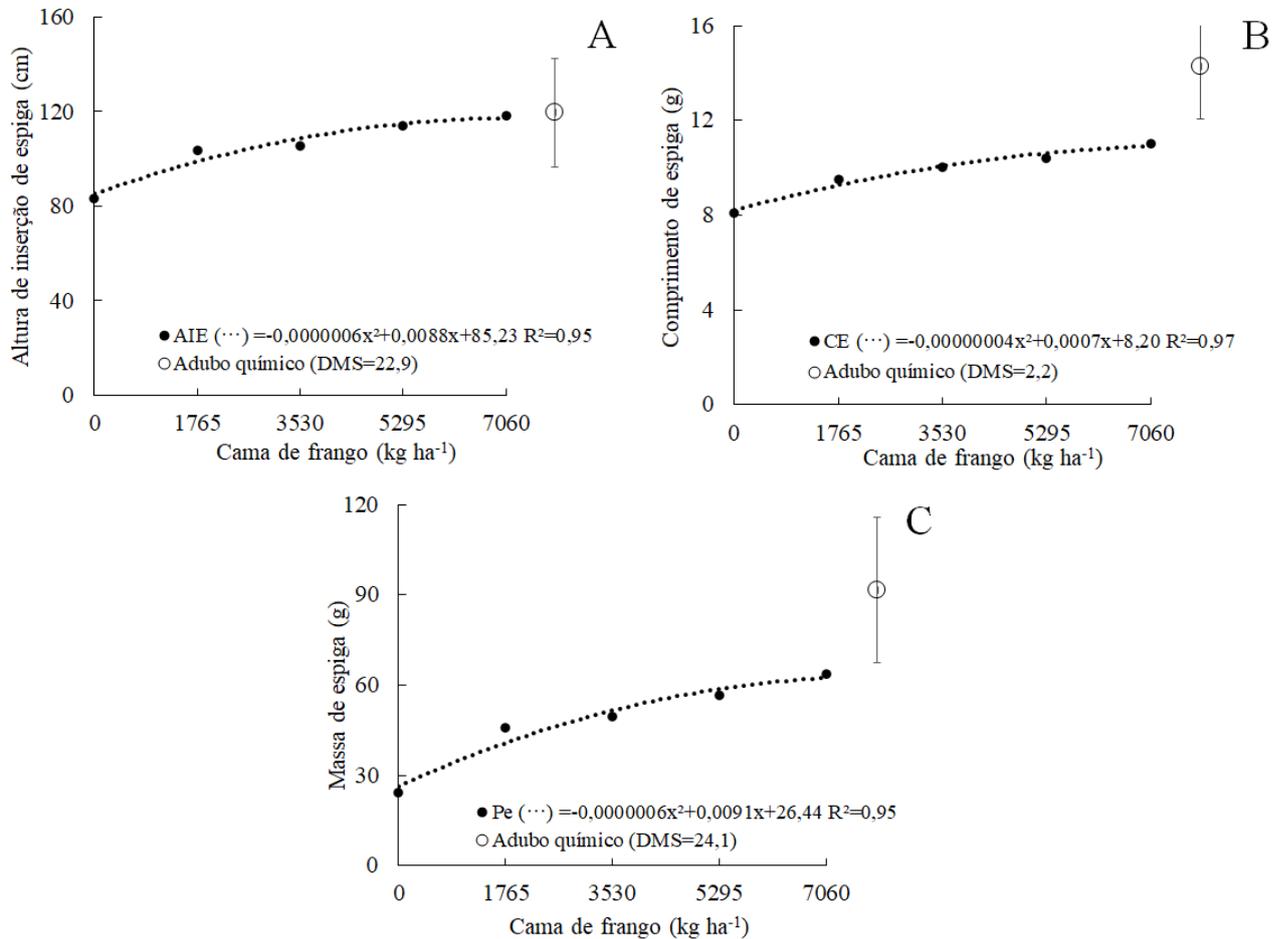


Figura 5 - Altura de inserção de espigas (A), comprimento de espigas (B) e massa de espigas (C) de milho fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.

Apesar do aumento das doses terem proporcionado incremento em relação à altura das espigas, não houve diferenças em relação a dose química, indo de encontro com outros autores como Lima Neto (2018), que percebeu em seu trabalho, efeitos semelhantes em altura de plantas e altura de inserção de espiga com a aplicação de cama de aves em comparação com o nitrogênio aplicado em semeadura e a lanço.

Esses resultados demonstram que essas variáveis podem estar intimamente relacionadas a outros fatores que podem modificar ou mascarar os efeitos dos fertilizantes em si, como o histórico de manejo nos solos utilizados, as condições de ambiente e a forma de aplicação desses adubos (VALDERRAMA et al., 2011). Outro fator também pode ser considerado, que a altura das plantas e de espigas são influenciadas pela genética das plantas utilizadas, sendo assim,

mais difíceis de modificar (PAIXÃO et al., 2008).

Na variável de comprimento de espiga (Figura 5B), ajustou-se o modelo quadrático, e como aconteceu na inserção da espiga, houve extrapolação no gráfico para o ponto de máxima que seria com 8750 kg de cama de frango por hectare, atingindo em torno de 11,27 cm de comprimento por espiga, que representa aumento de 39,1% comparado as plantas do tratamento com ausência de adubação. Porém, quando o uso de cama de frango foi comparado com a adubação química, o comprimento de espigas foi inferior em todas as doses testadas do adubo orgânico.

Observou-se significância também no peso das espigas (Figura 5C), quando analisada a regressão das doses de adubo orgânico aplicado. O resultado entre as doses se deu de forma linear, com efeito positivo, chegando a 162% de aumento entre a ausência de adubação e a dose máxima de cama de frango. Porém todos os dados de peso de espigas do adubo químico foram superiores aos dados da cama de frango. A diferença entre as médias da ausência de adubação e do fertilizante químico foi de acréscimo de 277,4%.

Na avaliação do número de grãos por espigas (Figura 6A), o gráfico demonstra que as doses de adubo orgânico apresentaram comportamento linearmente positivo, onde as plantas que receberam a adubação com cama de frango alcançaram 227% de incremento com a sua dose máxima aplicada em relação a ausência de adubação, enquanto a dose única de adubo químico foi significativamente superior a todos os tratamentos com e sem adubação, com incrementos de 400% no número de grãos em relação a ausência de adubação.

Assim como o número de grãos por espiga, o número de grãos por fileira (Figura 6C) também obteve incrementos significativos para as diferentes doses de adubo orgânico, em uma regressão linear positiva chegou a valores de 200% de aumento com a dose máxima aplicada em relação a ausência de adubação. No entanto, o fertilizante comercial se mostrou superior a todas as doses da cama de frango com acréscimo de 351% sobre o número de grãos por fileira das plantas do tratamento com ausência de adubação, mostrando que o adubo orgânico não foi eficiente para substituir a fertilização mineral.

Dessa mesma forma, a massa total de grãos (Figura 6D) se apresentou com incrementos lineares significativos com a aplicação das doses do adubo orgânico, chegando a 175,5% de aumento na dose máxima aplicada quando comparada ao tratamento sem adubação. Quando comparados pelo teste de médias, a adubação química se mostrou superior a todos os tratamentos com e sem a aplicação de cama de frango para a variável massa total de grãos (Figura 6D), com incrementos nas plantas avaliadas chegando a 295% em relação a ausência de adubação. Assim, constatando que as doses de cama de frango aplicadas não foram

satisfatórias para ocorrer a reposição de toda a quantia de nutrientes que a plantas necessitam até chegar ao final do seu desenvolvimento.

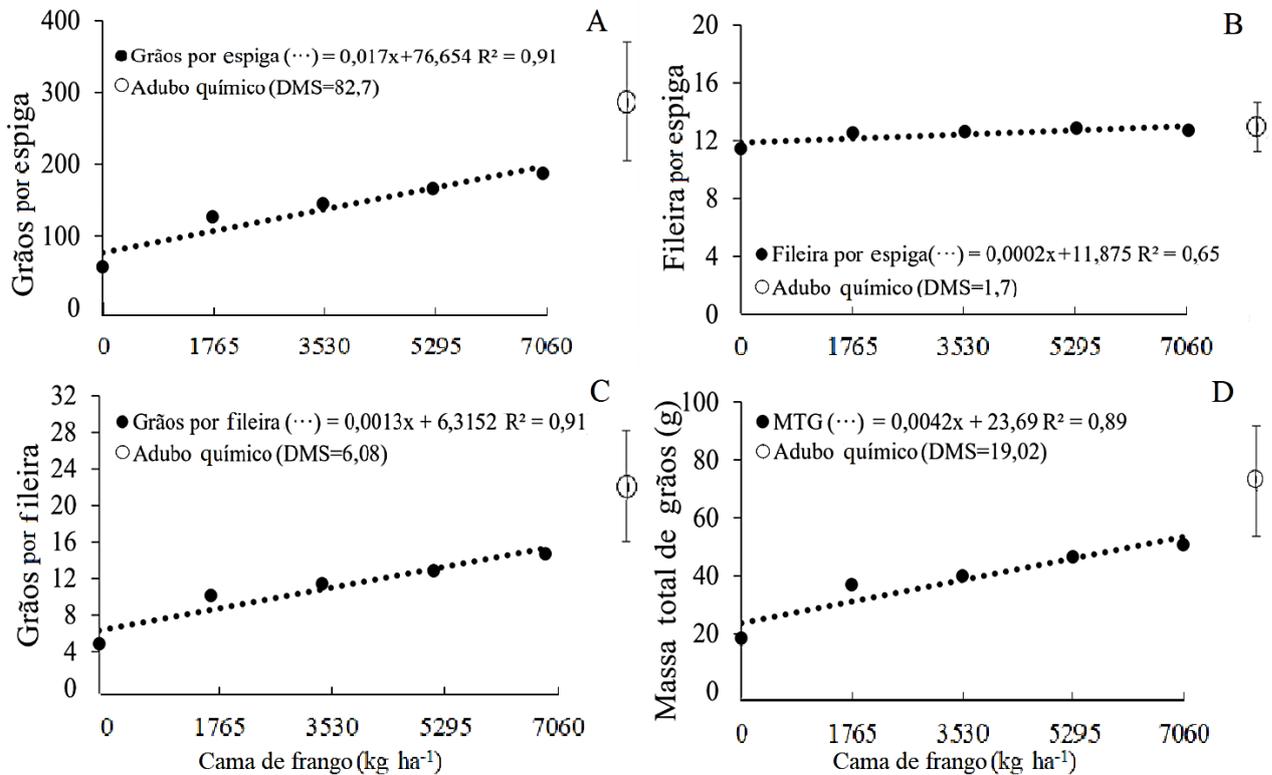


Figura 6 - Número de grãos por espigas (A), fileiras por espiga (B), número de grãos por fileiras (C) e massa total de grãos (D) de milho fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.

No entanto, outros autores foram capazes de encontrar incrementos decrescentes para as variáveis relacionadas a produtividade de milho quando aplicado doses crescentes de até 8000 kg ha<sup>-1</sup> de cama de frango, se estabilizando a partir desse valor (FELINI e BONO, 2011).

Apesar da presença de diversos nutrientes no adubo orgânico, eles se encontram em quantidades diferentes em relação a necessidade das plantas, ao ser feita a recomendação de cama de frango com base na exigência de K da cultura do milho, os teores de N e P ficaram abaixo do recomendado (Senhor, 2019), com isso, esse fator pode ter levado a adubação orgânica a se mostrar inferior nas variáveis relacionadas a produção, como comprimento e peso de espigas, grãos por espigas, grãos por fileiras e massa total de grãos, que são definidas nas fases finais do desenvolvimento das plantas.

Embora o número de fileiras por espigas (Figura 6B) seja considerada por alguns autores como uma característica fortemente influenciada por fatores genéticos (SANTOS et al., 2014), neste trabalho foi encontrado um pequeno incremento com o aumento das doses do adubo orgânico, chegando a valores de 10,4% maiores que o tratamento sem adubação. O número de

fileiras de grãos na espiga de plantas adubadas com adubo químico não se apresentou com diferença estatística através do teste de médias aplicado, seu incremento foi de 12% em relação a ausência de adubação, mas não diferiu da cama de frango.

A análise de variância em função das diferentes bactérias aplicadas revelou efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ) para as variáveis de diâmetro de espiga, grãos por espiga, peso de espiga, massa total de grãos e massa de mil grãos (Tabela 3).

Tabela 3 - Diâmetro de espiga, grãos por espiga, peso de espiga, massa total de grãos e massa de mil grãos de milho sem inoculação (SI), inoculado com *A. brasilense* (Azo), *B. subtilis* + *B. megaterium* (Bac) e *P. fluorescens* (Pse), na safra 2019/2020.

Inoculantes	Diam. Espiga -----cm-----	Grãos Espiga <sup>-1</sup> -----g-----	Peso de Espiga	MTG	MMG
SI	3,35 ab	174,93 ab	56,33 ab	45,59 ab	274,59 b
Azo	3,21 b	148,51 ab	49,91 b	40,53 b	332,43 a
Bac	3,36 ab	143,92 b	52,08 b	41,31 b	316,63 ab
Pse	3,55 a	180,15 a	62,69 a	49,54 a	297,49 ab
Média	3,369	161,875	55,249	44,242	305,285
CV	8,21	28,00	23,89	23,56	19,49
DMS Tukey	0,210	34,458	10,040	7,926	45,230

\*Médias com mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de médias (Tukey a 0,05). CV – Coeficiente de Variação.

No diâmetro de espigas, a inoculação com *P. fluorescens* mostrou média superior a inoculação com a bactéria *A. brasilense*, proporcionando aumento de 11,7% no diâmetro da espiga do milho. No entanto, nenhuma das duas diferiram dos tratamentos com as bactérias *B. subtilis* + *B. megaterium* e o tratamento sem inoculação.

Na variável de grãos por espiga (Tabela 3), assim como ocorreu no diâmetro de espigas, o inoculante com bactérias de *P. fluorescens* apresentou aumento de 25,2% de produção de grãos em relação às bactérias *B. subtilis* + *B. megaterium* aplicado nas sementes de milho. Entretanto, os dois não diferiram dos tratamentos com aplicação de *A. brasilense* e do tratamento sem inoculação.

No peso das espigas de milho a bactéria *P. fluorescens* proporcionou incremento de 25,6% em relação ao inoculante à base de *A. brasilense*, bem como, incremento de 20,4% em relação ao inoculante a base de estirpes de *B. subtilis* + *B. megaterium*. Do mesmo modo, na massa total de grãos, plantas inoculadas com *P. fluorescens* se mostraram superiores significativamente ao inoculante a base das bactérias *B. subtilis* + *B. megaterium* (19,9%) e de *A. brasilense* (22,2%), no entanto nenhum dos inoculantes proporcionaram diferenças em comparação a testemunha sem inoculação.

Como pode-se observar, o inoculante contendo *P. fluorescens* proporcionou incremento nas variáveis diâmetro de espiga, grãos por espiga, peso de espiga e massa total de grãos, podendo inferir a capacidade dessa bactéria em propiciar bons resultados para o crescimento das plantas. Sandini et al. (2019), demonstraram a capacidade da espécie *Pseudomonas sp.* em manter alto rendimento em plantas de milho, mesmo com doses do adubo em torno de 75% abaixo do recomendado. Pode também aumentar o rendimento de grãos de milho quando comparadas as doses maiores de adubo nitrogenado associadas as plantas não inoculadas (NAVEED et al., 2008).

Para a variável massa de mil grãos, a bactéria *A. brasilense* proporcionou maior aumento nos pesos dos grãos, com valor de 21,1% acima do tratamento sem inoculação, no entanto, não diferiu dos demais tratamentos inoculados. Isso demonstra o benefício da inoculação de sementes em relação a qualidade de grãos, que também pode ser visto em trabalhos de outros autores.

Quadros et al. (2014) ao analisar o desempenho de *A. brasilense* em híbridos de milho, percebeu aumentos na produtividade do grão de até 30% em relação ao não inoculado, assim como, Lana et al. (2012), ao analisar plantas de milho inoculado, percebeu que mesmo sem a utilização de adubo, o *A. brasilense* foi capaz de proporcionar incrementos de 7 a 14% na produtividade de grãos de milho.

Vale ressaltar que a variabilidade de efeitos entre as diferentes BPCVs estão intimamente ligadas a alguns fatores, como clima ou ambiente que a planta se encontra, o tipo de solo também pode interferir na adaptação das bactérias inoculadas, assim como o híbrido utilizado. Esses resultados demonstram também a capacidade de algumas BPCVs conseguirem obter desempenho melhor que outras, devido ao fato de possuírem ampla gama de mecanismos ativos que são capazes de promover o crescimento e grande capacidade de se adaptar a raízes de algumas plantas ou alguns híbridos específicos (DAVID et al., 2018).

Na variável massa seca de folhas (Figura 7), todos os inoculantes utilizados propiciaram efeito positivo para as plantas de milho, de forma crescente quando associado a fertilização com cama de frango, onde os pontos de máximas seriam provavelmente atingidos quando os valores a serem aplicados da cama de frango são extrapolados para as doses de 11875 kg ha<sup>-1</sup> no tratamento sem inoculação, atingindo 24,8 g de massa de folhas (Figura 7A); 17000 kg ha<sup>-1</sup> quando associada com *A. brasilense*, atingindo 27,5 g de massa de folhas (Figura 7B); 9500 kg ha<sup>-1</sup> inoculados com as bactérias *B. subtilis* + *B. megaterium* alcançando 22,5 g de massa (Figura 7C) e 11000 kg ha<sup>-1</sup> de cama de frango, aplicando *P. fluorescens* podendo atingir 25,3 g de massa de folhas (Figura 7D), respectivamente.

Por meio dos possíveis pontos de máximo quando as doses são extrapoladas para fora do gráfico, pode-se observar que apesar da aplicação de *A. brasilense* revelar o maior valor, a bactéria *P. fluorescens* proporcionou o maior aproveitamento do adubo orgânico, quando mostra que com a mesma quantidade de adubo, alcança-se resultados superiores a todos os demais tratamentos com ou sem inoculação.

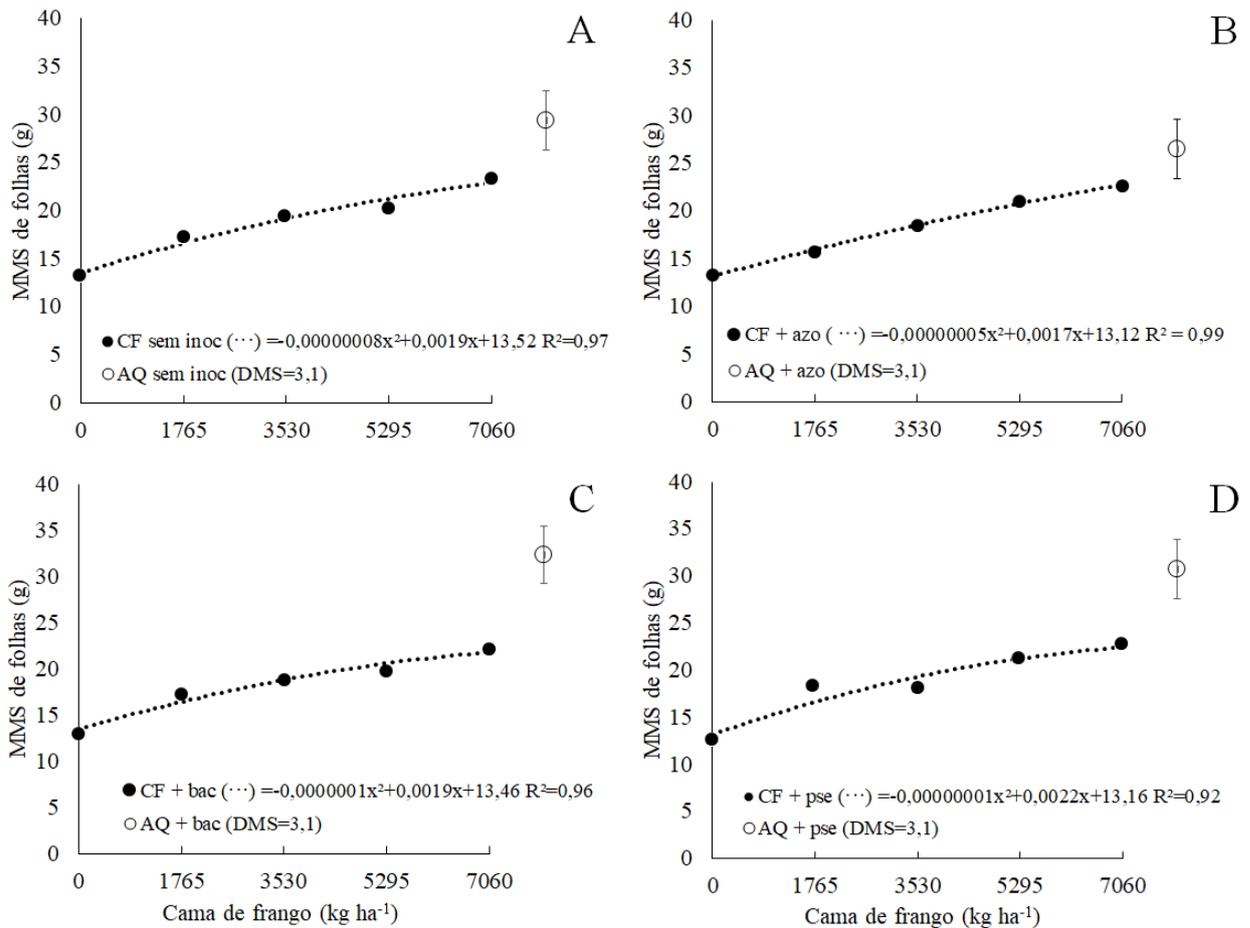


Figura 7 - Massa da matéria seca de folhas (MMS de folhas) de milho sem inoculação (A), inoculado com *A. brasilense* (B), *B. subtilis* + *B. megaterium* (C) e *P. fluorescens* (D) e fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.

Esses resultados convergem com alguns autores, onde a inoculação com BPCVs como o *P. fluorescens* ocasionou efeitos positivos no desenvolvimento do sistema radicular da planta, sendo capaz de minimizar o efeito de redução da massa seca das raízes com aumento das doses de fertilizante orgânico, através da apresentação de menor taxa de decréscimo da curva conforme aumenta-se as doses, diminuindo a fitotoxidez do adubo (OLIVEIRA et al., 2015).

Em todo o caso, de acordo com outros resultados encontrados nesse trabalho como nos componentes de produção, é esperado que de alguma forma a *P. fluorescens* viesse a promover resultados positivos na biomassa de planta, uma vez que essa bactéria é capaz de favorecer a ampliação do sistema radicular promovendo o aumento de pelos radiculares, aprimorando

assim a área superficial de absorção de água e nutrientes da planta, o que afeta positivamente o desenvolvimento de maior número de folhas na planta, proporcionando de certa forma o maior rendimento da planta (HARTHMAN et al., 2010), bem como, é capaz de aumentar a tolerância ao estresse hídrico que pode ocorrer no campo (FALLIK e OKON, 1996).

Quando realizado o teste para comparação de médias entre as diferentes adubações para a massa seca de folhas, revelou-se que o adubo químico foi superior quando comparado a cama de frango em todos os tratamentos inoculados e sem inoculação. Esses dados demonstram que apesar da inoculação levar ao maior aproveitamento da cama de frango, ainda assim o adubo orgânico não é capaz de substituir totalmente o adubo químico para essa variável.

Esses resultados divergem de outros autores, como Lima et al. (2019) que ao analisarem o efeito da adubação na presença de BPCV, encontraram maior desenvolvimento foliar através do número de folhas das plantas de milho nos tratamentos que receberam o adubo orgânico em comparação aos tratamentos com adubação mineral e sem adubação.

A falta de eficiência em trazer resultados positivos com o uso das BPCVs em algumas variáveis pode ser explicado pela presença de hormônios auxínicos liberados por elas a nível fisiológico, estimulando a liberação de até 20% de fotossintatos por exsudação no sistema radicular da planta. Essa liberação objetiva o suprimento de energia para os microrganismos associativos presentes na região da rizosfera, elevando o gasto energético pela planta, o que pode diminuir sua capacidade de produção vegetativa e reprodutiva (TALBOYS et al., 2014; GEDDES et al., 2015; SOUZA, 2017).

No gráfico de diâmetro de espiga (Figura 8A), os dados resultaram em uma equação quadrática, onde o valor máximo que o diâmetro de espiga atingiu foi de 3,49 cm com a dose de 5000 kg por hectare de cama de frango, aumentando assim em 24,6% em relação a ausência de adubação. Inclusive, a fertilização química gerou incremento de 53,6% no tamanho das espigas comparado a ausência de adubação.

Quando analisada as médias de diâmetro de espigas com aplicação do inoculante à base de *A. brasilense* (Figura 8B), pode-se observar efeito semelhante ao tratamento sem inoculação, com ponto de máxima da curva aos 5000 kg de cama de frango por hectare e resultando em 3,38 cm de diâmetro de espiga, sendo que o tratamento sem adubação proporcionou média inferior a todas as demais adubações, pois no ponto de máxima da curva, o incremento foi de 52,8% no diâmetro e com aplicação de adubo químico, esse aumento foi de 62,7%.

Na utilização do inoculante com as bactérias *B. subtilis* + *B. megaterium* (Figura 8C), as médias resultaram em equação linear positiva, onde as médias de plantas com aplicação de fertilizante químico foram superiores apenas a ausência de adubação e a dose inicial de adubo

orgânico aplicado neste trabalho. Apesar do incremento da cama de frango ser de 17,6%, ainda não diferiu do químico, que foi capaz de promover aumento de 25% o diâmetro das espigas estudadas.

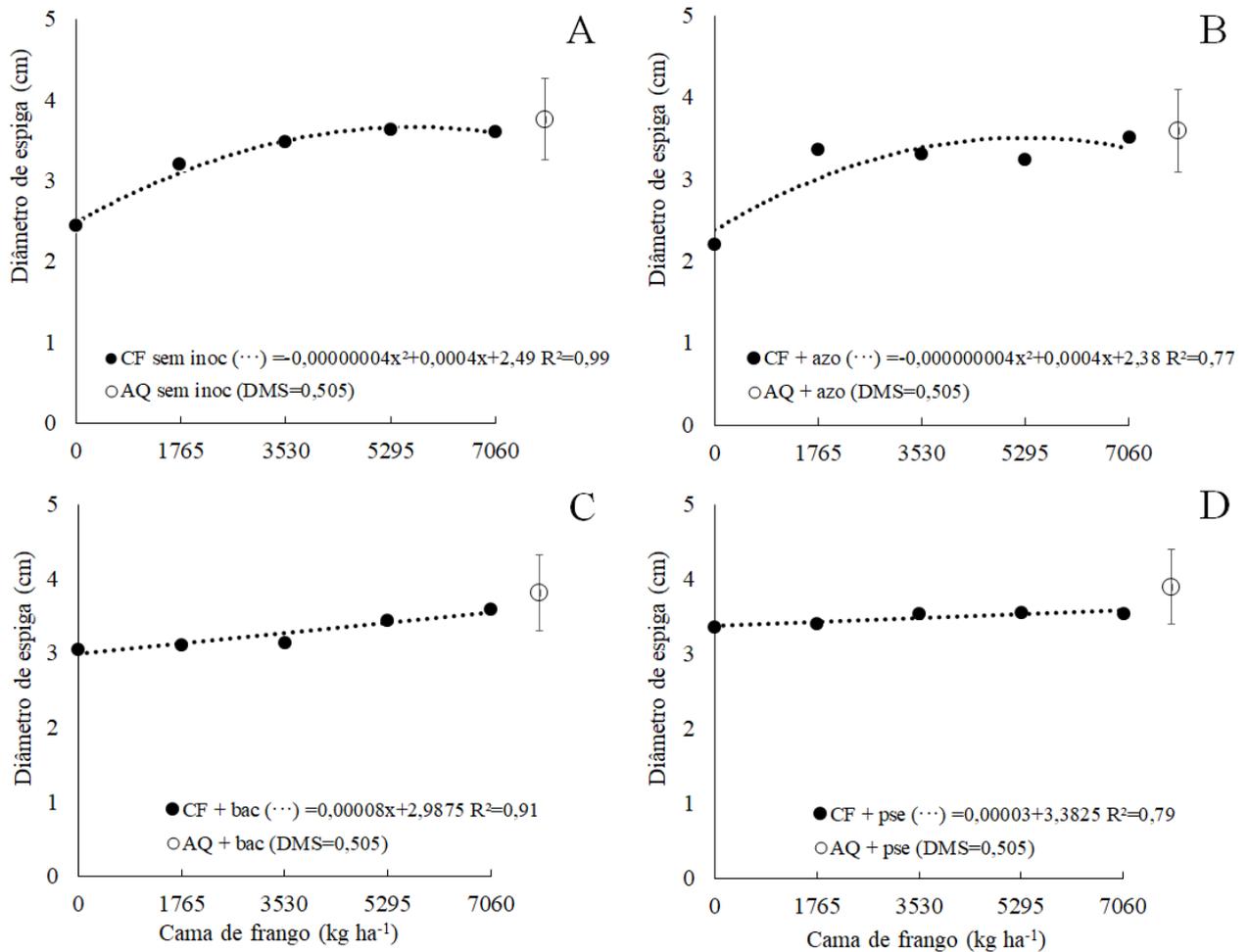


Figura 8 - Diâmetro de espiga de milho sem inoculação (A), inoculado com *A. brasilense* (B), *B. subtilis* + *B. megaterium* (C) e *P. fluorescens* (D) e fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.

Ainda nas médias de diâmetro de espiga, o resultado da aplicação da bactéria *P. fluorescens* (Figura 8D) também resultaram em equação linear positiva, sendo que o adubo químico causou efeito superior apenas quando comparado a ausência de adubação, com incremento de 16% sobre o diâmetro de espigas, enquanto a dose máxima aplicada de cama de frango aumentou 5,2%.

Com os resultados de diâmetro de espiga deste trabalho, pode-se observar que o uso de cama de frango juntamente com a inoculação de sementes com BPCV é capaz de promover incrementos significativos a ponto de ser igualado ao uso de fertilizante químico, principalmente com a utilização de *A. brasilense* que proporcionou os maiores incrementos

sobre o diâmetro de espiga e com a utilização do *B. subtilis* + *B. megaterium*, que apresentou a menor diferença de incrementos entre os adubos químico e orgânico.

Santos (2019) encontrou resultados afirmando que o tratamento com o uso de inoculantes a base de *A. brasilense* e *P. fluorescens* ao ser associados com adubo orgânico, se mostraram superior para o tamanho de espigas no milho, indo de encontro com esta pesquisa. Os componentes de produção como o diâmetro de espiga, podem estar diretamente relacionados e influenciarem na massa da matéria seca das espigas, trazendo impactos diretos e de forma substancial para a produtividade final da cultura quando implantada no campo (CRUZ et al., 2008).

Hungria (2011), em suas pesquisas, alega que devido ao uso oneroso da fertilização química para o cultivo, há a possibilidade de diminuir as dosagens aplicadas, complementando com outras fontes para atingir a quantidade correta de nutrientes recomendada, utilizando para isso os adubos orgânicos.

Na análise realizada sobre a variável massa de mil grãos de milho (Figura 9), verificou-se interação entre as doses de cama de frango e a inoculação de sementes. Analisando as médias, as bactérias não foram satisfatórias para o aumento do peso de grãos em geral, quando associadas a cama de frango ou a fertilização química.

A figura 9A, mostra efeito linear negativo para as médias de dose de cama de frango, por isso, a aplicação de diferentes doses de cama de frango isoladamente, sem inoculação, proporcionou perda de 15,6% na massa dos grãos com sua aplicação quando comparado a não aplicação, como mostra esses resultados. Também pode-se observar que a avaliação do adubo químico nas plantas não foi satisfatória, pois quando comparado através do teste de médias, não diferiu significativamente dos demais tratamentos, apresentando decréscimo de 18,5% na produção de massa de grãos.

Para os tratamentos com inoculação a base de *B. subtilis* + *B. megaterium* (Figura 9C) e *P. fluorescens* (Figura 9D), houve queda no teor de MMG de 18,7% e 15,2% respectivamente, conforme foram aumentando as doses da cama de frango aplicadas. A adubação química não diferiu estatisticamente de nenhuma das doses de cama de frango associada aos inoculantes com *B. subtilis* e *B. megaterium* ou *P. fluorescens*, porém a queda ocorreu com a diferença de 12,5% e 24,3%, respectivamente.

A aplicação do inoculante a base do *A. brasilense* (Figura 9B) reduziu significativamente a massa de mil grãos com a aplicação das doses da fertilização orgânica, chegando a 47,7% de perda de massa quando aplicada a dose no ponto de mínimo da curva (6058,3 kg ha<sup>-1</sup> de cama de frango).

Com a aplicação do adubo químico, a massa de mil grãos apresentou decréscimo quando comparado ao tratamento com ausência de adubação, chegando a valores de 49,8% de perda na massa de grãos quando aliado ao inoculante contendo a bactéria *A. brasilense*. Esses dados revelam que nenhuma das bactérias influenciaram no incremento da variável de massa de grãos produzida pelas plantas de milho, com a utilização da cama de frango ou então do fertilizante químico (Figura 9B).

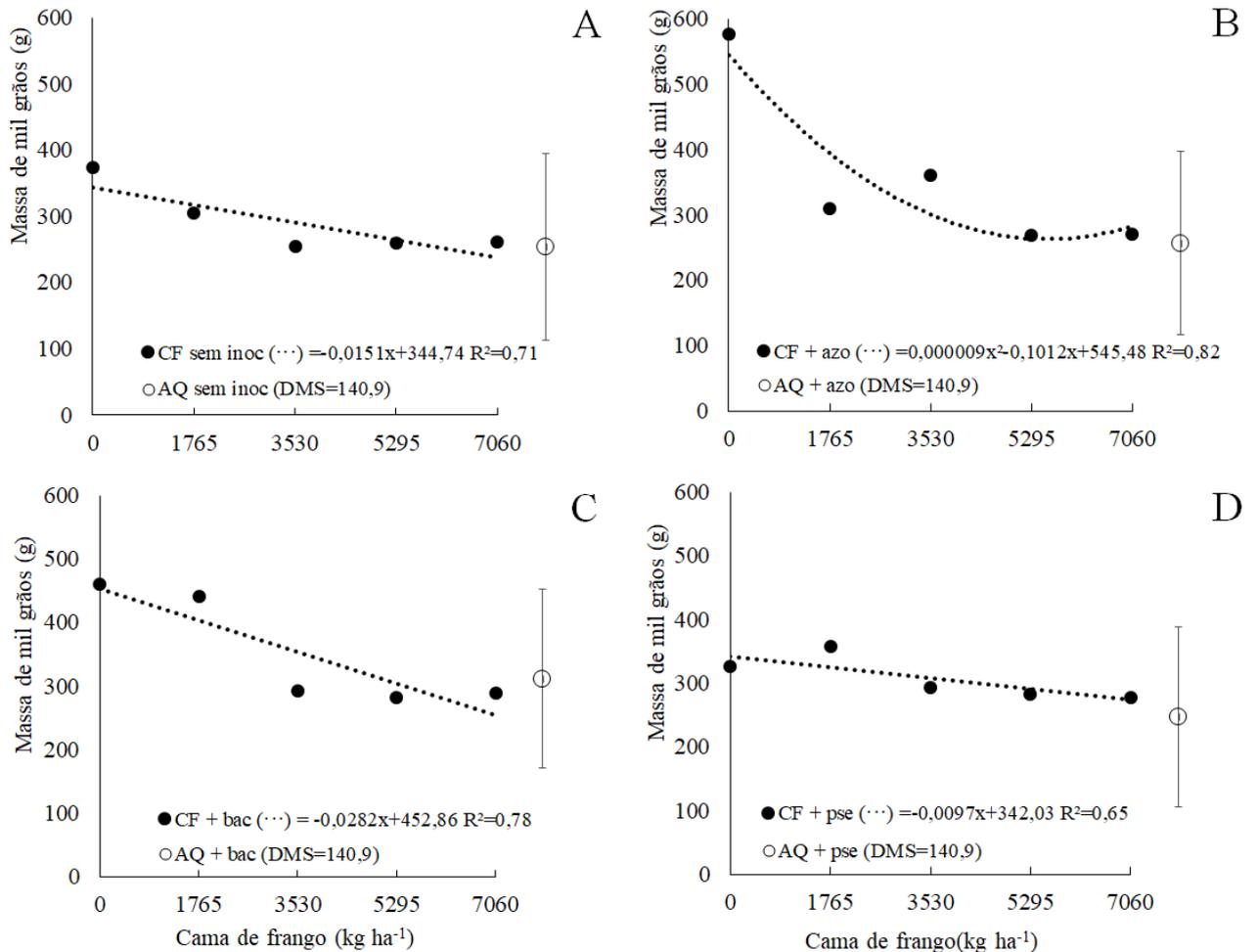


Figura 9 - Massa de mil grãos de milho sem inoculação (A), inoculado com *A. brasilense* (B), *B. subtilis* + *B. megaterium* (C) e *P. fluorescens* (D) e fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.

O fato das BPCVs não trazerem incrementos na massa de mil grãos para o milho pode ser interpretado através do ponto de vista em que as plantas, quando dispostas ao aumento da disponibilidade dos nutrientes, tem maior dificuldade em associar-se com microrganismos, como as rizobactérias estudadas (SZILAGYI et al., 2017). O melhor emprego das BPCVs seria aplicado em condição de baixas quantidades de adubos ou menos que 50% da necessidade da planta, pois quando a cultura está bem nutrida, procura não consumir fotoassimilados e gastar energia para liberação de exsudados, objetivando a manutenção de rizobactérias próximo ao

seu sistema radicular (GEDDES et al., 2015). Esse acontecimento pode ter ocorrido neste trabalho e assim a planta pode ter diminuído o seu rendimento na fase final de produção. Essas respostas tanto a inoculação quanto a utilização de adubos orgânicos na cultura do milho apenas demonstram que mais trabalhos devem ser realizados a cerca destes temas, a fim de procurar respostas eficientes quando se fala em associações de técnicas importantes e necessárias como estas.

### 3.4 CONCLUSÕES

A utilização da cama de frango em associação com BPCV é capaz de suprir as necessidades nutricionais do milho, podendo ser utilizada em substituição à adubação mineral.

A interação de BPCV e cama de frango influenciou no acúmulo de biomassa e componentes de produção do milho.

Não houve interação entre as BPCV e a cama de frango sobre o teor indireto de clorofila.

As plantas inoculadas com a *P. fluorescens* e fertilizadas com cama de frango apresentaram maiores valores de massa seca de folhas e com o inoculante com *A. brasilense* aumentou o diâmetro de espigas.

O melhor desempenho do milho, considerando a utilização das BPCV, foi obtido com doses acima das 5 toneladas por hectare.

### 3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADESEMOYE, A. O.; TORBERT, H. A.; KLOEPPER, J. W. Enhanced plant nutrient use efficiency with PGPR and AMF in an integrated nutrient management system. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 54, n. 10, p. 876-886, 2008.

ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27, n. 6, p. 1003- 1011, 2003.

APARECIDO, L.; ROLIM, G. D. S.; RICHETTI, J.; SOUZA, P. S. D.; JOHANN, J. A. Classificações climáticas de Köppen, Thornthwaite e Camargo para o zoneamento climático do Estado do Paraná, Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 4, p. 405-417, 2016.

BALBINOT JÚNIOR, A. A.; HANISCH, A. L.; VOGT, G. A. Produtividade de forragem em três genótipos de milho em diferentes doses de cama de aviário. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 11, n. 1, p. 63-69, 2012.

BALDANI, J. I.; BALDANI, V. L. D. History on the biological nitrogen fixation research in *graminaceous* plants: special emphasis on the Brazilian experience. **Academia Brasileira de Ciências**, v. 77, n. 3, p. 549–579, 2005.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP. 41p. 2003.

BLUM, L. E. B.; AMARANTE, C. V. T. DO; GÜTTLER, G.; MACEDO, A. F. DE; KOTHE, D. M.; SIMMLER, A. O.; PRADO, G. DO; GUIMARÃES, L. S. Produção de moranga e pepino em solo com incorporação de cama aviária e casca de pinus. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 1, p. 627–631, 2003.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, p. 437-500, 2013.

BRASIL. **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS. 395p. 2009.

ÇAKMAKÇI, R.; DÖNMEZ, F.; AYDIN, A.; ŞAHİN, F. Growth promotion of plants by plant growth-promoting rhizobacteria under greenhouse and two different field soil conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 6, p. 1482-1487, 2006.

CARVALHO, E. R.; REZENDE, P. M. de; ANDRADE, M. J. B. de; PASSOS, A. M. A. dos; OLIVEIRA, J. A. Fertilizante mineral e resíduo orgânico sobre características agronômicas da soja e nutrientes no solo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 930-939, 2011.

CONAB. 2022. Acompanhamento de safra brasileira – grãos: quinto levantamento, fevereiro 2022 – safra 2021/2022: Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento.

COSTA, A. M. DA; BORGES, E. N.; SILVA, A. DE A.; NOLLA, A.; GUIMARÃES, E. C. Potencial de recuperação física de um latossolo vermelho, sob pastagem degradada, influenciado pela aplicação de cama de frango. **Ciência Agrotecnológica**, v. 33, n. 1, p. 1991–1998, 2009.

COSTA, R. R. G. F.; QUIRINO, G. da S. F.; NAVES, D. C. de F.; SANTOS, C. B.; ROCHA, A. F. DE S. Efficiency of inoculant with *Azospirillum brasilense* on the growth and yield of second-harvest maize. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 3, p. 304–311, 2015.

CRUZ, S.; PEREIRA, F. R. D. S.; SANTOS, J. R.; ALBUQUERQUE, A.; PEREIRA, R. G. Adubação nitrogenada para o milho cultivado em sistema plantio direto, no estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 1, p. 62-68, 2008.

DAVID, B. V.; CHANDRASEHAR, G.; SELVAM, P. N. *Pseudomonas fluorescens*: A plant-growth-promoting rhizobacterium (PGPR) with potential role in biocontrol of pests of crops. In: **Crop Improvement Through Microbial Biotechnology**, p. 221–243, 2018.

DOBBELAERE, S.; VANDERLEYDEN, J.; OKON, Y. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. **Critical reviews in plant sciences**, v. 22, n. 2, p. 107-149, 2003.

FALLIK, E.; OKON, Y. The response of maize (*Zea mays*) to *Azospirillum* inoculation in various types of soils in the field. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 12, n. 5, p. 511-515, 1996.

FELINI, F. Z.; BONO, J. A. M. Produtividade de soja e milho, em sistema de plantio com uso de cama de frango na região de Sidrolândia-MS. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 15, n. 5, p. 9-18, 2011.

FEREIDOONI, M.; RAIESI, F.; FALLAH, S. Ecological restoration of soil respiration, microbial biomass and enzyme activities through broiler litter application in a calcareous soil cropped with silage maize. **Ecological Engineering**, v. 58, n. 1, p. 266-277, 2013.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

GEDDES, B. A.; RYU, M.; MUS, F.; COSTAS, A. M. G.; PETERS, J. W.; VOIGT, C. A.; POOLE, P. Use of plant colonizing bacteria as chassis for transfer of N<sub>2</sub>- fixation to cereals. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 32, n. 1, p. 216-222, 2015.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; HÜBNER, A. P.; LUNKES, A.; GUIDINI, E.; AMARAL, E. B. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1097-1104, 2003.

GUIMARÃES, G.; LANA, R. P.; REI, R. S.; VELOSO, C. M.; SOUSA, M. R. M.; RODRIGUES, R. C.; CAMPOS, S. A. Produção de cana-de-açúcar adubada com cama de frango. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 17, n. 4, p. 617-625, 2016.

HARTHMANN, O. E. L.; MÓGOR, Á. F.; WORDELL FILHO, J. A.; LUZ, W. C. D. Rizobactérias no crescimento e na produtividade da cebola. **Ciência Rural**. v. 40, n. 2, p. 432-435, 2010.

HAYAT, R.; ALI, S.; AMARA, U.; KHALID, R.; AHMED, I. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. **Annals of microbiology**, v. 60, n. 4, p. 579-598, 2010.

HIRZEL, J.; WALTER, I. Availability of nitrogen, phosphorus and potassium from poultry litter and conventional fertilizers in a volcanic soil cultivated with silage corn. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 68, n. 3, p. 264-273, 2008.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Londrina: Embrapa Soja. 36p. 2011.

JN-BAPTISTE, M.; SISTANI, K. R.; TEWOLDE, H. Poultry litter time and method of application effects on corn yield. **Soil science**, v. 178, n. 3, p. 109-119, 2013.

LANA, M. D. C.; DARTORA, J.; MARINI, D.; HANN, J. E. Inoculation with *Azospirillum*, associated with nitrogen fertilization in maize. **Revista Ceres**, v. 59, n. 3, p. 399-405, 2012.

LIMA NETO, P. M. de; JÚNIOR, D. G. S.; DIAS, D. S.; CRUZ, S. C. S.; RESENDE, H. de O.; COSTA, M. M. Cama de aves associada a adubação nitrogenada no cultivo do milho. **Colloquium Agrariae**, vol. 14, n. 3, p. 39-50, 2018.

LIMA, T. M. DE.; PASCOAL, P. R. P.; CARVALHO, F. J.; LANA, R. M. Q. Adubação de milho crioulo com resíduos orgânicos em associação com *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 2, p. 9-16, 2019.

LIU, E.; YAN, C.; MEI, X.; HE, W.; BING, S. H.; DING, L.; LIU, Q. Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China. **Geoderma**, v. 158, n. 3-4, p. 173-180, 2010.

MUMTAZ, M. Z.; AHMAD, M.; JAMIL, M.; HUSSAIN, T. Zinc solubilizing *Bacillus* spp. potential candidates for biofortification in maize. **Microbiological Research**, v. 202, n. 1, p. 51-60, 2017.

NAVEED, M.; KHALID, M.; JONES, D. L.; AHMAD, R.; ZAHIR, Z. A. Relative efficacy of *Pseudomonas* spp., containing ACC-deaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of organic fertilizer. **Pakistan Journal of Botany**, v. 40, n. 3, p. 1243-1251, 2008.

OLIVEIRA, M. A. de; ZUCARELI, C.; FERREIRA, A. S.; DOMINGUES, A. R.; SPOLAOR, L. T.; NEVES, C. S. Adubação fosfatada associada à inoculação com *Pseudomonas fluorescens* no desempenho agrônômico do milho. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 1, p. 18-25, 2015.

PAIXÃO, S. L.; CAVALCANTE, M.; FERREIRA, P. V.; MADALENA, J. A. S.; PEREIRA, R. G. Divergência genética e avaliação de populações de milho em diferentes ambientes no estado de Alagoas. **Revista Caatinga**, v.21, n.4, p.191-195, 2008.

PAVINATO, P. S.; PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V.; MOREIRA, A.; MOTTA, A. C. V. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR. p. 117-144, 2017.

PITTA, C. S. R.; ADAMI, P. F.; PELISSARI, A.; ASSMANN, T. S.; FRANCHIN, M. F.; CASSOL, L. C.; SARTOR, L. R. Year-round poultry litter decomposition and N, P, K and Ca release. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 1043–1053, 2012.

QUADROS, P. D.; ROESCH, L. F. W.; SILVA, P. R. F.; VIEIRA, V. M.; ROESCH, D. D.; CAMARGO, F. A. O. Desempenho agrônômico a campo de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*. **Revista Ceres**, v. 61, n. 2, p. 209–218, 2014.

RAMBO, L.; SILVA, P. R. F. D.; STRIEDER, M. L.; SILVA, A. A. D.; SANGOI, L.; VIEIRA, V. M. Índices nutricionais de N e produtividade de milho em diferentes níveis de manejo e de adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 4, p. 390-397, 2011.

RUTTANAPRASERT, R.; JOGLOY, S.; VORASOOTN, K. T.; KANWAR, R. S.; HOLBROOK, C. C.; PATANOTHAI, A. Relationship between chlorophyll density and spad

chlorophyll meter reading for Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). **Journal of Breeding and Genetics**, v. 44, n. 1, p. 149-162, 2012.

SANDINI, I. E.; PACENTCHUK, F.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; DA CRUZ, S. P.; NAKATANI, A. S.; ARAUJO, R. S. Seed inoculation with *Pseudomonas fluorescens* promotes growth, yield and reduces nitrogen application in maize. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 22, n. 6, p. 1369-1375, 2019.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. Á. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro. 353p. 2013.

SANTOS, L. A. L. de. **Efeitos da co-inoculação de *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* associados adubação química e orgânica na cultura do milho**. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) - Universidade Federal Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul, 2019.

SANTOS, L. B. D.; CASTAGNARA, D. D.; BULEGON, L. G.; ZOZ, T.; RABELLO DE OLIVEIRA, P. S.; GONÇALVES, A. C.; NERES, M. A. Mineral nitrogen substitution by chicken litter in succession oat/corn. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 272-281, 2014.

SAXENA, J.; RANA, G.; PANDEY, M. Impact of addition of biochar along with *Bacillus* sp. on growth and yield of french beans. **Scientia Horticulturae**, v. 162, n. 1, p. 351-356, 2013.

SENHOR, J. P. da C. **Combinação do uso de cama de aviário com nitrogênio em cobertura na cultura do milho**. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia.) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2019.

SHOWLER, A. T. Effects of compost and chicken litter on soil nutrition, and sugarcane physiochemistry, yield, and injury caused by Mexican rice borer, *Eoreuma loftini* (Dyar) (Lepidoptera: Crambidae). **Crop Protection**, v. 71, n. 1, p. 1-11, 2015.

SILVA, L. F. P. da.; ROSSET, J. S.; OZÓRIO, J. M. B.; CASTILHO, S. C. de P.; MARRA, L. M. Desenvolvimento da cultura do milho e carbono orgânico total sob diferentes fontes de adubos. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 13, n. 4, p. 1509-1532, 2020.

SOUZA, A. A. **Resposta do milho e do tomateiro à inoculação com bactérias diazotróficas isoladas da superfície de folhas**. 80 f. Dissertação (Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

SZILAGYI-ZECCHIN, V. J.; MARRIEL, I. E. E.; SILVA, P. R. F. da. Produtividade de milho inoculado com *Azospirillum brasilense* em diferentes doses de nitrogênio cultivado em campo no Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**. v. 40, n. 4, p. 795-798, 2017.

TALBOYS, P. J.; OWEN, D. W.; HEALEY, J. R.; WITHERS, P. J. A.; JONES, D. L. Auxin secretion by *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 both stimulates root exudations and limits phosphorus uptake in *Triticum aestivum*. **Biomed Central Plant Biology**, v. 15, n. 51, p. 1-9, 2014.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 2, p. 254-263, 2011.

VITTO, D.; GUIMARÃES, V. F.; OLIVEIRA, P. S. R. de; CECATTO JUNIOR, R.; SILVA, A. S. L. da; HOSCHEID, A. R. S. Produção e produtividade de milho inoculado com *Azospirillum brasilense* fertilizado com cama de frango. **Nativa**, v. 10, n. 4, p. 477-485, 2022.

WANI, P. A.; KHAN, M. S. *Bacillus* species enhance growth parameters of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in chromium stressed soils. **Food and Chemical Toxicology**, v. 48, n. 11, p. 3262-3267, 2010.

WATTS, D. B.; TORBERT, H. A.; PRIOR, S. A.; HULUKA, G. Long-term tillage and poultry litter impacts soil carbon and nitrogen mineralization and fertility. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, n. 4, p. 1239-1247, 2010.

WEI, J. Z.; O'REAR, J.; SCHELLENBERGER, U.; ROSEN, B. A.; PARK, Y. J.; MCDONALD, M. J.; ZHU, G.; XIE, W.; KASSA, A.; PROCYK, L.; ORTEGA, C. P.; ZHAO, J.; YALPANI, N.; CRANE, V. C.; DIEHN, S. H.; SANDAHL, G. A.; NELSON, M. E.; LU, A. L.; WU, G.; LIU, L. A selective insecticidal protein from *Pseudomonas mosselii* for corn rootworm control. **Plant biotechnology journal**, v. 16, n. 2, p. 649-659, 2018.

ZHANG, S.; LI, Q.; MA, K.; CHEN, L. Temperature dependent gas exchange and stomatal/non-stomatal limitation to CO<sub>2</sub> assimilation of *Quercus liaotungensis* under midday high irradiance. **Photosynthetica**, v. 39, n. 3, p. 383–388, 2001.

#### 4 ARTIGO 2 - TROCAS GASOSAS E TEORES FOLIARES DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO DO MILHO INOCULADO COM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL ASSOCIADO À FERTILIZAÇÃO COM CAMA DE FRANGO

Este trabalho teve como objetivo avaliar as trocas gasosas foliares e teores nutricionais de milho inoculado com bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) e fertilizadas com cama de frango e adubo químico. O experimento foi realizado em cultivo protegido, em blocos casualizados, com quatro repetições e esquema fatorial 4x5 mais 4 tratamentos adicionais. O primeiro fator foi composto por BPCVs: (1) sem inoculação; (2) *Azospirillum brasilense*; (3) *Bacillus subtilis*+*Bacillus megaterium* e (4) *Pseudomonas fluorescens*. O segundo fator foi 5 doses de cama de frango, sendo: 0; 0,5; 1; 1,5; 2,0 vezes a dose recomendada de 3530 kg ha<sup>-1</sup> de cama de frango, enquanto nos tratamentos adicionais foi realizado o manejo com o fertilizante químico na dose de 370 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 10-15-15 juntamente com 250 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples (SFS) na semeadura e no estágio V6 realizada a adubação de cobertura com 408 kg ha<sup>-1</sup> de uréia, aliado ao tratamento sem inoculação e à dose de cada inoculante contendo as BPCV. As variáveis avaliadas foram: teores nas folhas, raízes e grãos de nitrogênio (N), fósforo (P), e potássio (K), taxa assimilatória líquida de CO<sub>2</sub> (*A*), condutância estomática (*gs*), concentração interna de CO<sub>2</sub> na câmara subestomática (*Ci*), transpiração foliar (*E*), além da eficiência de uso da água (*EUA*), eficiência intrínseca do uso da água (*EIUA*) e eficiência instantânea de carboxilação (*EiC*). O uso do inoculante contendo *A. brasilense* promoveu maior aproveitamento da cama de frango quando utilizada a dose ideal de 3530 kg ha<sup>-1</sup>, favorecendo o acúmulo nos teores de N nos grãos. Quando aplicado o inoculante contendo *B. subtilis* + *B. megaterium*, aumentou-se o aproveitamento da cama de frango em relação ao teor de K nas raízes das plantas inoculadas, com a dose de 2625 kg ha<sup>-1</sup>. As plantas que foram inoculadas com as bactérias de *A. brasilense*, obtiveram maior aproveitamento da cama de frango com a dose de 2250 kg ha<sup>-1</sup>, aumentando os teores de P nas folhas, em comparação as outras doses. A inoculação das plantas com BPCV associadas a níveis de adubação orgânica não influenciaram nas trocas gasosas de plantas de milho.

**Palavras-chave:** *A. brasilense*. *B. subtilis*. *B. megaterium*. *P. fluorescens*; adubação orgânica; fotossíntese.

#### 4.1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) possui grande importância mundial por ser uma cultura essencial para o consumo humano e a alimentação animal. Devido a isso, ocorre a necessidade de aumentar a sua produtividade, principalmente para uso nas atividades de criação de animais, com o objetivo de produção de carne e leite, as quais utilizam cerca de 43% da produção brasileira de milho (BRASIL, 2020).

Essa cultura requer elevada quantidade de fertilizantes minerais, contendo nutrientes que estão diretamente relacionados aos processos bioquímicos da planta (RANUM et al., 2014). Entretanto a utilização de fertilizantes químicos é onerosa, pelo alto valor desses produtos e considerada causadora de riscos ao meio ambiente, sendo usado indiscriminadamente, resultando na eutrofização do solo e contaminação das águas (DUNGAIT et al., 2012; MARKS et al., 2013). Assim o emprego de alternativas que possam minimizar os efeitos ambientais negativos, aliada a elevação da eficiência produtiva da cultura, em especial a redução de custos de produção, contribuirão para todo o sistema agroindustrial da cadeia produtiva do milho.

Dentre as alternativas que podem ser capazes de atender as demandas produtivas e ambientais, está a prática de inoculação de sementes com bactérias que promovem o crescimento das plantas (BPCVs). Esses microrganismos conseguem sobreviver tanto no interior quanto na superfície das raízes de diversas espécies vegetais e são eficientes em proporcionar efeitos benéficos para as plantas de forma direta e indireta (BALDANI e BALDANI, 2005).

Esses microrganismos podem estar relacionados a diversos mecanismos que são capazes de estimular o crescimento e desenvolvimento das plantas, um deles é através da produção e excreção hormonal, podendo ser destacadas as auxinas, as giberelinas e citocininas (COSTA et al., 2015), promovendo assim o crescimento radicular e resultando no aumento da capacidade de absorção de água e nutrientes (PEDRAZA, 2008).

A promoção de crescimento resultante também é capaz de influenciar parâmetros bioquímicos e morfológicos nas plantas. Dentre os processos de maior importância, os fotossintéticos são considerados cruciais para seu crescimento e desenvolvimento, principalmente as trocas gasosas, que são as taxas de conversão e produção energética e que influenciam diretamente na produção de massa seca de planta (KERBAUY, 2008; SALISBURY e ROSS, 2012; TAIZ et al., 2017). Assim, se torna de suma importância o entendimento de como o uso desses microrganismos influenciam nesses processos e atuam sobre o desenvolvimento vegetal.

Diversos gêneros de bactérias têm sido identificados como BPCV na cultura do milho, tais como o gênero *Azospirillum* sp. (MONTAÑEZ et al., 2009), *Bacillus* sp. (BOMFIM et al., 2020) e *Pseudomonas* sp. (PIROMYOU et al., 2011). São capazes de promover o aumento na captação de nutrientes, como o fósforo (P), através da extração ou da solubilização de frações insolúveis que existe nos solos, gerando incrementos de 100 e 54,6% na eficiência do uso do P, quando inoculado com *B. subtilis* e *A. brasilense*, respectivamente (SILVA et al., 2020; RODRIGUEZ et al., 2004). Esses gêneros também são capazes de promover a fixação biológica de nitrogênio, contribuindo com até 70% da absorção total de N no campo, disponibilizando grande parte desse nutriente para a planta (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006; MONTAÑEZ et al., 2009).

A utilização de BPCVs vem sendo amplamente pesquisada. Há relatos de efeitos positivos encontrados em gramíneas, como braquiárias (*Urochloa ruziziensis*), em que o uso de *A. brasilense* proporcionou benefício sobre os efeitos do déficit hídrico da planta, mantendo altas taxas de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (*A*) em comparação ao controle não irrigado (BULEGON et al., 2017). Enquanto Bellé (2015), observou incrementos na taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (*A*) nos tratamentos inoculados com *A. brasilense* quando comparados aos não inoculados, influenciando assim no comportamento bioquímico e na produção de massa das plantas.

Entre os resíduos orgânicos oriundos da produção animal, a cama de frango está disponível nas propriedades rurais a um baixo custo, se transformando em uma alternativa de uso sustentável quando manejado de forma adequada para ser reutilizada como adubo orgânico na agricultura (COSTA et al., 2009; RODRIGUES et al., 2014; ANDRADE, 2015).

Quando esse material é aplicado ao solo pode atuar positivamente nos aspectos biológico, químicos e físicos, melhorando a estrutura do solo, aumenta a capacidade de retenção de água e aeração, permitindo maior penetração e distribuição de raízes (MALAVOLTA et al., 1997). É rico em matéria orgânica e nutrientes, tornando-se fonte de energia para os organismos que colaboram com o seu ciclo biológico, mantendo o solo em estado dinâmico e exercendo importante papel em sua fertilidade (LANDGRAF et al., 2005).

As maiores taxas de decomposição da cama de frango e a liberação de nutrientes ocorre nos primeiros 60 dias de incubação no solo, nesse período, cerca de 40% de N, 34% de P e 91% de K encontrados na massa seca da cama de frango podem ser liberados para o ambiente (PITTA et al., 2012).

A utilização de cama de frango na fertilização de plantas é capaz de influenciar positivamente nas trocas gasosas, como a taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (*A*), transpiração

( $E$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), concentração intercelular de  $CO_2$  ( $C_i$ ) e a eficiência instantânea de carboxilação da Rubisco ( $A/C_i$ ) em plantas de ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata*) (SANTOS et al., 2019). Os nutrientes existentes no resíduo orgânico podem contribuir no desenvolvimento foliar das plantas, principalmente o nitrogênio, que faz parte das moléculas de clorofila e dos aminoácidos associados a ribulose 1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (RUBISCO) (TAIZ et al., 2017).

Apesar de estudos realizados reconhecerem a eficiência do uso da cama de frango na cultura do milho, há a necessidade do melhor entendimento da relação entre os microrganismos promotores de crescimento em plantas e a utilização de adubos orgânicos no milho. É esperado que plantas de milho inoculadas com bactérias promotoras de crescimento apresentem maior aproveitamento do fertilizante orgânico, resultando em maiores incrementos sobre as trocas gasosas da cultura e ganho nos teores nutricionais foliares das plantas, em relação a utilização isolada.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as trocas gasosas foliares e teores nutricionais de milho inoculado com bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) e fertilizadas com cama de frango e adubo químico.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 Descrição do local do experimento

O experimento foi realizado durante a safra de 2019/2020, na Estação Experimental de Cultivo e Controle Biológico Prof. Dr. Mario César Lopes, pertencente ao Núcleo de Estações Experimentais da Universidade Estadual do Oeste Paraná – UNIOESTE, Campus Marechal Cândido Rondon – PR (54° 22' Oeste, 24° 46' Sul e altitude média de 420 metros).

O clima do local é definido como tipo Cfa, subtropical mesotérmico, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses do verão, com precipitação média em torno de 1700 mm (APARECIDO et al., 2016).

A instalação do experimento foi em casa de vegetação, coberta com placas de policarbonato alveolar com espessura de 10 mm e com tratamento contra raios ultravioleta. Para o resfriamento foi utilizado o sistema de painéis evaporativos “*Humid Cool*”. Ao longo do ciclo da cultura, a temperatura, umidade do ar e temperatura do ponto de orvalho foram monitorados de hora em hora utilizando o Termohigrômetro Datalogger Easy Log, colocado dentro do ambiente protegido onde foi conduzido o experimento (Figura 10).

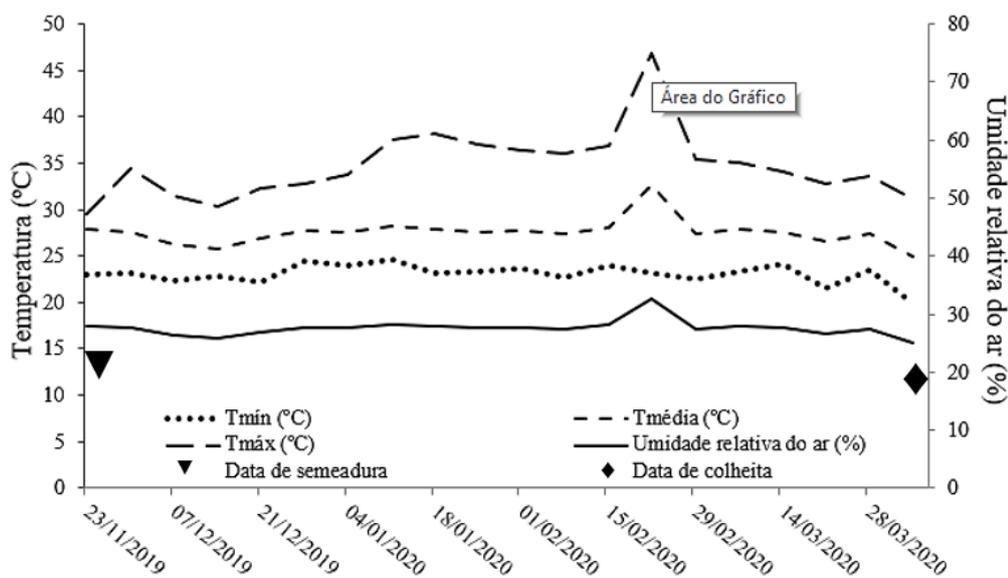


Figura 10 - Médias quinzenais de temperatura mínima, média e máxima e umidade relativa do ar durante os meses no período do experimento em cultivo protegido.

Para a realização da implantação e condução do experimento, foram utilizados vasos de polietileno de 12 e 25 kg. O substrato utilizado para preenchimento dos vasos foi proveniente do horizonte A de um LATOSSOLO VERMELHO eutroférico (LVef) (SANTOS et al., 2013), com textura muito argilosa. Foi coletado da camada 0-20 cm do solo da região de Marechal Candido Rondon – PR. Antes da instalação do experimento realizou-se a coleta de solo para sua caracterização química.

#### 4.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados (DBC) composto por esquema fatorial 4x5 mais 4 tratamentos adicionais. O primeiro fator foi referente a utilização de inoculantes comerciais contendo diferentes bactérias promotoras de crescimento vegetal, ou seja, (1) sem inoculação; (2) *Azospirillum brasilense*; (3) *B. subtilis* + *B. megaterium* e (4) *Pseudomonas fluorescens*. O segundo fator, consistiu na aplicação de diferentes doses de cama de frango, sendo elas: 0, 1765, 3530, 5295, 7061 kg ha<sup>-1</sup> de cama de frango.

Nos tratamentos adicionais, foi aplicada a dose recomendada de fertilizante químico, sem inoculação e a mesma dose juntamente com cada inoculante contendo BPCV. Dessa forma, o experimento possuiu 24 tratamentos com 4 repetições, totalizando 96 unidades experimentais com 2 plantas cada. O experimento foi instalado em duplicata com o objetivo de realizar as análises destrutivas no estádio V8 das plantas.

#### 4.2.3 Material vegetal e condução experimental

Realizou-se a análise química do solo no Laboratório de Química Ambiental e Instrumental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus Marechal Cândido Rondon, resultando nos seguintes valores: 14,35 g dm<sup>-3</sup> de M.O.; pH (CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>) 4,99; 10,40 mg dm<sup>-3</sup> de P (melich<sup>-1</sup>); 0,52 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K<sup>+</sup>; 4,04 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca<sup>2+</sup>; 1,19 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg<sup>2+</sup>; 12,00 mg dm<sup>-3</sup> de Cu; 2,40 mg dm<sup>-3</sup> de Zn; 105,00 mg dm<sup>-3</sup> de Mn; 31,60 mg dm<sup>-3</sup> de Fe; 9,49 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de CTC; 60,69% de saturação de bases e relação Ca/Mg de 3,40.

A cama de frango utilizada na pesquisa foi proveniente de uma propriedade rural da região de Marechal Cândido Rondon - PR, que reutilizou a cama de maravalha por 9 lotes de frangos de corte seguidos, cada lote possuiu duração média de 42 dias sobre esse material. No entanto não foi aplicado gesso sobre a cama durante os intervalos de cada lote no galpão. Após a retirada do último lote, a cama passou por trituração mecânica, amontoa e permaneceu por aproximadamente 30 dias em repouso coberto por lonas pretas sob o sol, com alta umidade (± 60%) através de regas uma vez por semana e alta temperatura pela atuação dos microrganismos.

O material foi enviado ao Laboratório SBS de Análises Agronômicas e Veterinárias, localizada no município de Cascavel - PR, para análise química de adubos orgânicos, determinando assim a composição de nutrientes e matéria orgânica: 40,06% de massa seca; 26,39% de resíduo mineral total; pH (CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>) 7,7; 2,93% de N total; 1,23% de P total; 2,39% de K total; 3,31% de Ca total; 1,01% de Mg total; 376,5 mg kg<sup>-1</sup> de Cu total; 548,5 mg kg<sup>-1</sup> de Zn total; 625 mg kg<sup>-1</sup> de Mn total; 6989,5 mg kg<sup>-1</sup> de Fe total e 52,34 mg kg<sup>-1</sup> de B total.

Antes da semeadura do milho nos vasos realizou-se a aplicação dos adubos orgânicos e químicos no solo. Não foi necessária a aplicação de calcário no solo devido ao pH e a saturação por bases estarem de acordo com o necessitado pela cultura. Nos tratamentos com adubação orgânica foram aplicados em superfície as cinco doses: 0, 1765 (51,7 kg de N; 21,7 kg de P; 42,18 kg de K), 3530 (103 kg de N; 43,4 kg de P; 84,36 kg de K), 5295 (155,87 kg de N; 65,43 kg de P; 127,15 kg de K), 7061 (206,88 kg de N; 86,8 kg de P; 168,76 kg de K) kg ha<sup>-1</sup> de cama de frango. Esses valores foram definidos utilizando como base a análise química de solo e da

cama, seguindo os cálculos de recomendação do Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná na cultura do milho (PAVINATO et al., 2017).

Na implantação do experimento, foi realizada a adubação química nos tratamentos adicionais, conforme recomendação, utilizando 370 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 10-15-15, possuindo 10% de nitrogênio, 15% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 15% de K<sub>2</sub>O e para complemento do fósforo na semeadura foi aplicado 250 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples contendo 18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, enquanto em cobertura, já no estágio V6, houve a aplicação de 408 kg ha<sup>-1</sup> de ureia contendo 45% de nitrogênio. Esses valores de adubo químico resultaram nas quantidades de 238 kg de N; 100,5 kg de P; 55,5 kg de K aplicados por hectare.

Para a semeadura, as sementes de milho escolhidas eram da cultivar AS1677, com tecnologia VTPRO3, da empresa Agroeste®, denominada como híbrido simples e hiper precoce. A semeadura ocorreu na segunda quinzena de novembro de 2019, adicionando o volume de 100 ml para 60000 sementes ou 1,67 µL por semente de inoculante em cada tratamento com as BPCV, 30 minutos antes da semeadura, adicionando o volume correspondente de inoculante em sacos plásticos com a semente e homogeneizando por agitação manual durante 3 minutos.

Os tratamentos foram: sem inoculação; *Azospirillum brasilense*, estirpes AbV5 e AbV6 (2 x 10<sup>8</sup> UFC ml<sup>-1</sup>); *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium* (4 x 10<sup>9</sup> UFC ml<sup>-1</sup>) e *Pseudomonas fluorescens* (2 x 10<sup>8</sup> UFC ml<sup>-1</sup>).

Foi realizado o desbaste das plantas quando estas apresentavam de 4 a 5 folhas totalmente expandidas, mantendo apenas as duas plantas mais vigorosas em cada vaso. A irrigação foi realizada por gotejamento nos vasos durante todos os dias, sempre efetuada no mesmo horário do dia, sendo interrompida quando se atingia a capacidade de campo do solo, ou seja, até o escoamento sob o vaso iniciar.

#### 4.2.4 Análise dos teores nutricionais de folhas, raízes e grãos

Para realização da análise dos teores de nutrientes, foram coletadas amostras de folhas durante o estágio VT das plantas dos vasos de 12 dm<sup>3</sup>, coletando-se as folhas do terço médio de cada planta dos tratamentos e no mesmo momento foi coletada as raízes das plantas, realizada lavagem de todo o solo existente e breve secagem a sombra para retirada do excesso de água do material, enquanto os grãos foram colhidos ao final do cultivo dos vasos de 25 dm<sup>3</sup>.

Feito isso, todo o material coletado passou por estufa de circulação forçada de ar para secagem a 65 °C de temperatura, até atingir massa constante. O material resultante da secagem, folhas, raízes e grãos, passou por moagem em moinho de facas tipo Willey com peneira de

malha mesh 20. Em seguida, foi realizada a digestão sulfúrica do material vegetal em bloco de aquecimento até 375 °C. Da amostra resultante foram determinados os teores de nitrogênio, via arraste de gases Kejldahl; fósforo, via espectrofotometria por colorimetria; e potássio, via espectrofotometria de absorção atômica. O valor determinado de cada nutriente foi expresso em g kg<sup>-1</sup> de matéria seca (LANA et al., 2016).

#### 4.2.5 Trocas gasosas das plantas

As leituras de trocas gasosas foram determinadas no estágio fenológico VT (pendão completamente visível), por intermédio do analisador portátil de gases por radiação infravermelha (IRGA) (Modelo Li6400 xt, LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA). Para realização destas medições foram selecionadas folhas do terço médio das plantas, totalmente maduras, expandidas e sem a presença de qualquer lesão ou dano, no período da manhã, entre as 8 e 12 horas. As variáveis das trocas gasosas foram mensuradas com a presença de 2000 μmol de m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> de luz com o auxílio de um emissor de luz artificial (LED) controlado por sensor dentro da câmara foliar, teor de CO<sub>2</sub> ambiental de 400 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e fluxo de ar padronizado de 500 μmol s<sup>-1</sup>.

A análise realizada considerou a taxa assimilatória líquida de CO<sub>2</sub> ( $A$ ) (μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), condutância estomática ( $g_s$ ) (mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), concentração interna de CO<sub>2</sub> na câmara subestomática ( $C_i$ ) (μmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup>), taxa de transpiração foliar ( $E$ ) (mmol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), além das seguintes relações:  $EUA = A/E$  [(μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>],  $EIUA = A/g_s$  (μmol CO<sub>2</sub> / mol H<sub>2</sub>O) e  $EiC = A/C_i$  [(μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (μmol mol<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>] (ZHANG et al., 2001), em que  $EUA$  corresponde à eficiência de uso da água,  $EIUA$  é a eficiência intrínseca do uso da água e  $EiC$  é a eficiência instantânea de carboxilação.

#### 4.2.6 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância pelo teste F de Fisher-Snedecor (p<0,05). Quando detectadas diferenças significativas, foi realizada análise de regressão para as doses e comparações de médias da interação “dose x adicional” através do teste de Dunnett (p<0,05).

Utilizou-se o teste de Tukey (p<0,05) para as médias das inoculações. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software Sisvar (FERREIRA, 2014).

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 4 são apresentados os quadrados médios das variáveis analisadas, onde verifica-se que houve interação entre os inoculantes e as adubações sobre os teores de N nas raízes e grãos, no teor de P nas folhas e sobre o teor de K nas folhas, raízes e grãos. Assim como, a aplicação dos adubos orgânico e químico influenciaram nas variáveis de *A*, *gs*, *E* e *EiC*, isoladamente.

No teor de N em raízes, quando aplicado a cama de frango, o comportamento da curva da ausência de inoculação resultou em gráfico negativo, com ponto máximo de 6,94 g kg<sup>-1</sup> de N aplicando 3500 kg há<sup>-1</sup> da cama de frango, enquanto o uso das bactérias resultou em curvas positivas com ponto mínimo de 5,97 (250 kg ha<sup>-1</sup>), 5,75 (5000 kg ha<sup>-1</sup>) e 6,21 g kg<sup>-1</sup> (2500 kg ha<sup>-1</sup>) para *A. brasilense*, *B. subtilis* + *B. megaterium* e *P. fluorescens* respectivamente (Figura 11). Acredita-se que com o uso das bactérias, a planta consegue aumentar sua capacidade em absorver e armazenar N nas raízes, o que não ocorre com a ausência de inoculante, pois a região das raízes está saturada.

Também pode ser observado o teor de N nas raízes de milho que mostra as diferenças entre os adubos aplicados na presença do inoculante com *P. fluorescens*, onde o adubo químico apresentou superioridade significativa sobre a ausência de adubação e todas as doses da cama de frango aplicadas, com acréscimos de 77, 80, 80, 72 e 59,5% sobre o teor de nitrogênio nas raízes, respectivamente (Figura 11D).

A partir disso, pode-se inferir que a aplicação de *P. fluorescens* nas sementes favoreceu o acúmulo de N inorgânico nas raízes de plantas com a adubação química, causando efeito sinérgico positivo entre o adubo químico e sua atuação nas raízes das plantas sobre a absorção de N.

A aplicação de *A. brasilense* nas sementes juntamente com a adubação química favoreceu o aumento do teor de N nos grãos, quando comparado ao uso de doses inferiores a 1765 kg ha<sup>-1</sup> de cama de frango e a aplicação de quantidades acima de 5295 kg ha<sup>-1</sup> de cama de frango (Figura 12B). No entanto, na adubação com doses próximas ao recomendado, a cama de frango proporcionou teores de N próximos ao alcançado com o adubo químico nos grãos de milho.

Tabela 4 - Graus de liberdade e quadrado médio para os teores nutricionais de folha, raiz e grãos, assim como para as variáveis de trocas gasosas em função do milho inoculado com diferentes bactérias promotoras de crescimento vegetal e adubado com doses de cama de frango e adubo químico em estufa, na safra 2019/2020.

FV	GL	N folha	N raiz	N grão	P folha	P raiz	P grão	K folha	K raiz
		Quadrado Médio							
Inoculante	3	18,1137 <sup>ns</sup>	9,7452 <sup>ns</sup>	37,4427 <sup>**</sup>	0,0121 <sup>ns</sup>	0,0602 <sup>ns</sup>	0,5306 <sup>*</sup>	160,6824 <sup>**</sup>	7,8014 <sup>ns</sup>
Dose	5	13,9007 <sup>ns</sup>	1,2587 <sup>ns</sup>	3,9193 <sup>ns</sup>	0,0339 <sup>ns</sup>	0,0030 <sup>ns</sup>	0,3957 <sup>ns</sup>	39,9948 <sup>ns</sup>	27,6355 <sup>**</sup>
Inoc x Dose	15	10,6299 <sup>ns</sup>	10,7374 <sup>**</sup>	21,4516 <sup>**</sup>	0,0615 <sup>ns</sup>	0,0682 <sup>ns</sup>	0,4333 <sup>**</sup>	48,8243 <sup>**</sup>	12,6264 <sup>*</sup>
Bloco	3	68,3842	8,2082	0,3179	0,0125	0,1628	1,5937	161,4343	8,3093
Erro	69	7,3665	4,4444	2,8939	0,0234	0,0399	0,1742	18,4150	6,1505
CV (%)		25,08	32,53	13,82	21,24	32,72	17,04	14,64	20,14
Média		10,82	6,48	12,30	0,72	0,61	2,45	29,31	12,32
FV	GL	K grão	A	gs	Ci	E	EUA	EIUA	EiC
		Quadrado Médio							
Inoculante	3	13,7259 <sup>**</sup>	26,8340 <sup>ns</sup>	0,0039 <sup>ns</sup>	571,4568 <sup>ns</sup>	0,2822 <sup>ns</sup>	0,9347 <sup>ns</sup>	274,8835 <sup>ns</sup>	0,0005 <sup>ns</sup>
Dose	5	1,3070 <sup>ns</sup>	152,5326 <sup>**</sup>	0,0212 <sup>**</sup>	487,2637 <sup>ns</sup>	1,7436 <sup>**</sup>	2,1501 <sup>ns</sup>	311,3527 <sup>ns</sup>	0,0069 <sup>**</sup>
Inoc x Dose	15	4,6783 <sup>*</sup>	15,9767 <sup>ns</sup>	0,0020 <sup>ns</sup>	321,6763 <sup>ns</sup>	0,2538 <sup>ns</sup>	3,2158 <sup>ns</sup>	149,9473 <sup>ns</sup>	0,0017 <sup>ns</sup>
Bloco	3	2,7883	101,7575	0,0378	17186,7961	22,5344	758,6347	13191,1353	0,0126
Erro	69	2,1329	15,2324	0,0038	971,6963	0,3768	3,8561	441,6949	0,0016
CV (%)		21,76	19,41	34,33	19,81	27,72	17,77	17,39	29,45
Média		6,71	20,10	0,18	157,36	2,21	11,05	120,86	0,14

\*\* significativo pelo teste F ( $p \leq 0,01$ ); \* significativo pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ); <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ). FV: Fonte de Variação; GL: Grau de Liberdade; QM: Quadrado médio; CV: Coeficiente de variação.

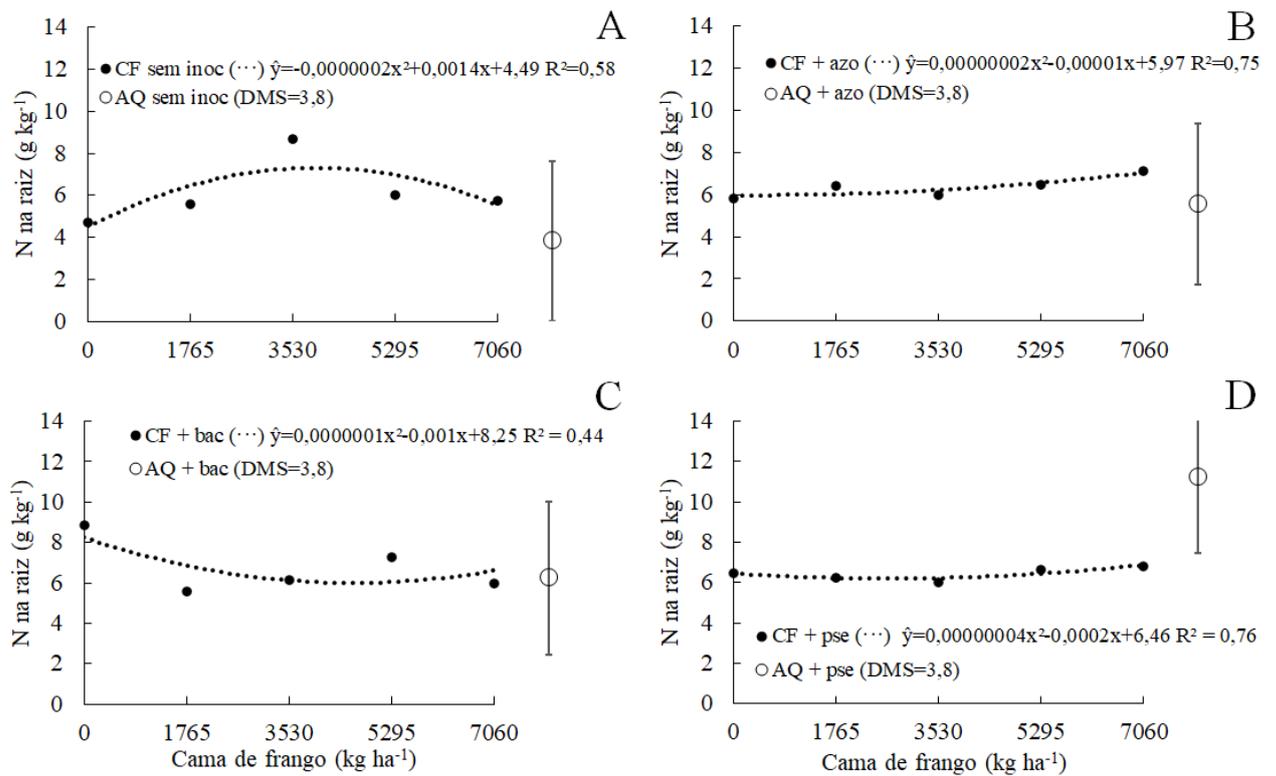


Figura 11 - Teor de N em raízes de milho não inoculado (A), inoculado com *A. brasilense* (B), com *B. subtilis*+*B. megaterium* (C) e com *P. fluorescens* (D) e fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.

O adubo químico associado a presença de bactérias de *A. brasilense* conseguiu aumentar o acúmulo de N grãos, pois podem ter favorecido a absorção do nutriente e sua translocação de outros órgãos para o grão. O que não ocorreu com as altas doses da cama de frango aplicadas em associação a essa bactéria.

Autores que investigaram a atuação de linhagens de BPCV em experimento sob condições controladas também verificaram que bactérias fixadoras remobilizavam N nas plantas continuamente durante todo o estágio reprodutivo (KUAN et al., 2016).

O teor de nitrogênio dos grãos de milho não apresentou diferenças entre a cama de frango e seus respectivos adubos químicos com o tratamento sem inoculação e os inoculantes de *B. subtilis* + *B. megaterium*, *P. fluorescens*, no entanto, pode-se notar que ao aplicar esses tratamentos, as médias de N em grãos resultaram curvas quadráticas com ponto mínimo, reduzindo aos 4375 (9,01 g kg<sup>-1</sup>), 1500 (12,78 g kg<sup>-1</sup>) e 750 (11,33 g kg<sup>-1</sup>) kg ha<sup>-1</sup> para esses tratamentos, respectivamente, aumentando após esses pontos da curva (Figura 12A, 12C e 12D).

Esses resultados discordam de Reis Jr et al. (2008) que relataram o maior acúmulo de N para os tratamentos inoculados com bactérias promotoras de crescimento como o *A. amazonense* que aumentou o teor de N em raízes de milho.

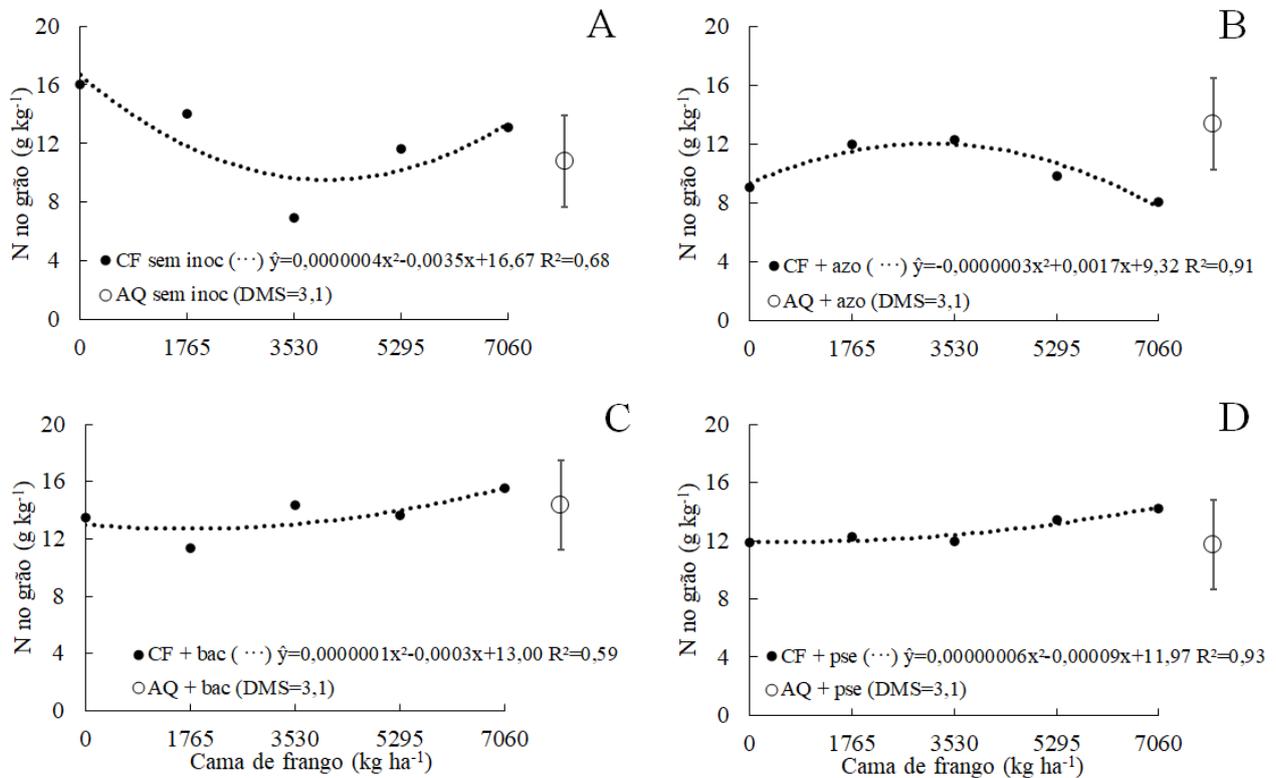


Figura 12 - Teor de N em grãos de plantas de milho sem inoculação (A), inoculado com *A. brasilense* (B), inoculado com *B. subtilis* + *B. megaterium* (C), inoculado com *P. fluorescens* (D) e fertilizadas com doses de cama de frango e adubo químico.

Outra pesquisa relacionada à inoculação de BPCV, também verificou que as rizobactérias trouxeram benefícios para as plantas, como é o caso dos resultados de Campos et al. (1999) que ao estudar a influência das rizobactérias no teor de macronutrientes em trigo perceberam grande acúmulo de nitrogênio total nos grãos quando cultivado na resteva de soja e milho.

Na análise de regressão do teor de P foliar em plantas de milho que foram inoculadas com *A. brasilense*, se obteve curva descendente, com o valor máximo ocorrendo aos 4250 kg de cama de frango (0,82 g kg<sup>-1</sup> de P), diminuindo aos 7060 kg ha<sup>-1</sup> de cama de frango (Figura 13B).

Estes resultados sugerem que a inoculação com *A. brasilense* ocasiona aumentos na absorção de minerais como menores doses da aplicação de adubos, melhorando a eficiência do uso desses nutrientes aplicados. Os resultados descritos vão de acordo com outros autores que pesquisaram o efeito das BPCVs em diversas plantas como no trigo (AFZAL e BANO, 2008)

e no milho (GULNAZ et al., 2017) sobre adubações fosfatadas, onde as rizobactérias foram capazes de solubilizar os fosfatos e torná-los disponível para a planta.

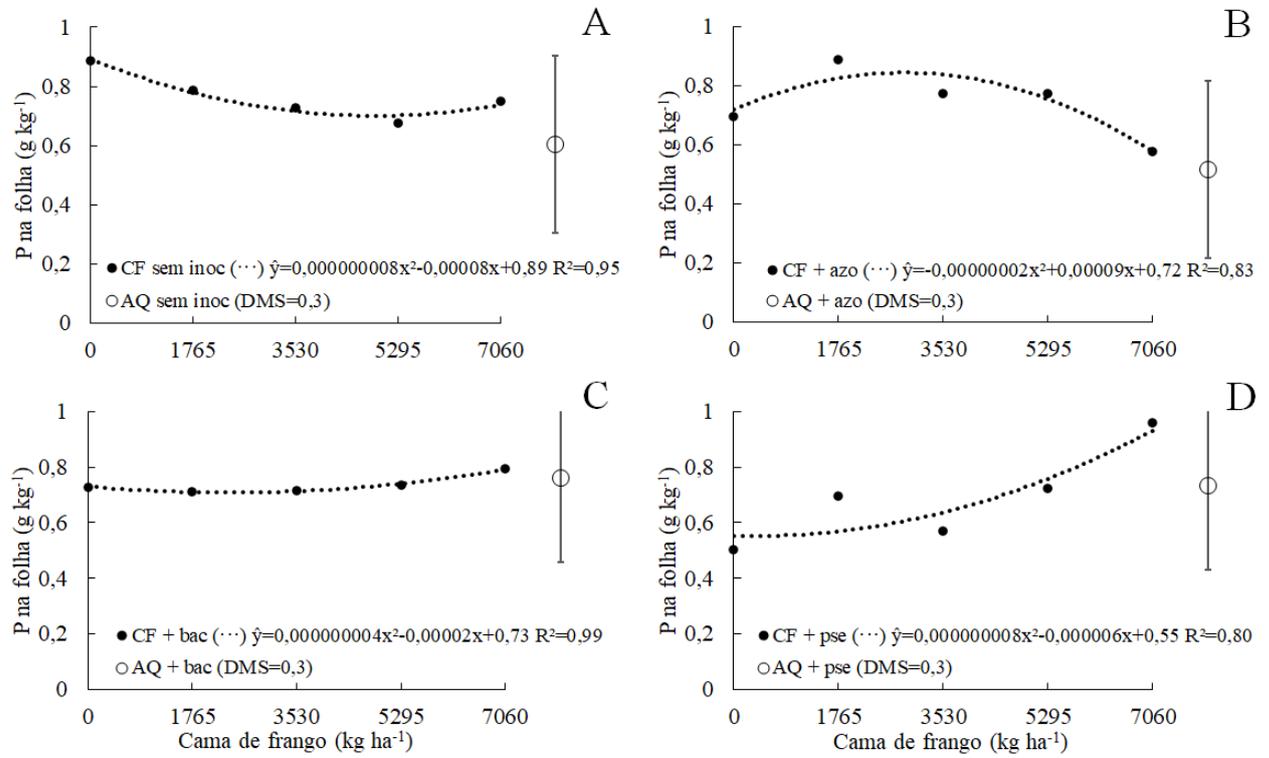


Figura 13 - Teor de P em folhas de milho sem inoculação (A) inoculado com *A. brasilense* (B), com *B. subtilis* + *B. megaterium* (C), com *P. fluorescens* (D) e fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.

A realização de adubações orgânicas nas plantas possui como principal objetivo buscar incrementos na produtividade com diminuição de custos de produção, em detrimento dos problemas relacionados ao desequilíbrio dos minerais presentes, desta forma, certas doses excessivas de fertilizantes de origem orgânica não se observam incrementos na produtividade.

Rodrigues (2014) ao estudar o efeito de diferentes adubos orgânicos em plantas de milho, também observaram efeito quadrático sob teor foliar de P e acúmulo de massa de matéria seca da parte aérea, bem como diferentes respostas em diferentes classes de solo relacionado a capacidade máxima de adsorção.

A regressão resultante da aplicação de inoculante contendo *Bacillus*, apresentou comportamento quadrático para o teor foliar de P em função das doses de cama de frango no solo, atingindo valor máximo aos 7060 kg ha<sup>-1</sup> do adubo orgânico (Figuras 13C). Plantas que não receberam inoculação, também apresentaram comportamento quadrático, conforme ajuste da regressão, com a diminuição do teor de P foliar até os 5000 kg de cama de frango por hectare (Figura 13A).

Quando analisadas as plantas que receberam aplicação de *P. fluorescens*, apresentar comportamento quadrático para o teor de P em sua área foliar, em função de doses de cama de frango. A curva se iniciou com redução até aos 3750 kg ha<sup>-1</sup> com média de 0,65 g kg<sup>-1</sup> de P foliar, conforme o ajuste da equação de regressão, atingindo valor máximo aos 7060 kg ha<sup>-1</sup> de cama de frango, sendo que esses valores não diferiram do adubo químico pelo teste de médias de Dunnett (5%) (Figura 13D).

As bactérias solubilizadoras de P como *P. fluorescens* foram capazes de aumentar o conteúdo de P na parte aérea e nos grãos de milho, conforme ocorreu o aumento das doses de cama de frango, refletindo sua atuação eficiente na solubilização do P orgânico na região rizosférica.

A atividade de bactérias solubilizadoras como *Pseudomonas* sp. é de grande relevância para as gramíneas, pois sua rizosfera é menos ácida do que a região das raízes de leguminosas (RAO et al., 2002), possuindo baixa capacidade de induzir alterações no pH do solo. Esse fator limita a absorção do P orgânico existente, necessitando assim da ação desses microrganismos (HINSINGER, 2001).

Estes resultados condizem com os encontrados por VIRUEL et al. (2014) que ao inocular bactérias *Pseudomonas* sp. em plantas de milho no campo, sem a adubação com P, encontraram incrementos significativos no acúmulo dos teores de P da parte aérea das plantas quando comparadas com os tratamentos testemunhas sem inoculação e fosfatadas. Enquanto Almeida (2020) ao pesquisar a dissolução via BPCV em milho, percebeu que essas bactérias são capazes de suprir grande parte do nutriente necessário, chegando a disponibilizar 73% de todo o P que foi exportado para a parte aérea da planta.

O fato das BPCVs *P. fluorescens* e *A. brasilense* associadas a doses de cama de frango muitas vezes apresentarem resultados iguais ao adubo químico, contraria algumas ideais de que as plantas diminuem a sua associação com as BPCVs quando a disponibilidade de nutrientes aumenta (SZILAGYI et al., 2017) pelo fato de a cultura estar bem nutrida e não ter interesse no gasto de fotoassimilados para manutenção de microrganismos em sua rizosfera sem necessidade (GEDDES et al., 2015).

Em relação ao teor de K foliar do milho, as sementes que foram submetidas as inoculações com as BPCV resultaram em médias com comportamento quadrático, sendo que ao aplicar *A. brasilense* a curva atingiu valor máximo de 34,4 g kg de K foliar com 2833 kg ha<sup>-1</sup> de cama de frango (Figura 14B). Enquanto as bactérias *B. subtilis* + *B. megaterium* e *P. fluorescens* ao serem aplicadas nas sementes de milho, resultaram em curvas quadráticas com

valores mínimos de 27,66 e 20,83 g kg de K foliar com aplicação de 4500 e 2857 kg ha<sup>-1</sup> de cama de frango, respectivamente, aumentando após esse ponto (Figura 14C e 14D).

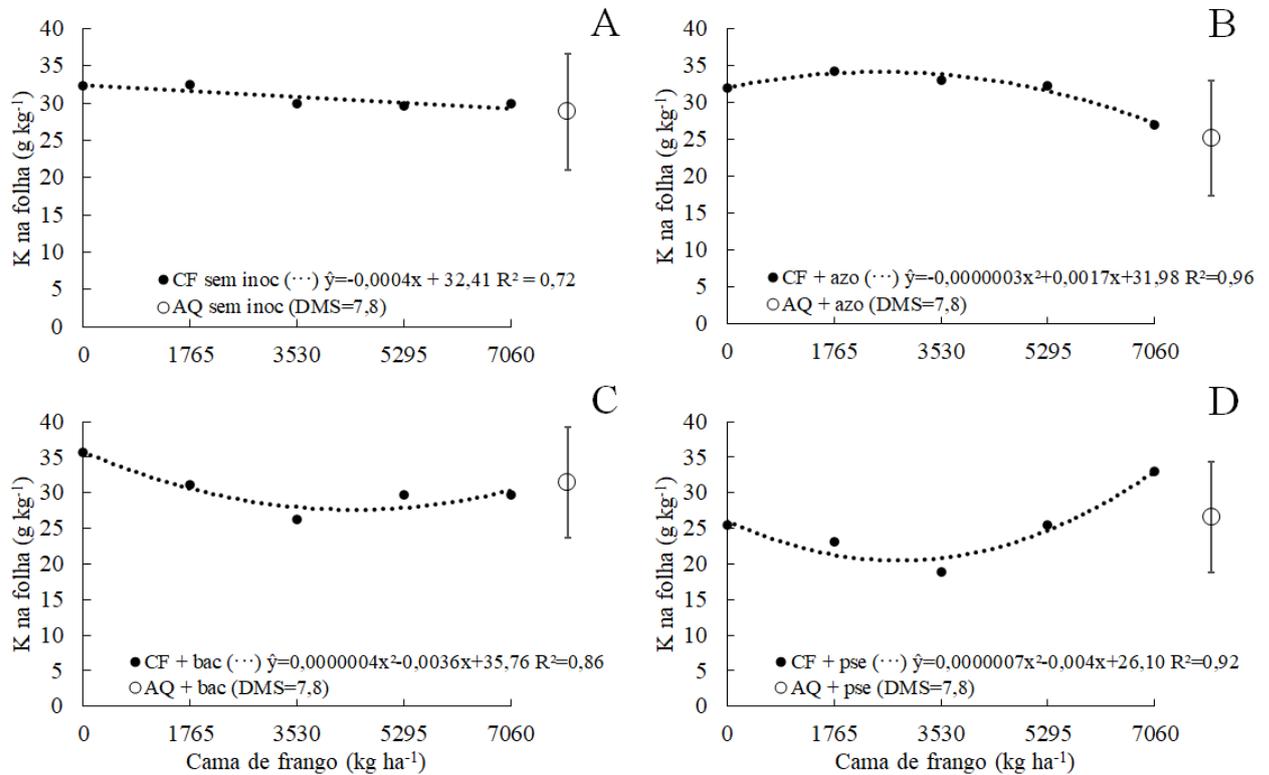


Figura 14 - Teor de K em folhas de milho sem inoculação (A) inoculado com *A. brasilense* (B), com *B. subtilis* + *B. megaterium* (C), com *P. fluorescens* (D) e fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.

Enquanto, ao aplicar *A. brasilense*, nas sementes de milho, observou-se o teor de K na raiz crescer linearmente conforme o aumento das doses de cama de frango, alcançando valor máximo de 58,82 g kg<sup>-1</sup> de altura, e incremento de 0,0083 g para cada kg de adubo orgânico (Figura 15B).

Quando se aplicou cama de frango no milho, associado ao inoculante com *B. subtilis* + *B. megaterium*, observou-se médias de teor de K na raiz com comportamento quadrático, apresentando ponto máximo no valor de 15,25 g kg<sup>-1</sup> com 2625 kg ha<sup>-1</sup> de cama de frango (Figura 15C).

O teor de K em raiz quando aplicado *P. fluorescens* mostrou comportamento semelhante aplicação de *B. subtilis* + *B. megaterium*. A inoculação proporcionou médias com comportamento quadrático com valor máximo de teor de K em raiz (14,36 g kg) aos 4500 kg ha<sup>-1</sup> de cama de frango, diminuindo aos 7060 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 15D).

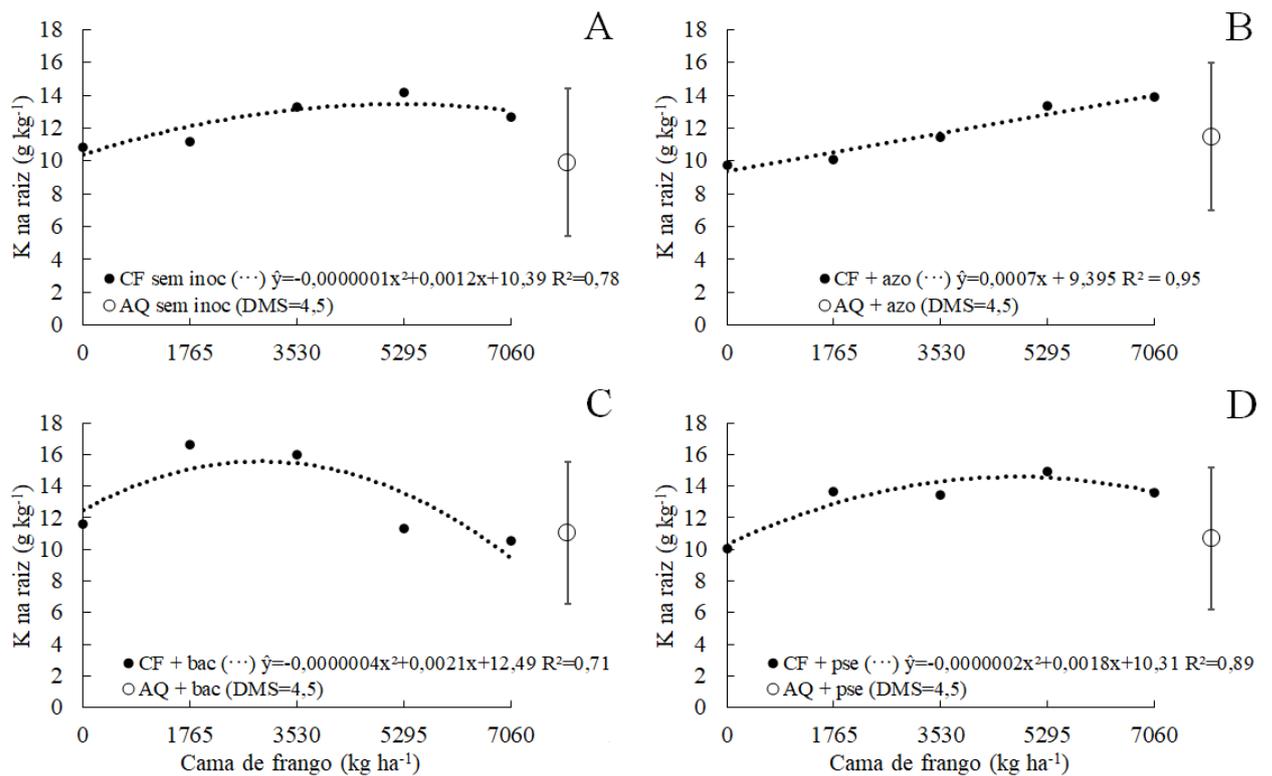


Figura 15 - Teor de K em raízes de milho sem inoculação (A) inoculado com *A. brasilense* (B), com *B. subtilis* + *B. megaterium* (C), com *P. fluorescens* (D) e fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.

Com esses incrementos nos teores de nutrientes nas plantas, conforme ocorre o aumento das doses do adubo orgânico, acredita-se na hipótese de maior desenvolvimento de pelos radiculares também, que é capaz de aumentar a eficiência de absorção de nutrientes na solução do solo. Esta condição, pode ser resultado da produção de fitohormônios como auxina e giberelina que é promovida pelas BPCV (AHEMAD e KIBRET, 2014). Estas proporcionam o aumento da quantidade de pelos radiculares e alongamento de raízes, melhorando significativamente o aproveitamento de absorção de nutrientes do solo (BALDANI et al., 1997).

Na análise de teores de K em grãos, a aplicação das diferentes bactérias associadas com a cama de frango resultou em médias com equações quadráticas.

O teor de K em grãos de plantas que não receberam inoculação em suas sementes mostraram comportamentos semelhantes as médias que recebem aplicação de *B. subtilis* + *B. megaterium*, com curvas com pontos máximos de 7,55 e 9,94 g kg<sup>-1</sup> de K aos 3500 e 3333 kg ha<sup>-1</sup> de cama de frango respectivamente (Figuras 16A e 16C).

As plantas de milho que receberam inoculação de *A. brasilense* revelaram médias com comportamento quadrático com valor mínimo de K em grãos (4,17 g kg<sup>-1</sup>) aos 4000 kg ha<sup>-1</sup> de cama de frango, aumentando aos 7060 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 16B). A aplicação de *P. fluorescens*

também resultou em comportamento quadrático com ponto mínimo da curva aos 6,6 g kg de K em grão com 2143 kg ha<sup>-1</sup> de cama de frango (Figura 16D).

A adubação orgânica aplicada não se diferiu da adubação química quando associada as bactérias ou sem inoculação quando aplicado o teste de médias de Dunnett.

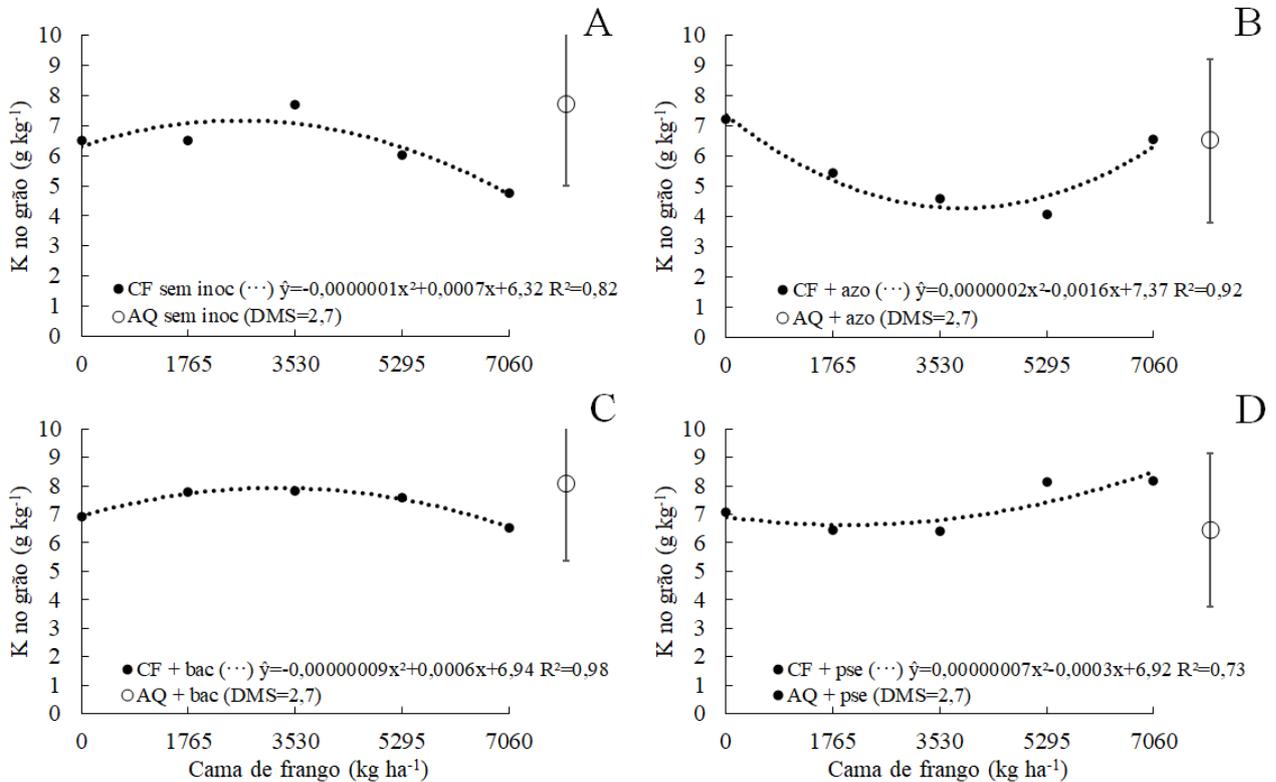


Figura 16 - Teor de K em grãos de milho sem inoculação (A) inoculado com *A. brasilense* (B), com *B. subtilis* + *B. megaterium* (C), com *P. fluorescens* (D) e fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.

Pesquisas relacionadas com a utilização de BPCV na cultura do trigo também resultaram em efeito positivo no acúmulo dos teores de nutrientes, principalmente nos teores de potássio nas folhas e nos grãos em relação ao grupo não inoculado (RODRIGUES, 2014).

Autores como Constantino et al. (2008) ao estudarem os efeitos de rizobactérias que promovem o crescimento sobre os teores totais de macronutrientes (N, P e K) em plantas de pimentas verificaram que a imersão de raízes em solução contendo *Azospirillum* sp. promoveu maior acúmulo de nitrogênio e fósforo em folhas e que não houve diferença em relação ao acúmulo do potássio quando comparada ao tratamento com aplicação de NPK.

Alguns pesquisadores indicam que a grande amplitude das absorções de nutrientes obtidas através de BPCV tem como origem fatores como os métodos para estimar sua contribuição sobre as variáveis, a variedade do material vegetal utilizado, a região utilizada para

o cultivo, a estirpe da bactéria adotada e outros fatores abióticos que podem influenciar no sistema planta-solo-microrganismo (FERNANDES, 2006).

Ao avaliar as trocas gasosas das plantas, verificou-se que não houve interação entre os inoculantes e os adubos. No entanto, o uso de diferentes adubos mostrou efeitos significativos nos parâmetros analisados, como taxa de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  ( $A$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), taxa de transpiração foliar ( $E$ ) e eficiência instantânea de carboxilação ( $EiC$ ).

Os valores da concentração interna de  $\text{CO}_2$  na câmara subestomática ( $C_i$ ), eficiência do uso da água ( $EUA$ ) e eficiência intrínseca do uso da água ( $EIUA$ ) não foram influenciados pelos tratamentos aplicados.

Na variável  $A$ , a adubação orgânica apresentou comportamento quadrático crescente com o aumento das doses de cama de frango, com ponto mínimo de  $18,27 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  aos  $1875 \text{ kg ha}^{-1}$  de cama de frango, quando comparada ao adubo químico, as médias de  $A$  foram inferiores até as doses próximo a  $3530 \text{ kg ha}^{-1}$  e a partir deste ponto, iguais pelo teste de médias (Figura 17A).

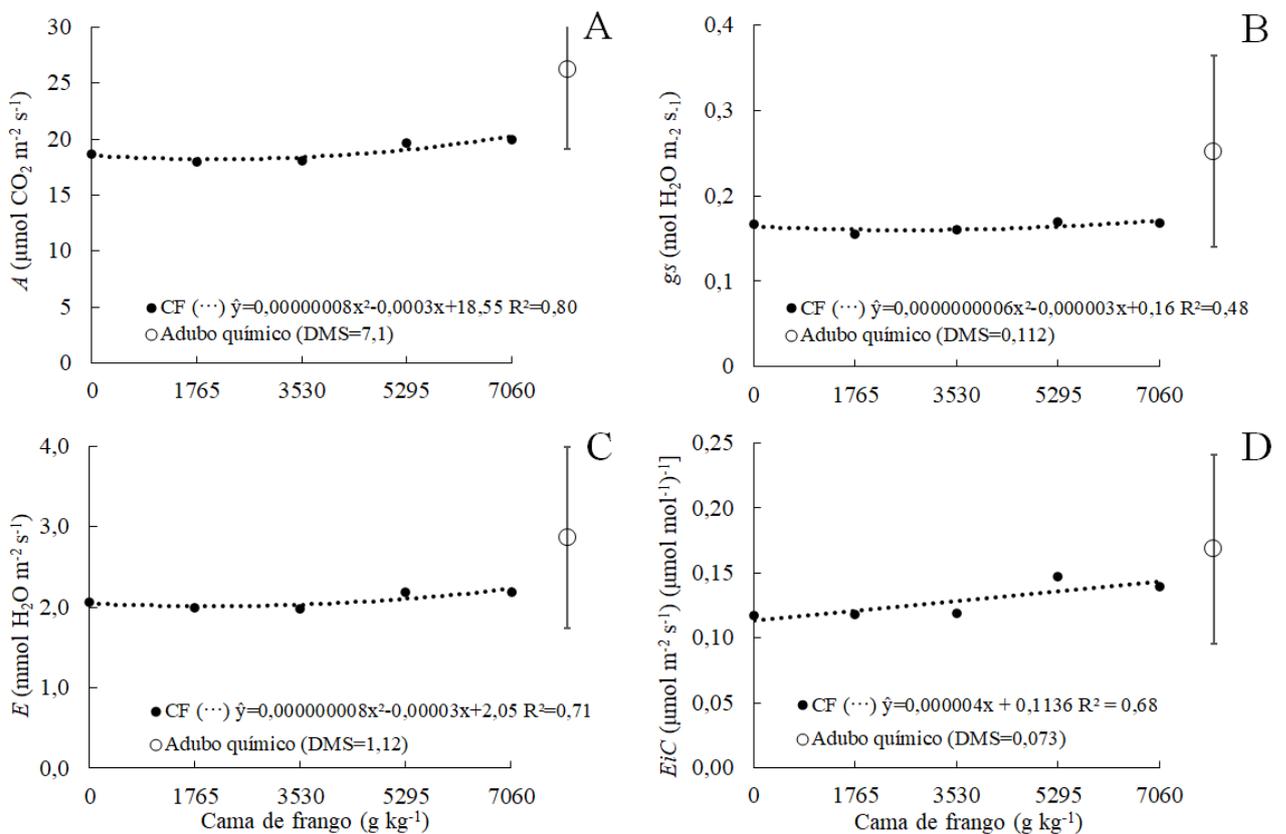


Figura 17 –  $A$  - Taxa de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  ( $A$ ),  $g_s$  - condutância estomática (B),  $E$  - taxa de transpiração foliar (C) e  $EiC$  - eficiência instantânea de carboxilação (D) em milho fertilizado com doses de cama de frango e adubo químico.

Com esses resultados percebe-se que a assimilação líquida de CO<sub>2</sub> possui grande variação em relação aos diferentes adubos usados e às suas quantidades aplicadas, ainda que aplicando altas doses de cama de frango, não se superou estatisticamente o adubo químico.

Quando se avaliou a condutância estomática (*gs*) das plantas, as doses de cama de frango produziram efeito quadrático crescente, apresentando ponto mínimo (0,1563 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) aos 2500 kg ha<sup>-1</sup> de cama de frango. Enquanto isso, quando é realizado o teste de médias, a variável *gs* das plantas de milho com a aplicação de adubo químico, não apresenta superioridade ( $p \leq 0,05$ ) ao ser comparada a cama de frango (Figura 17B).

Embora as médias apresentadas de *A* e *gs* das plantas de milho aumentarem com a fertilização da cama de frango, conforme é o esperado, ainda são consideradas baixas para a cultura do milho (ciclo C4) (MACHADO e LAGÔA, 1994; INAGAKI, 2017), devido principalmente a baixa disponibilidade de N no adubo orgânico, o que pode ser observado na variável *A*, quando a adubação química conseguiu ser superior as baixas doses do adubo orgânico.

O nitrogênio é considerado elemento essencial para a manutenção, crescimento e a produtividade das plantas, sendo assim, a adubação com N é uma importante ferramenta para o ótimo desempenho na produção de biomassa e de grãos do milho, pois ele é responsável pela expansão das células em toda a planta, desenvolvendo a sua parte aérea, também por ser um dos principais constituinte de pigmentos e proteínas, com grande efeito sobre os processos fisiológicos da planta (TAIZ et al., 2017).

Vurukonda et al. (2016) comentam que dentre os motivos das bactérias não atuarem sobre o processo de trocas gasosas realizadas pelas plantas, deve-se a maneira como os mecanismos de ação desses microrganismos atuam. Um dos mecanismos usados pelas BPCV é a modulação do ácido abscísico (ABA) na planta, que é considerado um fitormônio responsável pela regulação da abertura e fechamento estomático nas folhas. O mecanismo de produção de enzimas antioxidantes é capaz de causar a redução do estresse oxidativo celular, o que favorece as reações da fotossíntese (GUPTA et al., 2019). Outro processo é a síntese de ACC deaminase, regulando a atividade do etileno na planta, quando essa está sob condições de estresse (BARNAWAL et al., 2017).

A transpiração foliar mostrou comportamento semelhante a condutância estomática (Figura 17C). A aplicação de cama de frango proporcionou médias com curva quadrática de *E*, apresentando ponto mínimo (2,022) aos 1875 kg ha<sup>-1</sup> de cama de frango. Enquanto a aplicação da adubação química não propiciou médias superiores em relação ao adubo orgânico.

Quando ocorre a abertura estomática nas plantas, durante o dia, o aumento da transpiração foliar ocorre de forma inevitável, talvez esse comportamento possa ter ocorrido neste trabalho, pois o  $E$  se comportou semelhante ao  $g_s$  quando as plantas foram submetidas ao aumento de doses de adubo orgânico, embora a eficiência do uso da água não tenha sido significativa em relação aos tratamentos aplicados.

Em plantas de milho submetidas a condições ambientais favoráveis, como ocorreu no presente trabalho (Figura 10), como umidade de solo e luz incidente adequadas, correta a absorção dos nutrientes é a condição mais importante para o correto funcionamento do maquinário fotossintético (TAIZ et al., 2017).

As médias de eficiência instantânea de carboxilação da Rubisco ( $E_iC$ ) resultante dos tratamentos demonstraram efeito linear crescente em relação ao aumento das doses de cama de frango, com incrementos 24 % na eficiência instantânea de carboxilação. Quando feito o teste de médias (Dunnett  $p \leq 0,05$ ) não se encontrou diferenças significativas entre as doses da cama de frango e o adubo químico para a variável  $E_iC$  (Figura 17D).

Em geral, maiores valores de trocas gasosas foram encontrados ao aplicar quantidades crescentes de cama de frango sobre o solo, isso ocorre provavelmente ao incremento de nutrientes presentes nesse resíduo orgânico. Santos et al. (2019) também encontrou valores de trocas gasosas como a  $E_iA$  ao aplicar cama de frango como substrato para mudas de ora-pro-nobis, em relação ao solo sem seu uso.

A cama de frango possui elevado aporte de nutrientes, principalmente de N ( $29,3 \text{ g kg}^{-1}$ ). Sabe-se que o nitrogênio faz parte da molécula de clorofila e aminoácidos associados à ribulose 1,5 bifosfato carboxilase oxigenase (Rubisco) (TAIZ et al., 2017).

A maior eficiência descarboxilação da rubisco ( $A/C_i$ ) quando aplicada as maiores doses de cama de frango resultou na potencialização da assimilação de  $\text{CO}_2$ . Sabendo disso, as trocas gasosas favorecem a produção de fotoassimilados para a planta, que usa esses compostos em seu crescimento e produção final. Esses resultados estão diretamente ligados ao incremento de nutrientes fornecidos pela cama de frango ao solo (ORRICO et al., 2010).

Como pode ser observado nas médias das variáveis de  $g_s$ ,  $E$  e  $E_iC$ , as plantas adubadas com cama de frango, não se diferiram da aplicação do adubo químico, Assim como as bactérias não influenciaram nas variáveis analisadas.

Almeida (2020), afirma que todos os mecanismos de ação das bactérias geralmente são acionados, a ponto de interferir nas trocas gasosas, quando a planta está sob situação de estresse, como por exemplo déficit hídrico, no entanto, não ocorreu um evento que poderia trazer estresse na planta, pois houve a homogeneidade de todos os fatores ambientais durante a realização do

experimento, como pôde ser visto na figura 10. Sendo assim, acredita-se que as bactérias não foram estimuladas o suficiente, pela planta para expressarem todo seu potencial para interferir nas avaliações de trocas gasosas.

#### 4.4 CONCLUSÕES

As plantas com inoculação com BPCV associadas com cama de frango apresentaram incrementos de teor de N, P e K.

O uso do inoculante contendo *A. brasilense* promoveu maior aproveitamento da cama de frango quando utilizada a dose ideal de 3530 kg ha<sup>-1</sup>, favorecendo o acúmulo nos teores de N nos grãos.

Quando aplicado o inoculante contendo *B. subtilis* + *B. megaterium*, aumentou-se o aproveitamento da cama de frango em relação ao teor de K nas raízes das plantas inoculadas, com a dose de 2625 kg ha<sup>-1</sup>.

As plantas que foram inoculadas com as bactérias de *A. brasilense*, obtiveram maior aproveitamento da cama de frango com a dose de 2250 kg ha<sup>-1</sup>, aumentando os teores de P nas folhas, em comparação as outras doses.

A inoculação das plantas com BPCV associadas a níveis de adubação orgânica não influenciaram nas trocas gasosas de plantas de milho.

#### 4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFZAL, A.; BANO, A. *Rhizobium* and phosphate solubilizing bacteria improve the yield and phosphorus uptake in wheat (*Triticum aestivum*). **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 10, n. 1, p. 85-88, 2008.

AHEMAD, M.; KIBRET, M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. **Journal of King Saud University**, v. 26, n. 1, p. 1–20, 2014.

ALMEIDA, I. V. de. **Bactérias promotoras de crescimento vegetal em milho: absorção de nitrogênio, solubilização de fosfato e produção**. 68 f. Dissertação (Agronomia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2020.

ANDRADE, F. C. **Compostagem como alternativa de disposição final dos resíduos sólidos orgânicos gerados na Embrapa Soja**. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015.

APARECIDO, L.; ROLIM, G. D. S.; RICHETTI, J.; SOUZA, P. S. D.; JOHANN, J. A. Classificações climáticas de Köppen, Thornthwaite e Camargo para o zoneamento climático do Estado do Paraná, Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 4, p. 405-417, 2016.

BALDANI, J. I.; BALDANI, V. L. D. History on the biological nitrogen fixation research in *graminaceous* plants: special emphasis on the Brazilian experience. **Academia Brasileira de Ciências**, v. 77, n. 3, p. 549–579, 2005.

BALDANI, J.; CARUSO, L.; BALDANI, V. L. D.; GOI, S. R.; DÖBEREINER, J. Recent advances in BNF with non-legume plants. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, n. 5–6, p. 911–922, 1997.

BARNAWAL, D.; BHARTI, N.; PANDEY, S. S.; PANDEY, A.; CHANOTIYA, C. S.; KALRA, A. Plant growth-promoting rhizobacteria enhance wheat salt and drought stress tolerance by altering endogenous phytohormone levels and TaCTR1/TaDREB2 expression. **Physiologia Plantarum**, v. 161, n. 4, p. 502-514, 2017.

BELLÉ, R. F. **Desenvolvimento inicial de plantas de milho inoculadas com *Azospirillum brasilense* e fertilizadas com cama de frango**. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2015.

BOMFIM, C. S. G.; SILVA, V. B. da; CURSINO, L. H. S.; MATTOS, W. da S.; SANTOS, J. C. S.; SOUZA, L. S. B. de; DANTAS, B. F.; FREITAS, A. D. S. de; FERNANDES-JÚNIOR, P. I. Endophytic bacteria naturally inhabiting commercial maize seeds occupy different niches and are efficient plant growth-promoting agents. **Symbiosis**, v. 81, n. 1, p. 255-269, 2020.

BRASIL. 2020. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2019/20 a 2029/30 projeções de longo prazo**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. – Brasília: MAPA/ACE.

BULEGON, L. G.; BATTISTUS, A. G.; GUIMARÃES, V. F.; INAGAKI, A. M.; OFFEMANN, L. C.; DE SOUZA, A. K. P.; DE OLIVEIRA, P. S. R. Physiological responses

of *Urochloa ruziziensis* inoculated with *Azospirillum brasilense* to severe drought and rehydration conditions. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 10, p. 1283–1289, 2017.

CONSTANTINO, M.; GÓMEZ-ÁLVAREZ, R.; ÁLVAREZ-SOLÍS, J. D.; GEISSEN, V.; HUERTA, E.; BARBA, E. Effect of inoculation with rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on growth and yield of *Capsicum chinense* Jacquin. **Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics**, v. 109, n. 2, p. 169- 180, 2008.

COSTA, A. M. da; BORGES, E. N.; SILVA, A. de A.; NOLLA, A.; GUIMARÃES, E. C. Potencial de recuperação física de um latossolo vermelho, sob pastagem degradada, influenciado pela aplicação de cama de frango. **Ciência Agrotecnológica**, v. 33, n. 1, p. 1991–1998, 2009.

COSTA, R. R. G. F.; QUIRINO, G. da S. F.; NAVES, D. C. da F.; SANTOS, C. B.; ROCHA, A. F. da S. Efficiency of inoculant with *Azospirillum brasilense* on the growth and yield of second-harvest maize. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 3, p. 304–311, 2015.

DUNGAIT, J. A.; HOPKINS, D. W.; GREGORY, A. S.; WHITMORE, A. P. Soil organic matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance. **Global Change Biology**, v. 18, n. 6, p. 1781-1796, 2012.

FERNANDES, M. S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: SBCS, 432p. 2006.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 1, p. 109-112, 2014.

GEDDES, B. A.; RYU, M.; MUS, F.; COSTAS, A. M. G.; PETERS, J. W.; VOIGT, C. A.; POOLE, P. Use of plant colonizing bacteria as chassis for transfer of N<sub>2</sub>- fixation to cereals. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 32, n. 1, p. 216-222, 2015.

GULNAZ, Y.; PS, F.; GR, D.; Kulmitra, A. K.; HS, S. K.; C, S.; Ajagol, P.; CR, N. Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and PSB on growth and yield of irrigated maize under varying levels of phosphorus. **International Journal of Chemical Studies**, v. 5, n. 5, p. 1008-1010, 2017.

GUPTA, S.; KAUSHAL, R.; SOOD, G.; DIPTA, B.; KIRTI, S.; SPEHIA, R. S. Water stress amelioration and plant growth promotion in capsicum plants by osmotic stress tolerant bacteria. **International Journal of Plant and Soil Science**, v. 29, n. 2, p. 1-12, 2019.

HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: A review. **Plant and Soil**, v. 237, n. 1, p. 173-195, 2001.

INAGAKI, A. M. **Trocas gasosas e morfometria de plantas de milho inoculadas com *Azospirillum brasilense* e fungos micorrízicos arbusculares sob adubação fosfatada**. 81 f. Tese (Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2017.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 431p. 2008.

KUAN, K. B.; OTHMAN, R.; RAHIM, K. A.; SHAMSUDDIN, Z. H. Plant growth-promoting rhizobacteria inoculation to enhance vegetative growth, nitrogen fixation and nitrogen remobilisation of maize under greenhouse conditions. **Public Library of Science One**, v. 11, n. 3, p. 1-19, 2016.

LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FEY, R.; RICHARDT, A.; FONTANIVA, S. **Análise química de solo e de tecido vegetal: metodologias analíticas**. 2 ed. Cascavel: Edunioeste, 155p. 2016.

LANDGRAF, M. D.; MESSIAS, R. A.; REZENDE, M. O. O. **A importância ambiental da vermicompostagem: vantagens e aplicações**. São Carlos: Rima, 106p. 2005.

MACHADO, E. C.; LAGÔA, A. M. M. A. Trocas gasosas e condutância estomática em três espécies de gramíneas. **Bragantia**, v. 53, n. 2, p. 141–149, 1994.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 319p. 1997.

MARKS, B. B.; MEGÍAS, M.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Biotechnological potential of rhizobial metabolites to enhance the performance of *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense* inoculants with soybean and maize. **Applied Microbiology and Biotechnology Express**, v. 3, n. 21, p. 1-10, 2013.

MONTAÑEZ, A.; ABREU, C.; GILL, P. R.; HARDARSON, G.; SICARDI, M. Biological nitrogen fixation in maize (*Zea mays* L.) by <sup>15</sup>N isotope-dilution and identification of associated culturable diazotrophs. **Biology and fertility of soils**, v. 45, n. 1, p. 253-263, 2009.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. v. 2. Lavras: UFLA, 729p. 2006.

ORRICO JUNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; Lucas Junior, J. Biodigestão anaeróbia dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças. *Engenharia Agrícola*, v. 30, n. 3, p. 546-554, 2010.

PAVINATO, P. S.; PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V.; MOREIRA, A.; MOTTA, A. C. V. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 482p. 2017.

PEDRAZA, R. O. Recent advances in nitrogen-fixing acetic acid bacteria. **International Journal of Food Microbiology**, v. 125, n. 1, p. 25-35, 2008.

PIROMYOU, P.; BURANABANYAT, B.; TANTASAWAT, P.; TITTABUTR, P.; BOONKERD, N.; TEAUMROONG, N. Efeito da inoculação de rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (PGPR) na estrutura da comunidade microbiana na rizosfera de milho forrageiro cultivado na Tailândia. **European Journal of Soil Biology**, v. 47, n. 1, p. 44-54, 2011.

PITTA, C. S. R.; ADAMI, P. F.; PELISSARI, A.; ASSMANN, T. S.; FRANCHIN, M. F.; CASSOL, L. C.; SARTOR, L. R. Year-round poultry litter decomposition and N, P, K and Ca release. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 1043–1053, 2012.

RANUM, P.; PEÑA-ROSAS, J. P.; GARCIA-CASAL, M. N. Global Maize production, utilization, and consumption. **Annals of The New York Academy of Sciences**, v. 1312, n. 1, p. 105-112, 2014.

RAO, T. P.; YANO, K.; IJIMA, M.; YAMAUCHI, A.; TATSUMI, J. Regulation of rhizosphere acidification by photosynthetic activity in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) Seedlings. **Annals of Botany**, v. 89, n. 2, p. 213-220, 2002.

REIS JUNIOR, F. B.; MACHADO, C. T. T.; MACHADO, A. T.; SODEK L. Inoculação de *Azospirillum amazonense* em dois genótipos de milho sob diferentes regimes de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Brasília, v. 32, p. 1139-1146, 2008.

RODRIGUES, L. F. O. S.; GUIMARÃES, V. F.; SILVA, M. B.; PINTO JR, A. S.; KLEIN, J.; COSTA, A. C. P. R. Agronomic characteristics of wheat due to *Azospirillum brasilense*, humic acids and nitrogen in greenhouse. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 18, n. 1, p. 31-37, 2014.

RODRIGUEZ, H.; GONZALEZ, T.; GOIRE, I.; BASHAN, Y. Gluconic acid production and phosphate solubilization by the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* spp. **Naturwissenschaften**, v. 91, n. 11, p. 552–555, 2004.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiologia das plantas Cengage Learning**. Belmont: Wadsworth, 792p. 2012.

SANTOS, C. C.; SANTOS, C. C.; GOELZER, A.; SILVERIO, J. M.; SCALON, S. D. P. Q.; ZÁRATE, N. A. H.; VIEIRA, M. do C. V. Capacidade vegetativa e trocas gasosas em mudas de *Pereskia aculeata* Plum em diferentes substratos. **Scientia Plena**, v. 15, n. 11, p. 1-9, 2019.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos.; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 353p. 2013.

SANTOS, L. A. L. de. **Efeitos da co-inoculação de *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* associados adubação química e orgânica na cultura do milho**. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) - Universidade Federal Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul, 2019.

SILVA, L. F. P. da; ROSSET, J. S.; OZÓRIO, J. M. B.; CASTILHO, S. C. DE P.; MARRA, L. M. Desenvolvimento da cultura do milho e carbono orgânico total sob diferentes fontes de adubos. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**; v. 13, n. 4. p. 1509-1532, 2020.

SZILAGYI-ZECCHIN, V. J.; MARRIEL, I. E. E.; SILVA, P. R. F. da. Produtividade de milho inoculado com *Azospirillum brasilense* em diferentes doses de nitrogênio cultivado em campo no Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**. v. 40, n. 4, p. 795-798, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed Editora. 888p. 2017.

VIRUEL, E.; ERAZZÚ, L. E.; CALSINA, L. M.; FERRERO, M. A.; LUCCA, M. E.; SIÑERIZ, F. Inoculação de milho com bactérias solubilizadoras de fosfato: efeito no crescimento e produtividade das plantas. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 14, n. 4, p. 819-831, 2014.

VURUKONDA, S. S. K. P.; VARDHARAJULA, S.; SHRIVASTAVA, M.; SKZ, A. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. **Microbiological Research**, v. 184, n. 1, p. 13-24, 2016.

ZHANG, S.; LI, Q.; MA, K.; CHEN, L. Temperature dependent gas exchange and stomatal/non-stomatal limitation to CO<sub>2</sub> assimilation of *Quercus liaotungensis* under midday high irradiance. **Photosynthetica**, v. 39, n. 3, p. 383-388, 2001.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de cama de frango como adubação orgânica é considerada um avanço no campo da agricultura. No entanto, deve-se considerar que esse fertilizante apresenta uma grande variedade de nutrientes e matéria orgânica em sua composição, os quais estão diretamente relacionados ao manejo e às matérias-primas utilizadas. Isso dificulta a compreensão do seu verdadeiro efeito nas características físicas, químicas e biológicas do solo.

Por essa razão, é necessário realizar pesquisas que envolvam o uso desse fertilizante em diversas culturas agrícolas, incluindo o milho, que desempenha um papel fundamental na criação de animais. Dessa forma, o uso da cama de frango na adubação das plantas de milho, que posteriormente servirão como alimento para as aves, contribui para a sustentabilidade do produto, uma vez que reduz a necessidade de uso de adubos químicos. Vale ressaltar que esses adubos químicos geram custos para os agricultores e podem contaminar o solo através de processos de lixiviação ou percolação.

Desta maneira, foi realizada a aplicação da cama de frango como substituição completa dos adubos químicos normalmente utilizados. O resultado dessa substituição foi uma resposta positiva das plantas em várias variáveis no seu desenvolvimento inicial, nos componentes de produção e nos teores de nutrientes.

Essas características podem ter se destacado devido aos altos teores de fósforo e potássio encontrados nas plantas, como ocorreu nesse estudo. O fósforo desempenha um papel fundamental na produção e metabolismo dos açúcares, bem como no armazenamento e transferência de energia da planta. Isso promove o desenvolvimento das raízes e seu crescimento. Por outro lado, o potássio é considerado um importante ativador enzimático e desempenha um papel essencial na manutenção da turgidez das células, permitindo que a planta sustente seu metabolismo mesmo em situações de falta de água.

As bactérias rizobactérias, conhecidas como promotoras do crescimento das plantas, desempenham um papel ativo no metabolismo das plantas, pois são capazes de aumentar a absorção de nutrientes pelas plantas através do aumento do crescimento das raízes, causado pela produção crescente de fitohormônios que a bactéria induz na planta. Além disso, elas possuem a capacidade de solubilizar os fosfatos encontrados no solo, mas inacessíveis às plantas, permitindo assim que a planta os absorva, e também aumentam a absorção de nitrogênio por meio de sua fixação biológica.

A combinação de todos esses mecanismos de promoção de crescimento pode reduzir a necessidade de adubos químicos, possibilitando um cultivo mais sustentável tanto para os

agricultores quanto para o meio ambiente. Portanto, é importante que a prática de inoculação com bactérias promotoras do crescimento vegetal seja cada vez mais estudada e aplicada em diferentes práticas e tipos de plantas.

Contudo, é importante determinar o real comportamento das rizobactérias durante a adubação orgânica. Portanto, novas pesquisas sobre esses efeitos precisam ser realizadas para elucidar a relação entre a promoção do crescimento causada por essas rizobactérias e a absorção dos nutrientes disponíveis. através de cama de frango.

Conseqüentemente, o presente trabalho atingiu seu objetivo de determinar o efeito das BPCV juntamente com o uso de fertilizantes orgânicos, mostrando respostas positivos entre os fatores combinados e individuais. No entanto, este estudo abre diversas possibilidades para outros estudos, como a atividade enzimática ou antioxidante das plantas de milho. Quando aplicado em BPCV através de sementes ou folhas e fertilizado com cama de frango ou estudos sobre a utilização de bactérias, que promovem o crescimento das plantas, e de fertilizantes orgânicos de outras espécies.