

IDEAU

BENEFÍCIOS DO USO DE *Bradyrhizobium japonicum*, *Bacillus subtilis* E *Bacillus megaterium* NA SOJA (*Glycine max*) EM AGRICULTURA REGENERATIVA

BENEFITS OF USING *Bradyrhizobium japonicum*, *Bacillus subtilis*, AND *Bacillus megaterium* IN SOYBEAN (*Glycine max*) IN REGENERATIVE AGRICULTURE

BENEFICIOS DEL USO DE *Bradyrhizobium japonicum*, *Bacillus subtilis* Y *Bacillus megaterium* EN SOJA (*Glycine max*) EN AGRICULTURA REGENERATIVA

Maria Izabel Zepechouka

Graduada em Engenharia Agrônômica, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: zepezabel@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-2800-5578>

Victor Bruno Vieira Scamardi

Graduado em Engenharia Agrônômica, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: victorscamardi@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-3792-8133>

Silas Nawiton Luz Moreira

Graduado em Engenharia Agrônômica, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: silasnawiton@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-9038-1685>

Aline Roberta de Carvalho Silvestrin

Doutora em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: alinesilvestrin@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-5218-1302>

Nayara Guetten Ribaski

Doutora em Sustentabilidade Ambiental e Urbana, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, Paraná, Brasil.
E-mail: nayribaski@hotmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8871-657X>

RESUMO

A soja é a cultura mais produzida no Brasil, possuindo grande importância econômica e contribuição significativa para a economia do país. É uma cultura exigente nutricionalmente, a falta ou desequilíbrio dos nutrientes pode resultar

Submitted on: 10.06.2023 | Accepted on: 11.07.2023 | Published on: 01.02.2024

em redução do desempenho produtivo. A adoção de práticas de agricultura regenerativa, com uso de microrganismos para fortalecimento da saúde do solo, pode ser uma técnica viável para manter a sustentabilidade do sistema produtivo. Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito das bactérias de solo *Bradyrhizobium japonicum*, *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis*, combinadas à diferentes adubações, química e orgânica, no rendimento produtivo da cultura da soja, sob sistema regenerativo de produção. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Gralha Azul (PUCPR), Município de Fazenda Rio Grande – PR, no ano safra 2022/2023. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com dez tratamentos e quatro repetições. A análise estatística dos dados demonstrou que não houve diferenças estatísticas entre os parâmetros de nodulação, com exceção do peso dos nódulos, que foi influenciado negativamente pela adição de nutrientes. Os parâmetros morfológicos da cultura foram alterados pela adição de adubos mineral e orgânico e microrganismos. Da mesma forma, a produtividade também foi favorecida pelos diferentes tratamentos, em relação à testemunha, com destaque para o tratamento com *Bradyrhizobium japonicum*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*, que obteve a maior produtividade. Podemos concluir que a utilização dos microrganismos e nutrientes (via mineral ou orgânica) beneficiam a cultura da soja, resultando em incrementos de produtividade.

Palavras-chave: Inoculantes. Solubilizadores de Fosfato. Fixação Biológica de Nitrogênio. Microrganismos na Agricultura. Adubação Orgânica. Adubação Mineral.

ABSTRACT

Soybean is the most widely produced crop in Brazil, holding significant economic importance and making a substantial contribution to the country's economy. It is a nutritionally demanding crop, and deficiencies or imbalances in nutrients can lead to reduced productivity. Adopting regenerative agriculture practices, including the use of microorganisms to enhance soil health, can be a viable technique for maintaining the sustainability of the production system. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of soil bacteria *Bradyrhizobium japonicum*, *Bacillus megaterium*, and *Bacillus subtilis*, combined with different types of fertilization (chemical and organic), on soybean productivity under a regenerative production system. The experiment was conducted at the Fazenda Experimental Gralha Azul (PUCPR), in Fazenda Rio Grande – PR, during the 2022/2023 crop year. The experimental design was a randomized block design with ten treatments and four replications. Statistical analysis of the data showed no significant differences between the nodulation parameters, except for the weight of the nodules, which was negatively influenced by the addition of nutrients. The morphological parameters of the crop were affected by the addition of mineral and organic fertilizers and microorganisms. Likewise, productivity was also improved by the different treatments compared to the control, with the treatment combining *Bradyrhizobium japonicum*, *Bacillus subtilis*, and *Bacillus megaterium* achieving the highest productivity. We can conclude that the use of microorganisms and nutrients (mineral or organic) benefits soybean cultivation, resulting in increased productivity.

Keywords: Inoculants. Phosphate Solubilizers. Biological Nitrogen Fixation. Microorganisms in Agriculture. Organic Fertilization. Mineral Fertilization.

RESUMEN

La soja es el cultivo más producido en Brasil, teniendo gran importancia económica y una importante contribución a la economía del país. Es un cultivo nutricionalmente exigente, la falta o desequilibrio de nutrientes puede resultar en un rendimiento de producción reducido. La adopción de prácticas de agricultura regenerativa, utilizando microorganismos para fortalecer la salud del suelo, puede ser una técnica viable para mantener la sostenibilidad del sistema de producción. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de las bacterias del suelo *Bradyrhizobium japonicum*, *Bacillus megaterium* y *Bacillus subtilis*, combinadas con diferentes fertilizantes químicos y orgánicos, sobre el rendimiento productivo de los cultivos de soja, bajo un sistema de producción regenerativo. El experimento se realizó en la Fazenda Experimental Gralha Azul (PUCPR), Municipio de Fazenda Rio Grande – PR, en el año de cosecha 2022/2023. El diseño experimental fue en bloques al azar, con diez tratamientos y cuatro repeticiones. El análisis estadístico de los datos demostró que no hubo diferencias estadísticas entre los parámetros de nodulación, con excepción del peso de los nódulos, que se vio influenciado negativamente por la adición de nutrientes. Los parámetros morfológicos del cultivo se modificaron mediante la adición de fertilizantes y microorganismos minerales y orgánicos. Asimismo, la productividad también se vio favorecida por los diferentes tratamientos, con relación al testigo, con énfasis en el tratamiento con *Bradyrhizobium japonicum*, *Bacillus subtilis* y *Bacillus megaterium*, que obtuvo la mayor productividad. Podemos concluir que el uso de microorganismos y nutrientes (vía mineral u orgánica) beneficia al cultivo de soja, traduciéndose en aumentos de productividad.

Palabras clave: Inoculantes. Solubilizantes de Fosfatos. Fijación Biológica de Nitrógeno. Microorganismos En Agricultura. Fertilizantes Orgánicos. Fertilizantes Minerales.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil está classificado atualmente como maior produtor mundial de soja, com aproximadamente 123 milhões de toneladas, seguido dos Estados Unidos com 121 milhões de toneladas. A soma das produções de ambos os países corresponde a cerca de 69% da produção mundial. Dentre os maiores produtores nacionais de grãos, o estado do Mato Grosso se encontra em primeiro no ranking com cerca de 39 milhões de toneladas, seguido do Paraná produzindo em torno de 12 milhões de toneladas (EMBRAPA, 2022).

Parte importante no desempenho da soja, está relacionada a construção de um perfil de solo fértil, isso envolve investimentos de longo prazo na área com o uso de corretivos e fertilizantes. Recentemente algumas alternativas têm surgido para que o produtor seja menos dependente de adubações químicas consecutivas, uma delas seriam os bioinsumos, em especial os solubilizadores de fósforo. Na natureza temos diversos microorganismos denominados promotores de crescimento vegetal, deste eles temos bactérias, fungos e protozoários que colonizam a rizosfera ou os tecidos vegetais trazendo benefícios a cultura (Malusà *et al.*, 2016)

Várias são as espécies de bactérias capazes de realizar a solubilização de fosfato inorgânico, podendo ser proveniente de fontes como fosfato de rocha. Entre os gêneros bacterianos com esta capacidade temos o gênero *Bacillus* (Rodríguez e Fraga, 1999). O *Bacillus megaterium* se caracteriza como um microorganismo versátil e resistente com grande potencial para a agricultura e a biotecnologia. Através do sequenciamento de seu genoma foi possível observar a presença de múltiplos genes relacionados a colonização do solo e a promoção de crescimento vegetal (Nascimento *et al.*, 2020).

Dentre as promotoras de crescimento temos espécies que tem a capacidade de solubilizar o fósforo presente no solo, tornando-o lábil, possibilitando que as plantas o absorvam. As espécies solubilizadoras de fosfato pertencem aos seguintes gêneros: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Agrobacterium*, *Burkholderia*, *Achromobacter*, *Micrococcus*, *Aerobacter*, *Flavobacterium* e *Erwinia* (Fernandez *et al.*, 2008).

Guesser (2022), afirma que o solubilizador a base de *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* é capaz de suprir a demanda da soja e tem o potencial de substituir a fonte mineral quando os teores de P no solo se encontram acima do limite inferior da classe de interpretação médio.

Segundo Hungria *et al.* (2013), a reinoculação da soja no decorrer de duas safras com bactérias do gênero *Bradyrhizobium japonicum*, gerou um incremento de 3,7 sacas por hectare, cerca de 8,4% a mais. E quando na inoculação (a inoculação aliada com a aplicação de fertilizantes) o resultado foi de 7,1 sacas a mais, ou 16,1% de incremento na produção.

A biologia do solo desempenha um papel crucial na agricultura regenerativa, pois a saúde e a diversidade da vida no solo são fundamentais para a sustentabilidade dos ecossistemas agrícolas. Organismos como bactérias, fungos, minhocas e outros microrganismos do solo contribuem para a decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e formação de estruturas que melhoram a retenção de água e a aeração do solo. Segundo Altieri (2012), "a biologia do solo é o motor que impulsiona os processos ecológicos fundamentais para a produtividade agrícola sustentável". O manejo adequado da biologia do solo promove uma agricultura mais resiliente, capaz de enfrentar desafios climáticos e de manter a fertilidade a longo prazo.

Devido a importância do tema, este trabalho tem como objetivo avaliar os componentes de rendimento da cultura da soja (*Glycine max*), sobre diferentes tratamentos de *Bradyrhizobium japonicum*, *Bacillus megaterium*, em conjunto com *Bacillus subtilis*, associado ao uso de adubos orgânicos e químico, segundo a solubilização de fósforo no solo.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Segundo o IBGE em 2021 a soja liderou o ranking no valor de produção no Brasil com 341.747.600 Mil reais. Possuindo uma área plantada de 40.921,9 milhões de hectares e produção de 123.829,5 milhões de toneladas sendo a produtividade de 3.026 kg/ha. Dessa produção 86.1 milhões de toneladas apenas do grão são exportados para outros países (EMBRAPA, 2022).

A soja é uma cultura que possui uma alta exigência em todos os macronutrientes essenciais, sendo eles: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), Cálcio (Ca), magnésio (Mg) e Enxofre (S). A falta ou desequilíbrio dos nutrientes pode resultar em uma absorção deficiente ou excessiva, gerando impactos produtivos (SFREDO, 2008). Os nutrientes necessários para o desenvolvimento sadio das plantas, se encontram em boa parte no solo, entre tanto em condições distintas, podendo estarem em processo de lixiviação, volatilização, erosão, fixados as argilas do solo, imobilizados e sendo absorvidos pelas plantas, sendo esse seu destino pretendido (Batista *et al.*, 2018).

Os solos brasileiros possuem carência natural de fósforo, devido principalmente ao material de origem e as fortes ligações com o solo (RAIJ, 1991). Em solos altamente intemperizados, o fósforo se encontra predominantemente nas formas inorgânicas ligadas a fração do solo com alta energia e em formas orgânicas estabilizadas físicas e quimicamente.

Os fertilizantes são classificados entre minerais, orgânicos e organominerais. Sendo os minerais de origem mineral obtidos de forma natural ou sintética. Os orgânicos por sua vez são obtidos através de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal. E por fim os organominerais, que se baseiam na mistura física ou combinação dos fertilizantes orgânicos com minerais (Zonta *et al.*, 2021). As diferenças além das fontes de obtenção estão nas concentrações e na disponibilidade de nutrientes onde os orgânicos possuem uma menor quantidade em relação aos minerais, de forma variável e com qualidade inconsistente (Dias e Fernades, 2006).

Grandes volumes de fertilizantes são aplicados todos os anos nas lavouras do mundo, isso gera preocupações ambientais quanto a contaminações de solo e água. Com isso novas soluções surgem por meio da agricultura sustentável, como a utilização de bactérias promotoras de crescimento, auxiliando por exemplo na disponibilização de nutrientes. Os solos são repletos de organismos microscópicos como algas, bactérias, fungos, protozoários e actinomicetos. Apesar de não se ter muita compreensão sobre as interações das bactérias promotoras de crescimento com as plantas, várias delas são comercializadas como auxiliadoras nas práticas agrícolas (Glick, 2012).

Diversas pesquisas indicam que a utilização de microrganismos no solo pode trazer benefícios ao ambiente e ao desenvolvimento das culturas, contribuindo para a adoção de uma agricultura regenerativa ((Malusà *et al.*, 2016; Rodriguez e Fraga, 1999; Nascimento *et al.*, 2020).

Os microrganismos desempenham um papel essencial na agricultura regenerativa, promovendo a saúde do solo e a produtividade das culturas de forma sustentável. Eles são responsáveis por processos vitais como a decomposição da matéria orgânica, a ciclagem de nutrientes e a formação de estruturas que melhoram a retenção de água e a aeração do solo. De acordo

com Tejada et al. (2009), "a presença e a atividade dos microrganismos do solo são fundamentais para a manutenção da fertilidade e a promoção de um ciclo nutritivo equilibrado, que sustenta a produtividade agrícola e a saúde ecológica dos sistemas agrícolas". O manejo consciente e a inoculação de microrganismos benéficos podem aumentar a resiliência dos solos, reduzir a necessidade de insumos químicos e promover práticas agrícolas mais regenerativas.

Outra alternativa é o uso de adubos orgânicos de origem animal, podem reduzir os custos de produção, além de proporcionarem uma série de benefícios ao solo, na disponibilidade de nutrientes, aumento do teor de matéria orgânica, melhora a retenção e infiltração da água, possibilitando uma melhora na capacidade de estabilizar as estruturas do solo e melhorar as trocas catiônicas. Os compostos orgânicos possuem uma grande quantidade de nutriente, principalmente de fósforo podendo aumentar a disponibilidade de fósforo lábil no solo (Melo, 2020).

3 METODOLOGIA

O experimento ocorreu na Fazenda Experimental Gralha Azul, pertencente à Pontifícia Universidade Católica do Paraná, localizada na cidade de Fazenda Rio Grande – PR, segundo as coordenadas geográficas Latitude 25°39'29.53"S e Longitude 49°17'16.97"O. O clima da região segundo a classificação de Köppen é Cfb. O solo foi classificado como Latossolo com textura muito argilosa como demonstra a análise de solo.

A cultivar de soja escolhida foi a TMG 7063 IPRO, a qual possui uma maturação relativa 6.3, tipo de crescimento indeterminado, cor da flor branca, cor da pubescência cinza, cor do hilo marrom clara, exigência de fertilidade média – alta, moderadamente resistente ao acamamento e segundo o portfólio da empresa possui peso de mil grãos de 191 g. Possui resistência as seguintes doenças, cancro da haste (*Diaporthe aspalathi*), ferrugem asiática (*P. pachyrhizi*), mancha "Olho-derã" (*C. sojina*), Pústula bacteriana (*X. axonopodis*) e resistente a raça 1 da Podridão radicular de fitoftora (*P. sojiae*). É moderadamente suscetível

á Nematóide das galhas (*M. incógnita*), nematóide das galhas (*M. javanica*) e oídio (*M. diffusa*). É suscetível a nematóide de cisto (*H. glycines*).

A semeadura foi realizada no dia 17/12/2022, utilizando uma área de 744 m², O espaçamento entre linhas foi de 45 cm e entre planta 6,6 cm totalizando 15 plantas por metro linear. No dia do plantio foi feito o a inoculação com *Bradyrhizobium japonicum* sementes 5079 e 5080, em turfa, na dose de 30 g/kg de semente, a garantia é de 5x10⁹, em todas as sementes independente de qual seria o tratamento posterior da parcela deixando apenas a testemunha sem o tratamento.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com dez tratamentos e 4 repetições, onde foram aplicados os adubos, esterco e inoculante, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Tratamentos realizados no experimento.

Tratamento	Produto	Dose
T1	BiomaBrady	30g/Kg de semente
T2	Esterco bovino	7.140 kg/ha
T3	BiomaBrady	30g/Kg de semente
	Esterco ovino	16.670 kg/ha
T4	BiomaBrady	30g/Kg de semente
	Esterco avícola	5.914 kg/ha
T5	BiomaBrady	30g/Kg de semente
	Adubo químico 0-20-20	408 kg/ha
	Biomaphos	150 mL/ha
T6	Esterco bovino	7.140 kg/ha
	BiomaBrady	30g/Kg de semente
	Biomaphos	150 mL/ha
T7	Esterco ovino	16.670 kg/ha
	BiomaBrady	30g/Kg de semente
	Biomaphos	150 mL/ha
T8	Esterco avícola	5.914 kg/ha
	BiomaBrady	30g/Kg de semente
	Biomaphos	150 mL/ha
T9	BiomaBrady	30g/Kg de semente
	Biomaphos	150 mL/ha
T10	Adubo químico 0-20-20	408 kg/ha
	BiomaBrady	30g/Kg de semente

Fonte: Os autores (2023).

O esterco bovino e ovino utilizados foram coletados da própria fazenda. O esterco bovino é originário de vacas leiteiras da raça holandesa, onde são mantidas em sistema *Free stall*. Enquanto os ovinos de corte são mantidos em sistema semi-intensivo de produção. Já o esterco de frango foi adquirido em uma casa agropecuária. O Biomaphos foi adquirido da empresa Bioma, onde possui as cepas BRM 119 (*Bacillus megaterium*) e BRM 2084 (*Bacillus subtilis*), a sua aplicação foi feita diretamente em sulco no plantio nos respectivos tratamentos.

Para a manutenção da cultura a realização das manutenções foi usado um pulverizador tratorizado, a fim de evitar pragas e doenças.

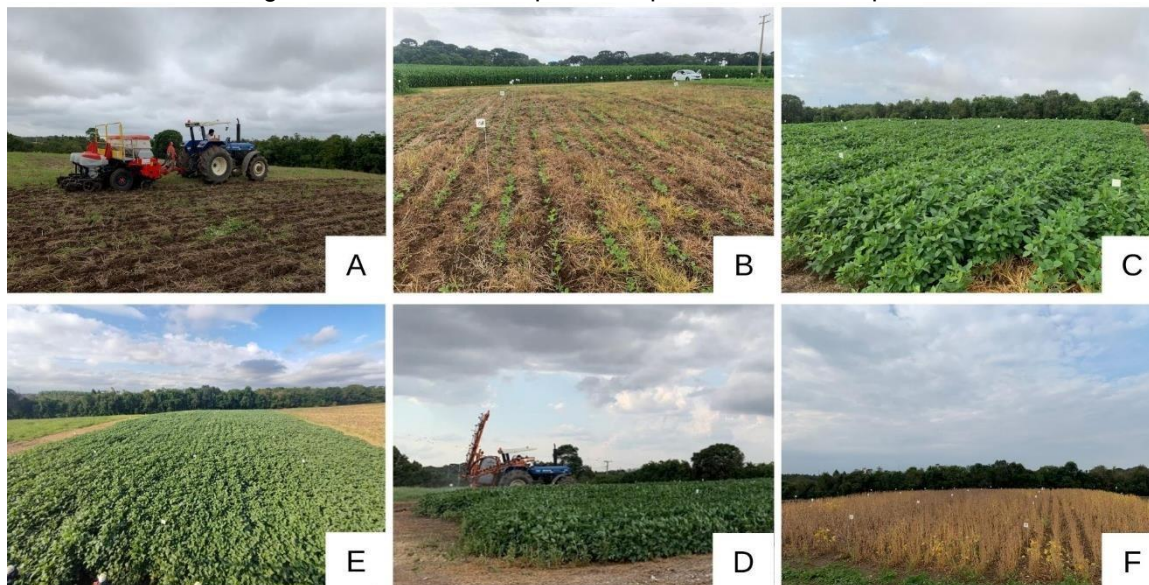
Na primeira avaliação do experimento, nos 100 dias da cultura, foram avaliados os nódulos da soja, foram coletadas dez plantas aleatoriamente por parcela levadas para o laboratório e retirados os nódulos das raízes, para avaliar quantidade de nódulos por planta, diâmetro dos nódulos, quantidade de nódulos viáveis, peso e peso seco dos nódulos que possuíam acima de 2 mm de diâmetro, segundo a metodologia usada por Neto *et al.* (2008).

Para a segunda avaliação foram coletadas dez plantas do meio da parcela, descartando um metro de bordadura, para realizar a avaliação morfológica, sendo mensurados altura da planta, altura da inserção da primeira vagem, diâmetro do colo, número de ramificações, número de vagens, número de sementes e peso de sementes por planta. O restante do meio da parcela foi colhido e debulhado, os grãos foram coletados e pesados para mensurar a produtividade. A metodologia utilizada para a avaliação foi baseada em Deuner *et al.* (2015).

Os dados obtidos pelo experimento foram analisados estatisticamente por meio do software ASSISTAT 7.7 pt (Silva e Azevedo, 2016). Primeiramente, os dados foram verificados quanto a sua normalidade por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov, com correção de Lilliefors. Em seguida, os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 95% de significância para averiguação de diferença estatística.

Na Figura 1 é possível observar as diferentes etapas do experimento em campo.

Figura 1 – Diferentes etapas do experimento em campo.



A) Dia da implantação do experimento; B) Cultura da Soja com 27 dias após a implantação; C) Cultura da Soja 82 dias após a implantação; D) Operação de manutenção; E) Cultura da Soja 82 dias após a implantação; F) Cultura da Soja no dia da colheita (06/05/2023).

Fonte: Os autores (2023).

4 RESULTADOS

As médias obtidas na avaliação dos nódulos demonstraram que não houve diferenças estatísticas nos parâmetros número de nódulos, número de nódulos viáveis, diâmetro dos nódulos e massa seca dos nódulos (Tabela 2). Segundo Brady e Weil (2013), quanto maior a disponibilidade de nitrogênio presente no solo, seja por meio de adubos ou outras fontes, menor será a demanda da planta em disponibilizar a energia exigida para fixação simbiótica, isto é possível apenas com baixos níveis de N no solo.

Já a massa dos nódulos, no tratamento 1, obteve médias estatisticamente superiores aos demais tratamentos, com a adição apenas de *Bradyrhizobium japonicum* (Tabela 2). Resultado semelhante foi encontrado por Döbereiner e Arruda (1967), observaram que onde foram aplicadas maiores doses de fontes nitrogenadas o peso dos nódulos foi reduzido.

Tabela 2 – Média dos valores da avaliação de nódulos na soja submetidos a diferentes tratamentos.

Tratamento	Nº de nódulos	Nº de nódulos viáveis	Diâmetro (mm)	Massa dos nódulos (g)	Massa seca dos nódulos (g)
1	102.2 ns	25.8 ns	3.7 ns	4.28 b	1.00 ns
2	51.1 ns	24.4 ns	3.7 ns	2.88 a	0.80 ns
3	68.6 ns	26.7 ns	3.6 ns	3.10 a	0.98 ns
4	55.9 ns	26.3 ns	3.6 ns	2.45 a	0.79 ns
5	65.0 ns	34.8 ns	3.6 ns	3.31 ab	0.89 ns
6	66.5 ns	36.2 ns	3.7 ns	3.70 a	1.06 ns
7	88.7 ns	70.4 ns	3.5 ns	2.42 a	0.77 ns
8	82.3 ns	50.4 ns	3.5 ns	2.56 a	0.83 ns
9	80.1 ns	43.6 ns	3.7 ns	2.29 a	0.65 ns
10	81.6 ns	38.1 ns	3.7 ns	5.53 a	0.75 ns

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.
Fonte: Os autores (2023).

A análise morfológica das plantas de soja demonstrou que apenas a altura de inserção da primeira vagem não obteve diferença estatística entre os diferentes tratamentos. Este resultado é importante, pois pode indicar que os diferentes tratamentos não apresentaram deficiências nutricionais, o qual poderia determinar o abortamento da primeira vagem, alterando a altura do estabelecimento desta (Deuner *et al.*, 2015).

A altura das plantas (Tabela 3) foi influenciada pelos diferentes tratamentos. Todos os tratamentos se diferenciaram estatisticamente da testemunha. O tratamento 4, recebeu esterco avícola e *Bradyrhizobium japonicum*, apresentou a maior média entre os demais. Resultado semelhante de altura de planta foi obtido por Blanco (2015), em que o tratamento que recebeu esterco avícola apresentou maior altura de planta.

Os diferentes tratamentos não alcançaram o valor médio de crescimento em altura esperado para a cultivar, que varia entre 90 a 100 cm. No experimento, as plantas de soja com 62 dias de desenvolvimento foram acometidas por uma chuva de granizos, o que causou desfolha significativa das plantas, interferindo no desenvolvimento regular da cultura, levando a planta a investir no novo estabelecimento vegetativo.

O diâmetro de caule (Tabela 3) também variou de forma significativa entre os tratamentos. A testemunha, o tratamento 2 e 5 não se diferiram

estatisticamente, apresentando resultados inferiores aos demais tratamentos. Os tratamentos com resultados superiores foram tratamentos 3, 4, 6, 7, 9 e 10. Quanto maior for o diâmetro do caule, maior será a capacidade de armazenamento de fotoassimilados, importante para alcançar altas produtividades onde contribui na formação de fibras e sementes (Araújo, 2011).

Na avaliação dos componentes de rendimentos (Tabela 3), o número de vagens por planta, número de grãos por planta e massa de grãos por planta, todos os tratamentos se diferenciaram da testemunha, indicando que a adição de nutrientes, seja via orgânica ou mineral, resulta em acréscimos significativos de produtividade. Segundo Melo (2020), o solo tem interferência direta na produção da soja, sendo o teor de fósforo disponível no solo um dos fatores determinantes.

O tratamento 4 se destacou, apresentando número de vagens de 82, número de grãos de 181 e a massa de 33,43g por planta, mas não diferiu estatisticamente dos tratamentos 3, 5, 6, 8, 9 e 10.

O fornecimento adequado de nutrientes através da adubação ajuda a corrigir deficiências no solo, promove o crescimento saudável das plantas e melhora a eficiência da fixação biológica de nitrogênio realizada por *Bradyrhizobium japonicum*. De acordo com Caires *et al.* (2006), "a adubação eficiente não só aumenta a disponibilidade de nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas, mas também melhora a estrutura do solo e a capacidade de retenção de água, fatores críticos para o desempenho da soja". Além disso, a aplicação de fertilizantes pode promover uma melhor formação de vagens e grãos, resultando em maiores rendimentos e melhor qualidade das sementes.

Tabela 3 – Média dos valores da avaliação dos parâmetros morfológicos e parâmetros de rendimentos agrônômicos da soja, submetido a diferentes tratamentos.

Tratamento	Altura das plantas (cm)	Altura de inserção da primeira vagem (cm)	Diâmetro do colo (mm)	Nº de ramificações por planta	Nº de Vagens por planta	Nº de grãos por planta	Massa grãos/planta (g)
1	63.7 a	15.6 ns	7.47 a	4 a	45 a	95 a	16.58 a
2	77.6 bcde	17.4 ns	8.34 ab	6 bc	59 ab	136 b	25.07 b
3	79.5 cde	15.0 ns	9.74 c	6 c	77 cd	160 bcd	30.27 bc
4	83.5 e	15.4 ns	9.72 c	5 ab	82 d	181 d	33.43 c
5	75.0 bcd	16.4 ns	8.35 ab	6 bc	67 bc	146 bc	26.54 bc
6	76.1 bcd	16.9 ns	8.69 bc	6 bc	70 bcd	149 bc	25.89 bc
7	74.8 bc	15.5 ns	8.72 bc	6 bc	75 cd	165 bcd	29.18 ab
8	81.9 de	17.0 ns	9.55 c	6 bc	72 bcd	158 bcd	29.39 bc
9	71.0 b	14.7 ns	8.93 bc	6 c	75 cd	168 bc	29.49 bc
10	74.4 bc	15.3 ns	8.99 bc	6 bc	75 cd	166 cd	30.53 bc

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.
Fonte: Os autores (2023).

Em relação a produtividade da soja (Tabela 4), todos os tratamentos apresentaram médias superiores à testemunha, porém apenas os tratamentos 4, 9 e 10, se diferenciaram estatisticamente da testemunha.

Os resíduos orgânicos resultam na disponibilidade de nutrientes fortalecendo a microbiota do solo como consequência. A utilização de resíduos aumenta o teor de matéria orgânica do solo elevando os teores de CTC, podendo proporcionar uma melhora de microrganismos benéficos do solo aumentando a fertilidade natural do solo no longo prazo, se utilizado em culturas subsequentes (Blanco, 2015).

Tabela 4 – Média de produtividade da soja submetida a diferentes tratamentos.

Tratamento	Média Kg/ha
1	3638,89 a
2	4263,89 ab
3	3944,44 a
4	4541,67 b
5	4263,89 ab
6	3937,50 a
7	3937,50 a
8	4319,44 ab
9	4604,44 b
10	4479,17 b

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.
Fonte: Os autores (2023).

O tratamento que recebeu a combinação dos três microrganismos, *Bradyrhizobium japonicum*, *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis* (tratamento 9), apresentou destaque na produtividade. De acordo com Yao et al. (2014), "a aplicação de *Bacillus megaterium* tem mostrado aumentar a produtividade da soja ao melhorar a absorção de nutrientes e estimular o crescimento das raízes, o que contribui para uma maior eficiência na utilização dos recursos do solo". Este aumento na disponibilidade de nutrientes e na saúde das plantas resulta em maiores rendimentos e uma qualidade superior das sementes.

Segundo Kloepper et al. (1989), a inoculação com *Bacillus subtilis* pode aumentar a produtividade da soja ao estimular o crescimento das raízes e a absorção de nutrientes, além de ajudar na proteção das plantas contra patógenos do solo. Esses efeitos combinados contribuem para uma maior biomassa e rendimento das culturas, promovendo uma agricultura mais produtiva e sustentável.

Os resultados obtidos no experimento se apresentaram inferiores ao esperado para a cultivar, pois além das características ambientais do local do estudo, houve a incidência de chuva de granizo e ataque por lebres.

5 CONCLUSÃO

O incremento de nutrientes vindo da adubação, em especial o nitrogênio, reduz a massa de nódulos, podendo interferir na fixação biológica de nutrientes.

As adubações orgânica e mineral interferem positivamente nos componentes morfológicos das plantas de soja, assim como na produtividade.

Bradyrhizobium japonicum, *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* interferem positivamente na produtividade da cultura da soja.

REFERÊNCIAS

- ALTIERI, M. A. (2012). **Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture**. CRC Press.
- ARAÚJO, É. de O. **Interação boro e zinco no cultivo do algodoeiro**. Dissertação de Mestrado. Mato Grosso do Sul. Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul. 55p, 2011. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/1190/119025455003.pdf>>. Acesso em 09 jun. 2023.
- BATISTA, Marcelo Augusto; INOUE, Tadeu Takeyoshi; MUNIZ, M. E. N. E. A. S. Hortaliças-fruto: **Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral**. 4. ed. Maringá: EDUEM, 2018. p. 113-162.
- BLANCO, I. B. **Adubação da cultura da soja com dejetos de suínos e cama de aviário**. Portal Unioeste, Cascavel, 2015. Disponível em:<https://www5.unioeste.br/portalunioeste/arq/files/PPGEA/Dissertacao_Idelvan_Blanco.pdf>. Acesso em 09 jun. 2023
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman. 2013. Acesso em 09 jun.2023.
- CAIRES, E. F.; Kiehl, J. C. (2006). Efeito da Adubação no Desenvolvimento da Cultura da Soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30(1), 45-55.
- DEUNER, C., et al. **Rendimento e qualidade de sementes de soja produzidas sob diferentes manejos nutricionais**. 2017. Disponível em:<<https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/16940>>. Acesso em: 21 abr. 2023.
- DÖBEREINER, J; ARRUDA, N. B. **Interrelações entre variedades e nutrição na nodulação e simbiose da soja (Glycine max (L.) Merrill)**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. p. 475-487. 1967. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/viewFile/17964/12034>>. Acesso em 09 jun. 2023.
- EMBRAPA. **Soja em números (safra 2021/22)**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 23 abr. 2023.
- FERNÁNDEZ R., I. E.; NOVAIS, R. F.; NUNES, F. N.; KER, J. C. Reversibilidade do fósforo não-lábil em solos submetidos à redução microbiana e química: I - alterações químicas e mineralógicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 2307-2317, nov./dez. 2008.
- GUESSER, Vagner Portes. **ZONAS DE MANEJO DO TEOR DE FÓSFORO (P) E RESPOSTA DA SOJA INOCULADA COM SOLUBILIZADOR DE FOSFATO**.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 11-42, set./2022. Disponível em:
https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/26219/DIS_PPGAP_2022_GUESSE_R_VAGNER.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 24 abr. 2023.

GLICK, B. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. **Scientifica**, v. 2012, p. 1-15, 2012.

HUNGRIA *et al.* TECNOLOGIA DE COINOCULAÇÃO DA SOJA COM Bradyrhizobium E Azospirillum: INCREMENTOS NO RENDIMENTO COM SUSTENTABILIDADE E BAIXO CUSTO. **Resumos da XXXIII Reunião de Pesquisa de Soja da Região Central do Brasil**, Londrina, PR, v. 33, n. 1, p. 151153, ago./2013. Disponível em:
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/88704/1/Tecnologia-decoinoculacao-da-soja-com-Bradyrhizobium-e-Azospirillum-incrementos-norendimento-com-sustentabilidade-e-baixo-custo.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2023.

KLOEPPER, J. W.; RYU, C.M.; ZHANG, S. (1989). Induced Systemic Resistance and Plant Growth Promotion by *Bacillus subtilis*. **Soil Biology and Biochemistry**, 33(6), 577-586.

MALUSÀ, E.; PINZARI, F.; CANFORA, L. **Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity**: Efficacy of Biofertilizers: Challenges to Improve Crop Production. 2. ed. New Delhi: Springer, 2016. p. 17-40.

MELO, W. S., **Adubação da cultura da soja com fertilizante orgânico produzido a partir de carcaças de frango**. Unioeste, Cascavel, 2020 Disponível em:<https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/4995/5/William_Melo2020.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2023.

NASCIMENTO, F. X. *et al.* **Biotechnology Reports: Plant growth-promoting activities and genomic analysis of the stress-resistant *Bacillus megaterium* STB1, a bacterium of agricultural and biotechnological interest**. ScienceDirect, Florianópolis, v. 25, n. 406, p. 1-9, set./2019. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215017X19305430>. Acesso em: 24 abr. 2023.

NETO, S. A. V. **Formas de aplicação de inoculante e seus efeitos sobre a nodulação da soja**. Scielo 2008. Disponível em:
<<https://doi.org/10.1590/S010006832008000200040>>. Acesso em: 26 de março de 2023.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, POTAFOS, 1991. 343p.

RODRÍGUEZ, H.; FRAGA, R.. **Biotechnology Advances: Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion.**

ScienceDirect, Havana, v. 17, n. 5, p. 319-339, out./1999. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734975099000142>. Acesso em: 21 abr. 2023.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

SFREDO, Gedi Jorge. **SOJA NO BRASIL: CALAGEM, ADUBAÇÃO E NUTRIÇÃO MINERAL.** EMBRAPA, Londrina, v. 305, n. 1, p. 1-147, set./2008.

Disponível em:

<https://www.agrolink.com.br/downloads/soja%20no%20Brasil%20%20calagem,%20aduba%C3%A7%C3%A3o%20e%20nutri%C3%A7%C3%A3o%20mineral.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2023.

TEJADA, M.; GONZÁLEZ, J. L.; GARCÍA, C. (2009). Microbial Activity and Nutrient Availability in Soil. **Soil Biology & Biochemistry**, 41(5), 897-902.

ZONTA, E.; STAFANATO, J.B.; PEREIRA, M.G. Fertilizantes minerais, orgânicos e organominerais. In: ZONTA, E.; STAFANATO, J.B.; PEREIRA, M.G. BORGES, A.L. (Ed. Técn.). *Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá.* Brasília: 2. ed., **Embrapa**, 2021, p. 265-303.

YAO, Q.; ZHENG, Y.; WANG, W.; ZHANG, Z. (2014). Effects of *Bacillus megaterium* on Growth and Nutrient Uptake of Soybean. **Applied Soil Ecology**, 84, 220-228.