

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**DARLAN FELIPE SARTORI**

**BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FÓSFORO, ADUBAÇÃO QUÍMICA,  
APLICAÇÃO DE FUNGICIDAS E CULTIVARES NO MANEJO DE DOENÇAS DA  
SOJA**

**Santa Helena**

**2023**

**DARLAN FELIPE SARTORI**

**BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FÓSFORO, ADUBAÇÃO QUÍMICA,  
APLICAÇÃO DE FUNGICIDAS E CULTIVARES NO MANEJO DE DOENÇAS DA  
SOJA**

**Phosphorus solubilizing bacteria, chemical fertilization, application of fungicides  
and cultivars in the management of soybean diseases**

Trabalho de conclusão submetido ao Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná Câmpus Santa Helena, como requisito parcial para obtenção do título Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Debona

**Santa Helena**

**2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**DARLAN FELIPE SARTORI**

**BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FÓSFORO, ADUBAÇÃO QUÍMICA,  
APLICAÇÃO DE FUNGICIDAS E CULTIVARES NO MANEJO DE DOENÇAS DA  
SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito parcial para a  
obtenção do título de Bacharel em Agronomia da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Santa Helena.

Aprovada em: Santa Helena, 07 de dezembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. Daniel Debona – Orientador

UTFPR

---

Profa. Dra. Nádia Graciele Krohn

UTFPR

---

Profa. Dra. Cíntia Maria Teixeira Fialho

UTFPR

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos ao Prof. Dr. Daniel Debona por sua orientação, suporte e dedicação ao longo de todo o curso e na elaboração deste trabalho de conclusão de curso. Seu conhecimento, sua paciência e seus incentivos foram fundamentais para o desenvolvimento deste projeto e para minha formação acadêmica.

À minha família, amigos e à minha namorada Marcia Cristina, expresso minha gratidão pelo apoio constante, compreensão e encorajamento ao longo desta jornada acadêmica. Suas palavras de estímulo foram um impulso valioso para alcançar esta etapa.

Agradeço também meus amigos e colegas de curso que compartilharam ideias, experiências e desafios, enriquecendo assim o processo de aprendizado.

À instituição de ensino, pela oportunidade de aprendizado e pelos recursos disponibilizados, expresso minha gratidão. Cada experiência vivenciada aqui contribuiu para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

A todos os professores, que compartilharam e repassaram seus conhecimentos durante essa jornada, meus mais sinceros agradecimentos.

Por fim, agradeço a equipe ProteCrop e a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. A conclusão deste TCC representa não apenas um marco acadêmico, mas também uma etapa significativa em minha jornada de aprendizado e desenvolvimento.

## RESUMO

A cultura da soja (*Glycine max*) é de grande importância para a economia brasileira e mundial. O Brasil representa o maior produtor do grão com cerca de 154 milhões de toneladas produzidas na safra 2022/2023. A obtenção de elevadas produtividades de soja depende de adubação com os nutrientes essenciais exigidos pela cultura, entre eles, o fósforo (P). Contudo, grande parte do P aplicado no solo acaba sendo fixado, diminuindo a eficiência da adubação. Alguns microrganismos, incluindo bactérias do gênero *Bacillus*, têm a capacidade de solubilizar o P fixado no solo. Além disso, *Bacillus* spp. também têm a capacidade de controlar algumas doenças de plantas. Este trabalho teve como objetivo o efeito do tratamento de sementes com produto contendo bactérias solubilizadoras de fósforo (BSP, Biomaphos®, *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis*) na produtividade e na incidência da podridão de carvão, causada por *Macrophomina phaseolina*. O experimento foi conduzido na área experimental da UTFPR - Campus Santa Helena, durante as safras 2020/2021 e 2021/2022. Na safra 2020/2021, o experimento consistiu em arranjo tetra-fatorial  $2 \times 3 \times 2 \times 2$ , com quatro repetições. Esse arranjo incluiu duas cultivares (M5947 IPRO e 96Y90 IPRO), variação no número de aplicações de fungicidas (zero, duas ou quatro aplicações de fungicidas), com ou sem fertilizante químico na presença ou ausência de tratamento de sementes com BSP. Na safra 2021/2022, o experimento consistiu em arranjo tri-fatorial  $2 \times 2 \times 2$ . Foram utilizadas duas cultivares de soja (M5947 IPRO e 96Y90 IPRO) com ou sem fertilizante químico, com ou sem BSP. Na safra 2020/2021, as maiores produtividades foram observadas para cultivar 96Y90 IPRO nos tratamentos com fertilizante químico, com BSP e quatro aplicações de fungicida. Por outro lado, na safra 2021/2022, a cultivar M5947 IPRO, por ser mais resistente à podridão de carvão, apresentou maior produtividade do que a cultivar 96Y90 IPRO. A combinação do fertilizante químico com o tratamento de sementes com BSP resultou nas menores incidências da doença e nas maiores produtividades em ambas as cultivares de soja. Dessa forma, um programa de manejo que contemple o uso de cultivares resistentes, a adubação química, o uso de BSP e a aplicação de fungicidas é fundamental para mitigar os danos causados por doenças.

**Palavras-chave:** *Glycine max* (L.) Merrill. *Bacillus*. Fertilizante. *Macrophomina phaseolina*.

## ABSTRACT

Soybean crop (*Glycine max*) has a huge importance for Brazilian and world economies. Brazil is the major soybean producer with around 154 million tons being produced in the season 2022/2023. Obtaining high soybean productivity depends on fertilization with the essential nutrients that are required by the crop, including phosphorus (P). However, a large part of the P that is applied to the soil is fixed, resulting in low fertilization efficiency. Some microorganisms, including bacteria of the genus *Bacillus*, are able to solubilize P. Furthermore, *Bacillus* spp. have the ability to control some plant diseases. This work aimed at determining the effect of seed treatment with a product containing phosphorus-solubilizing bacteria (PSB, Biomaphos<sup>®</sup>, *Bacillus megaterium* and *Bacillus subtilis*) in grain yield and incidence of charcoal rot, caused by *Macrophomina phaseolina*. The experiment was conducted in the experimental area of UTFPR - Campus Santa Helena, during the 2020/2021 and 2021/2022 seasons. In the 2020/2021 season, the experiment consisted in a 2 × 3 × 2 × 2 tetra-factorial design, with four replications. It included two cultivars (M5947 IPRO and 96Y90 IPRO), variation in the number of fungicide applications (zero, two or four fungicide applications), with or without chemical fertilizer in the presence or absence of seed treatment with PSB. In the 2021/2022 season, the experiment consisted in a 2 × 2 × 2 three-factorial design. Two soybean cultivars (M5947 IPRO and 96Y90 IPRO), with or without chemical fertilizer, with or without PSB were investigated. In the 2020/2021 season, the highest grain yield was observed for the 96Y90 IPRO cultivar in the treatments with chemical fertilizer, with PSB and four fungicide applications. On the other hand, in the 2021/2022 harvest, the M5947 IPRO cultivar, that was more resistant to charcoal rot, showed higher productivity than the 96Y90 IPRO cultivar. The combination of chemical fertilizer with seed treatment with PSB resulted in lower disease incidences and higher yields in both soybean cultivars. Therefore, a management program that includes the use of resistant cultivars, chemical fertilization, the use of PSB and the application of fungicides is essential to mitigate the damage caused by diseases.

**Keywords:** *Glycine max* (L.) Merrill. *Bacillus*. Fertilizers. *Macrophomina phaseolina*.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>11</b>
2.1 A cultura da soja	11
2.2 Utilização de microrganismos	12
2.3 <i>Bacillus subtilis</i> e <i>Bacillus megaterium</i> na cultura da soja	13
2.4 Aplicação de inoculantes	15
2.5 Importância do fósforo na produção	18
2.6 <i>Macrophomina phaseolina</i>	20
<b>3 MÉTODOS</b>	<b>23</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>27</b>
<b>5 CONCLUSÃO</b>	<b>34</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>35</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] do mundo com uma produção na safra 2022/2023 de 154 milhões de toneladas, em uma área de 44 milhões de hectares (CONAB 2023). Para atingir tamanha produção, a adubação da cultura é de grande importância. Um dos principais macronutrientes da cultura é o fósforo (P), sendo necessária a aplicação de doses elevadas de P no solo todos os anos. Isso ocorre porque grande parte desse fósforo utilizado acaba sendo fixado no solo, ficando indisponível às plantas.

O P desempenha um papel fundamental no cultivo da soja, sendo um dos nutrientes mais demandados e exportados pela cultura. O P promove o crescimento, desenvolvimento e reprodução das plantas, estando intrinsecamente ligado à fotossíntese, divisão celular, bem como à utilização de açúcares e amido (LÓPEZ-BUCIO et al, 2002). Por essa razão, a prática da adubação fosfatada é essencial anualmente. Adicionalmente, é importante considerar que o P é pouco móvel no solo e tem afinidade por outros elementos. O P inorgânico engloba o íon fosfato presente na solução do solo, todas as formas precipitadas com  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$  e  $Ca^{2+}$ , além daquelas adsorvidas pelos oxi-hidróxidos de ferro e alumínio da fração argila, e as formas estruturais dos minerais fosfatados (GATIBONI et al. 2013).

Mais de 45 milhões de toneladas de fósforo foram aplicadas nos solos brasileiros desde 1960, quando começou a utilização desse insumo. Desse montante, estima-se que 22,8 milhões de toneladas continuem fixadas no solo e, em 2050, serão cerca de 105 milhões de toneladas de P retidas nos solos brasileiros (EMBRAPA 2023).

Uma estratégia eficaz para enfrentar alguns dos desafios associados à retenção de P no solo consiste na utilização de bactérias solubilizadoras, incluindo *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*. Essa abordagem oferece uma alternativa promissora para atenuar as limitações desse nutriente, uma vez que essas bactérias contribuem para aumentar a eficiência dos fosfatos nos solos, ao mesmo tempo em que ajudam a reduzir os custos de produção (GADD., 1999; WITHELAW., 2000). A adição de inoculantes contendo esses microrganismos aumenta a liberação de P na rizosfera por

meio da produção de ácidos orgânicos, enriquecendo o solo nutricionalmente (OWEN et al., 2015).

Múltiplos estudos têm indicado que a aplicação de inoculantes contendo bactérias solubilizadoras de fosfato resulta em um aumento significativo na disponibilidade de fósforo e na absorção desse nutriente pelas plantas (IRSHAD et al., 2012; OWEN et al., 2015).

*Bacillus* spp. possuem uma notável capacidade de formar endósporos, o que lhes confere a habilidade de se adaptar a condições abióticas extremas. Essas condições incluem variações de temperatura, pH, exposição à radiação, dessecação, luz ultravioleta e até mesmo a exposição a pesticidas. Essa característica de formação de endósporos contribui para a resistência e sobrevivência dessas bactérias em ambientes adversos e desafiadores (BAHADIR et al., 2018).

A cepa CNPMS B119 de *B. megaterium*, isolada da rizosfera de milho, demonstra a capacidade de solubilizar fosfatos de cálcio e rocha. Por sua vez, a cepa CNPMS B2084 de *B. subtilis* é endofítica, apresenta a habilidade para solubilizar fosfato de cálcio e ferro, e se destaca pela alta produção de ácido glucônico e da enzima fitase. Esta caracterização ressalta o potencial dessas cepas, especialmente no contexto da viabilidade técnica e econômica do produto Biomaphos®, que envolve essas duas cepas (*B. subtilis* CNPMS B2084 e *B. megaterium* CNPMS B119), nas culturas de milho e soja (OLIVEIRA et al., 2020; GOMES et al., 2014; ABREU et al., 2017; VELLOSO et al., 2020).

Patógenos veiculados pelo solo representam uma das principais causas de perda de produtividade na cultura da soja. Devido à sua localização, essas doenças são desafiadoras de controlar. Quando há uma sucessão de culturas que são hospedeiras desses patógenos, o controle torna-se ainda mais complexo. Um exemplo dessas doenças de solo é a podridão de carvão, ou podridão cinzenta, causada pelo fungo *Macrophomina phaseolina*. Essa doença afeta diversas culturas hospedeiras, tornando o controle ainda mais desafiador de ser alcançado.

Uma das principais preocupações em regiões de produção agrícola com a presença de *M. phaseolina* é a complexidade no planejamento da rotação de culturas, devido à sua capacidade de infectar diversos hospedeiros. Entretanto, sua incidência é

mais expressiva em sistemas de monocultivo ou em alguns sistemas de sucessão de culturas, como é o caso da rotação entre soja e milho. Essa característica faz com que *M. phaseolina* se torne um patógeno de alto potencial de causar perdas econômicas significativas no sistema de produção de grãos brasileiro (JACCOUD-FILHO; LES; NADAL, 2020; REIS et al., 2014). *M. phaseolina* tende a se manifestar com maior frequência e intensidade durante o estágio reprodutivo das plantas, representando um momento crítico com alto potencial de dano para a cultura. Isso é especialmente evidente em ambientes sujeitos a estresse hídrico e altas temperaturas médias, em que as condições favoráveis aumentam a propagação da infecção e agravam os impactos negativos sobre as plantações. O estresse hídrico e temperaturas elevadas criam um cenário propício para a expressão mais acentuada dos danos causados por *M. phaseolina* nas plantas em estágios reprodutivos (MICHEREFF et al., 2005).

Além dos patógenos presentes no solo, há diversos outros que podem afetar a parte aérea das plantas de soja. Nesse contexto, torna-se crucial a aplicação de fungicidas para preservar o potencial produtivo da cultura.

As cultivares de soja são desenvolvidas para se adaptarem a diversos fatores bióticos e abióticos. Em função disso, há uma diversidade de cultivares adequadas para diferentes tipos de solo, condições climáticas e relevo. Como resultado, as respostas quanto à necessidade de aplicações de fungicidas e fertilizantes podem variar entre as cultivares. É importante destacar que algumas cultivares apresentam maior resistência a determinadas doenças, o que influencia diretamente nas práticas de manejo. Dessa forma, a avaliação de diferentes cultivares torna-se essencial para uma escolha adequada, considerando não apenas as características do ambiente, mas também a resistência a doenças específicas.

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de duas bactérias solubilizadoras de P na produtividade e na incidência da podridão de carvão em diferentes níveis de adubação, número de aplicação de fungicidas e cultivares de soja.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A cultura da soja

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) representa a principal cultura oleaginosa cultivada tanto globalmente quanto no Brasil, apresentando uma ampla gama de aplicações nos setores alimentício e farmacêutico. A domesticação da soja remonta ao século XI a.C., tendo ocorrido originalmente na região da Manchúria (HYMOWITZ, 1970). Posteriormente foi introduzida na Europa, América do Norte e América do Sul. O seu cultivo começou em pequena escala no século XVIII na Europa, e chegou ao Brasil em 1882 no estado da Bahia, porém o seu cultivo se iniciou no Rio Grande do Sul a partir da década de 40, hoje sendo produzida em quase todo o território nacional.

Na década de 1940, a produção de soja começou a se disseminar no Brasil, inicialmente expandindo-se no Estado do Rio Grande do Sul e estendendo-se posteriormente para os demais estados da região sul. Gradualmente, essa expansão alcançou regiões mais ao norte, abrangendo o sudeste, centro-oeste e até mesmo o norte do Brasil. A viabilidade da cultura foi impulsionada pela fácil adaptação das variedades de soja, sua utilização eficaz na rotação de culturas de inverno (como o trigo na região Sul) e a mecanização abrangente de todas as etapas das atividades agrícolas relacionadas à cultura da soja (DALL'AGNOL, 2016; GAZZONI, 2018).

A soja é cultivada em todo o território nacional, abrangendo desde altas latitudes nas regiões do Rio Grande do Sul até situações opostas, como em baixas latitudes equatoriais tropicais. Essa ampla distribuição geográfica destaca o desempenho da cultura, evidenciado por níveis elevados de produtividade em diferentes condições climáticas e latitudes no Brasil (CÂMARA, 2015).

A partir da década de 70, testemunhamos inúmeras transformações e especializações no cenário agrícola brasileiro. O complexo da soja, compreendendo grãos, farelo e óleo, emergiu como o principal produto agrícola nas exportações do

Brasil, desempenhando um papel crucial no aumento da produção de grãos. Como resultado, a cadeia produtiva da soja se estabeleceu como um destaque na agricultura em larga escala do país (SANTOS, 2012).

Atualmente, a soja figura entre os principais produtos de exportação do Brasil e é uma das principais commodities a nível global. Além disso, observa-se um rápido crescimento de sua participação não apenas na alimentação humana, mas também na produção de uma variedade de produtos, incluindo adubos, revestimentos, papel, tintas e até mesmo combustíveis. Essa versatilidade destaca a importância e a ampla aplicação da soja em diversos setores da economia (EMBRAPA, 2015).

Conforme dados da Conab, o Brasil atualmente registra uma produção de mais de 150 milhões de toneladas de soja em uma área que abrange aproximadamente 44 milhões de hectares. Essa expressiva produção consolida a soja como a principal cultura no cenário agrícola brasileiro.

## 2.2 Utilização de microrganismos

A cultura da soja desempenha um papel fundamental no cenário agrícola brasileiro e mundial, sendo uma das principais commodities agrícolas. Além de ser uma fonte importante de proteínas vegetais, a soja também possui alto valor nutricional, sendo rica em ácidos graxos essenciais e vitaminas. No Brasil, a produção de soja tem grande relevância econômica, contribuindo significativamente para o PIB do país e gerando empregos diretos e indiretos. No contexto mundial, a soja é amplamente utilizada na alimentação humana e animal, além de ser matéria-prima para a produção de biocombustíveis (GIOVELLI, TABALDI, 2022).

No entanto, os agricultores enfrentam diversos desafios na produção de soja, especialmente no que diz respeito ao controle de pragas e doenças que afetam a produtividade da cultura. O uso indiscriminado de agrotóxicos tem sido uma prática comum para combater esses problemas, porém, além dos impactos ambientais negativos, o desenvolvimento de resistência por parte dos patógenos tem se tornado um problema cada vez mais recorrente. Nesse sentido, torna-se necessário buscar alternativas sustentáveis para o controle desses organismos nocivos à cultura

(SANTOS, et al., 2021).

Uma das alternativas promissoras é a utilização de microrganismos benéficos na agricultura, como *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*. Esses microrganismos são considerados agentes biológicos eficientes no controle de pragas e doenças em diversas culturas agrícolas. Além disso, eles possuem características que os tornam atrativos para uso na agricultura, como a capacidade de colonizar o sistema radicular das plantas e produzir substâncias antimicrobianas (MATUCZAK, 2023).

Diversos estudos científicos têm avaliado a eficácia do uso de *B. subtilis* e *B. megaterium* na cultura da soja. Resultados positivos têm sido observados no controle de doenças fúngicas, como a podridão radicular causada por *Fusarium spp.*, e doenças bacterianas, como a mancha-bacteriana causada por *Xanthomonas spp.* Esses estudos têm mostrado que a aplicação desses microrganismos pode reduzir significativamente a incidência e severidade dessas doenças, resultando em maior produtividade das plantas (JUNIOR, et al., 2021).

Os mecanismos de ação pelos quais *B. subtilis* e *B. megaterium* protegem as plantas contra patógenos ainda não estão completamente elucidados. No entanto, sabe-se que esses microrganismos são capazes de produzir uma variedade de substâncias antimicrobianas, como enzimas líticas e peptídeos antimicrobianos, que podem inibir o crescimento de patógenos. Além disso, eles também podem estimular o sistema de defesa das plantas, induzindo a produção de fitoalexinas e ativando vias de sinalização que desencadeiam respostas de defesa (OLIVEIRA-PAIVA, et al., 2021).

### 2.3 *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* na cultura da soja

*Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* são bactérias gram-positivas que pertencem ao gênero *Bacillus*. Ambas as espécies são consideradas aeróbias facultativas, o que significa que podem crescer tanto em presença quanto em ausência de oxigênio. A estrutura celular desses microrganismos é caracterizada por uma parede celular rígida composta principalmente por peptidoglicano, além de possuírem flagelos para a locomoção. Além disso, ambas as espécies têm a capacidade de formar

esporos, uma adaptação que lhes permite sobreviver em condições ambientais desfavoráveis (SANTOS, et al., 2021).

A utilização de *B. subtilis* e *B. megaterium* na cultura da soja traz benefícios significativos. Esses microrganismos atuam como agentes de controle biológico, combatendo patógenos causadores de doenças nas plantas. Além disso, eles promovem o crescimento das plantas por meio da produção de substâncias promotoras do crescimento vegetal, como enzimas e hormônios vegetais (MATUCZAK, 2023).

Estudos científicos têm demonstrado a eficácia do *B. subtilis* e *B. megaterium* na proteção das plantas contra doenças fúngicas, bacterianas e virais. Esses microrganismos produzem metabólitos secundários com atividade antimicrobiana, que inibem o crescimento de patógenos. Além disso, eles induzem respostas de defesa nas plantas, aumentando sua resistência a infecções (SANTOS, et al., 2021).

Uma das diferenças entre o *B. subtilis* e o *B. megaterium* está relacionada à sua resistência a condições ambientais adversas. O *B. subtilis* é conhecido por ser mais resistente a altas temperaturas e condições de pH extremo, enquanto o *B. megaterium* é mais tolerante à umidade. Essas características podem influenciar a escolha do microrganismo mais adequado para determinadas condições de cultivo (GIOVELLI, TABALDI, 2022).

Existem diferentes métodos de aplicação dos microrganismos na cultura da soja. A inoculação das sementes com suspensões contendo os microrganismos é uma prática comum, pois permite que as bactérias colonizem as raízes das plantas desde o início do desenvolvimento. Além disso, a pulverização foliar e o tratamento do solo também são utilizados para garantir uma distribuição uniforme dos microrganismos no campo (SOUSA, 2023).

A utilização de *B. subtilis* e *B. megaterium* na cultura da soja tem proporcionado resultados positivos para os agricultores. Estudos relatam um aumento significativo na produtividade das lavouras, além de uma redução no uso de agrotóxicos. Além disso, a utilização desses microrganismos tem sido associada a uma melhoria na qualidade dos grãos, como maior teor de proteínas e óleos. Esses resultados reforçam a importância da utilização desses microrganismos como uma estratégia sustentável para o manejo de doenças e pragas na cultura da soja (ROCHA, 2022).

## 2.4 Aplicação de inoculantes

A utilização de inoculantes na cultura da soja é de extrema importância, pois esses produtos podem contribuir significativamente para o aumento da produtividade. Os inoculantes são compostos por microrganismos fixadores de nitrogênio, como as bactérias do gênero *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*, que têm a capacidade de estabelecer uma simbiose com as raízes das plantas de soja. Essas bactérias promovem a fixação biológica de nitrogênio atmosférico, transformando-o em uma forma disponível para as plantas, o que resulta em um maior suprimento desse nutriente essencial para o desenvolvimento da cultura (SILVA, SOUSA, 2022).

O *B. subtilis* e o *B. megaterium* são microrganismos amplamente estudados e utilizados como inoculantes na cultura da soja. Essas bactérias possuem características específicas que beneficiam a planta hospedeira. O *B. subtilis*, por exemplo, produz enzimas que auxiliam na solubilização de fosfatos presentes no solo, aumentando assim a disponibilidade desse nutriente para a planta. Já o *B. megaterium* possui a capacidade de produzir substâncias promotoras do crescimento vegetal, como hormônios e sideróforos, que estimulam o desenvolvimento radicular e melhoram a absorção de nutrientes pela planta (SOUSA, 2023).

Existem diferentes métodos de aplicação dos inoculantes na cultura da soja. A aplicação pode ser feita via semente, onde os inoculantes são misturados às sementes antes da semeadura. Outro método é a aplicação no sulco de semeadura, onde os inoculantes são colocados no sulco ao lado das sementes durante o plantio. Além disso, também é possível realizar a aplicação dos inoculantes por meio da pulverização foliar, onde uma solução contendo os microrganismos é borrifada sobre as folhas da planta (SCHUH, 2023).

Diversos fatores podem influenciar a eficiência dos inoculantes na cultura da soja. A qualidade do inoculante é um desses fatores, sendo fundamental utilizar produtos de boa procedência e com alta concentração de microrganismos viáveis. Além disso, as condições ambientais também desempenham um papel importante, pois temperaturas elevadas e baixa umidade podem comprometer a sobrevivência e atividade dos microrganismos. Por fim, o manejo adequado da cultura, como o uso



correto de adubação e irrigação, também pode afetar a eficiência dos inoculantes (JUNIOR, et al., 2021).

A utilização dos inoculantes na cultura da soja traz diversos benefícios. Um dos principais benefícios é o aumento da fixação biológica de nitrogênio, que reduz a necessidade de aplicação de fertilizantes químicos nitrogenados. Além disso, os inoculantes também promovem uma melhoria na absorção de outros nutrientes pela planta, como fósforo e potássio, resultando em um melhor desenvolvimento vegetativo e maior produtividade. Outro benefício é a redução do impacto ambiental causado pelo uso excessivo de fertilizantes químicos (LARSSSEN, 2021).

Estudos científicos têm comprovado a eficiência dos inoculantes na cultura da soja. Pesquisas têm demonstrado que a utilização desses produtos pode aumentar significativamente a produtividade da cultura, além de melhorar a qualidade dos grãos. Resultados obtidos em diferentes regiões do mundo mostram que a aplicação de inoculantes pode aumentar o rendimento da soja em até 20% e melhorar características como tamanho, peso e teor de óleo dos grãos (OLIVEIRA-PAIVA, et al., 2021).

Para a utilização correta dos inoculantes na cultura da soja, é importante seguir algumas recomendações. Primeiramente, é necessário escolher um produto adequado, levando em consideração as características do solo e as necessidades nutricionais da planta. Além disso, é fundamental utilizar a dose recomendada pelo fabricante, evitando tanto a subdosagem quanto a superdosagem. Por fim, o momento ideal de aplicação dos inoculantes varia de acordo com as condições climáticas e o estágio de desenvolvimento da cultura, devendo ser feita preferencialmente no momento do plantio ou logo após a emergência das plântulas (SOUSA, 2023).

A análise dos parâmetros agronômicos na cultura da soja desempenha um papel fundamental na avaliação do desempenho das plantas e na identificação de possíveis melhorias no manejo agrícola. Essa análise permite aos agricultores monitorar o desenvolvimento das plantas ao longo do ciclo de cultivo, fornecendo informações importantes sobre a saúde das plantas, a eficiência dos nutrientes e a produtividade. Além disso, a análise dos parâmetros agronômicos também pode auxiliar na detecção precoce de problemas como deficiências nutricionais, doenças ou estresses ambientais, permitindo uma intervenção rápida e eficaz para minimizar os impactos negativos

(LARSSSEN, 2021).

Dentre os principais parâmetros agronômicos que podem ser analisados na cultura da soja, destacam-se a altura das plantas, o número de folhas, o peso de grãos por planta e a taxa de crescimento. A altura das plantas é um indicador importante do vigor vegetativo e pode refletir o estado nutricional das plantas. O número de folhas está diretamente relacionado à capacidade fotossintética da planta e à sua capacidade de produzir energia para o crescimento e desenvolvimento. O peso de grãos por planta é um indicador direto da produtividade da cultura e reflete a eficiência do uso dos recursos disponíveis pela planta. Por fim, a taxa de crescimento é um indicador dinâmico que permite avaliar o ritmo de desenvolvimento das plantas ao longo do tempo (JUNIOR, et al., 2021).

*B. subtilis* e *B. megaterium* são dois agentes promotores de crescimento amplamente utilizados na cultura da soja. Esses microrganismos são bactérias do gênero *Bacillus* que possuem características benéficas para as plantas, como a capacidade de solubilizar fosfatos e produzir substâncias promotoras de crescimento. Além disso, essas bactérias também podem atuar como agentes de controle biológico, inibindo o crescimento de patógenos e protegendo as plantas contra doenças (ROCHA, 2022).

Diversos estudos científicos têm comprovado a eficácia do uso de *B. subtilis* e *B. megaterium* na cultura da soja. Esses estudos têm demonstrado resultados positivos em termos de aumento da produtividade, melhoria da qualidade dos grãos e aumento da resistência das plantas a doenças. Por exemplo, um estudo realizado por Silva et al. (2018) mostrou que a inoculação das sementes com *B. subtilis* resultou em um aumento médio de 15% na produtividade da soja em comparação com as plantas não inoculadas (MATUCZAK, 2023).

A aplicação de *B. subtilis* e *B. megaterium* na cultura da soja pode ser realizada por diferentes métodos, como tratamento de sementes ou inoculação no solo. O tratamento de sementes é uma das formas mais comuns de aplicação desses microrganismos, pois permite uma distribuição uniforme dos agentes promotores de crescimento nas sementes antes do plantio. Já a inoculação no solo consiste na aplicação direta dos microrganismos no solo, visando estabelecer uma população

benéfica de bactérias que possam interagir com as raízes das plantas (OLIVEIRA-PAIVA, et al., 2021).

Ao utilizar *B. subtilis* e *B. megaterium* na cultura da soja, é importante ter alguns cuidados para garantir melhores resultados. Um dos principais cuidados é a escolha adequada das doses dos microrganismos, levando em consideração fatores como o tipo de solo, a variedade de soja e as condições ambientais. Além disso, é fundamental realizar a aplicação no momento correto do ciclo da cultura, levando em consideração as necessidades nutricionais e o estágio de desenvolvimento das plantas (SANTOS, et al., 2021).

As perspectivas futuras do uso de *B. Subtilis* e *B. megaterium* na cultura da soja são promissoras. A pesquisa nessa área tem se mostrado cada vez mais relevante para o desenvolvimento sustentável da agricultura, buscando soluções que permitam aumentar a produtividade das lavouras de forma eficiente e sustentável. Novos estudos estão sendo realizados para investigar diferentes cepas bacterianas, métodos de aplicação e combinações com outros agentes promotores de crescimento, visando maximizar os benefícios desses microrganismos para a cultura da soja. No entanto, é importante ressaltar a necessidade de mais pesquisas para otimizar a aplicação desses microrganismos e garantir benefícios consistentes aos agricultores. Estudos adicionais são necessários para determinar as melhores condições de aplicação, como dose, momento e forma de inoculação, bem como avaliar os efeitos a longo prazo do uso desses microrganismos no solo e na planta. Além disso, é fundamental investigar possíveis interações entre esses microrganismos e outros agentes biológicos utilizados na agricultura, visando o desenvolvimento de estratégias integradas de manejo fitossanitário (LARSSSEN, 2021).

## 2.5 Importância do fósforo na produção

É fundamental garantir que todos os nutrientes essenciais estejam presentes em quantidades apropriadas ou em condições que promovam sua disponibilidade para absorção, uma vez que a deficiência desses nutrientes é um fator limitante capaz de

provocar alterações no metabolismo vegetal. Cada nutriente desempenha uma função específica no metabolismo das plantas (TAIZ & ZEIGER, 2004).

O fósforo é um elemento essencial que desempenha um papel crucial na otimização do uso do nitrogênio, promovendo a formação eficiente de novos tecidos quando absorvido adequadamente. Sua interação com as cadeias carbonadas resulta no aumento do índice de área foliar e na longevidade das folhas que estão ativamente envolvidas na fotossíntese. O fósforo contribui para potencializar o aproveitamento da radiação solar, impulsionando o acúmulo de matéria seca e favorecendo o aumento na produção de grãos (JORGE & GONZALEZ, 1997; TAIZ & ZEIGER, 2004). Os principais compostos que contêm fósforo incluem ésteres de carboidratos, nucleotídeos (essenciais na síntese de proteínas e no código genético), RNA e DNA, fosfolipídios, ácido fítico e seus sais de cálcio e magnésio (que representam reservas de fósforo nas sementes), e os fosfatos de adenosina (AMP, ADP, ATP), desempenhando papéis cruciais em processos energéticos e de transferência de energia nas células (CÂMARA; HEIFFIG 2000).

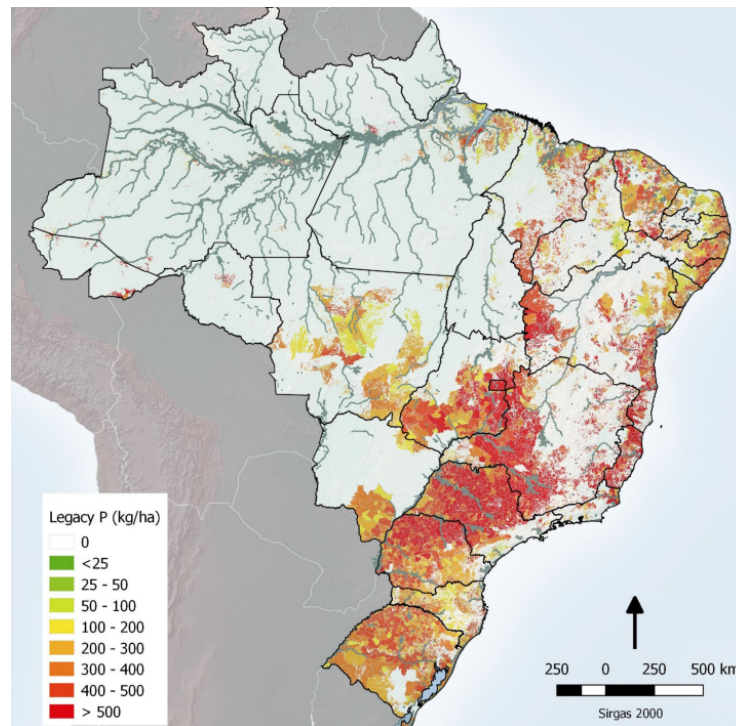
O fósforo é identificado como o segundo elemento que mais limita as produtividades em solos tropicais, principalmente devido à sua capacidade de formar compostos com elevada energia de ligação aos colóides. Essa característica facilita a adsorção do fósforo, tornando-o disponível para as plantas por meio da dessorção, contribuindo assim para sua disponibilidade às plantas (GATIBONI, 2003).

Em solos com baixa concentração de fósforo e alta capacidade de "fixação" desse nutriente, a aplicação na linha de plantio reduz o contato do fósforo liberado pelos fertilizantes com os sítios de adsorção presentes nos componentes do solo. Esse método, portanto, torna o fósforo proveniente dos fertilizantes mais prontamente disponível, favorecendo assim sua absorção pelas plantas (NOVAIS et al., 1999).

Os solos brasileiros apresentam um elevado grau de intemperismo, o que resulta em um baixo teor de fósforo disponível para as plantas devido às características do material de origem e à intensa interação do fósforo com o solo. Como consequência dessa baixa disponibilidade, há a necessidade de aplicação de altas doses de adubação fosfatada para suprir as demandas nutricionais das plantas (RAIJ, B. V. 1991).

Conforme Pavinato et al. (2020), o uso contínuo de fósforo nos solos brasileiros, especialmente em regiões voltadas para a produção de grãos, desde a década de 60, resultou em um acúmulo excessivo desse elemento, como ilustrado na Figura 1.

Figura 1. Teor de fósforo ( $\text{mg P kg}^{-1}$ ) acumulado nos solos do Brasil, no período de 1960 a 2016.



Fonte: Pavinato et al (2020).

## 2.6 *Macrophomina phaseolina*

O fungo *Macrophomina phaseolina* tem impacto negativo na produtividade de espécies vegetais de importância global. Este organismo é responsável por infectar e causar danos severos em culturas de grande relevância, tais como soja, milho, algodão, sorgo, girassol, entre outras. (ALMEIDA et al., 2014).

A doença, comumente denominada podridão-cinzenta, podridão-de-carvão ou podridão-de-*M. phaseolina*, é causada por esse patógeno de solo. Os sintomas visíveis em plantas infectadas são evidentes nos tecidos afetados, onde é possível observar a presença de numerosos microescleródios com tonalidades escuras, como preto, marrom ou cinza.(COSTA et al., 2019).

Figura 2. Microescleródios de *Macrophomina phaseolina* em raízes infectadas.



Fonte: Daniel Debona

A estrutura de resistência da *M. phaseolina* consiste nos microescleródios, que são formados pela compactação de hifas. Essa característica confere ao patógeno a capacidade de sobreviver no solo e em restos culturais por períodos prolongados, tornando-os a principal fonte de inóculo primário do fungo (ISHIKAWA et al., 2018).

Os microescleródios, presentes nos restos culturais das plantas, como caules e raízes, são liberados no solo ao longo do tempo. Essas estruturas são responsáveis por infectar novas plantas hospedeiras na região do caule e da raiz. No entanto, nem todos os microescleródios germinam e infectam simultaneamente. Essa característica cria um considerável potencial de inóculo ao longo de um período prolongado, resultando na infecção de plantas em diferentes estágios fenológicos, tanto vegetativo quanto reprodutivo (ALMEIDA et al., 2014). Após a infecção pelos microescleródios, as plantas infectadas exibem sintomas tanto na área foliar quanto no caule, resultado da produção de toxinas pelo fungo e da obstrução dos vasos do xilema na planta hospedeira. Esse processo reduz a translocação de solutos inorgânicos, ocasionando uma diminuição na produtividade da planta e, eventualmente, levando à sua morte (ISLAM et al., 2012).

Este patógeno tende a se manifestar com maior frequência e intensidade durante o estágio reprodutivo das plantas, representando um momento crítico com maior potencial de causar danos significativos à cultura. Essa manifestação é especialmente pronunciada em ambientes sujeitos a estresse hídrico e com médias de temperatura elevadas (MICHEREFF et al., 2005). Outro fator relevante a ser considerado na

prevalência da infecção do patógeno nas plantas hospedeiras é o sistema de manejo adotado no local. Em áreas onde ocorre compactação do solo e baixa infiltração hídrica, criando condições de maior estresse para as plantas, um ambiente propício é proporcionado para o desenvolvimento do patógeno, especialmente nas áreas radiculares e caules das plantas hospedeiras (LODHA; MAWAR, 2020).

### 3 MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Santa Helena, Estado do Paraná, nas safras 2020/2021 e 2021/2022. O tipo de solo que predomina na região é o Latossolo Vermelho Distrófico (SANTOS et al., 2018), e o clima é classificado como Cfa, subtropical úmido (com verão quente) sem estação seca definida, com temperatura média anual entre 20°C e 22°C, conforme Koppen (FREITAS, 2016).

A semeadura foi realizada nos dias 24 e 28 de outubro de 2020 e 2021, respectivamente, com uma semeadora adubadora mecânica, na densidade de semeadura de 280 mil sementes ha<sup>-1</sup>, visando uma população final de 250 mil plantas ha<sup>-1</sup>. O espaçamento entre linhas foi de 0,5 m. Quinze dias antes da semeadura, a área foi dessecada como o herbicida glifosato (Shadow, Albaugh, São Paulo, SP) na dose de 2 L do produto comercial ha<sup>-1</sup>. Também foi realizada uma aplicação do herbicida em pós-emergência, no estágio V2 (Fehr & Caviness, 1977), para o controle de plantas daninhas. O controle de pragas (lagartas e percevejos) foi realizado nos estádios R4 e R5.1 (Fehr & Caviness, 1977) por meio da aplicação do inseticida tiametoxam + lambda-cialotrina (Platinum Neo, Syngenta Proteção de Cultivos, Paulínia, SP) na dose 0,15 L do produto comercial ha<sup>-1</sup>.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com quatro repetições. Na safra 2020/2021, o experimento consistiu em um arranjo tetra-fatorial 2 × 3 × 2 × 2, com quatro repetições. Esse arranjo incluiu duas cultivares (M5947 IPRO e 96Y90 IPRO), variação no número de aplicações de fungicidas (zero, duas ou quatro aplicações de fungicida), presença ou ausência de fertilizante químico, presença ou ausência de inoculação com *Bacillus megaterium* + *Bacillus subtilis* e a combinação de fertilizante + inoculação. Na safra 2021/2022, o experimento foi arranjado em esquema tri-fatorial 2 × 2 × 2. Foram utilizadas duas cultivares de soja (M5947 IPRO e 96Y90 IPRO), com ou sem fertilizante químico, na presença ou ausência do tratamento de



sementes com *B. megaterium* + *B. subtilis*. Nos tratamentos que receberam adubação química, a mesma foi aplicada na semeadura, na dose de 300 kg ha<sup>-1</sup> (NPK, 02-20-18).

Para a semeadura, um quilograma de sementes foi pesado para cada tratamento e colocados em sacos plásticos de cinco quilogramas. Nos tratamentos com inoculação de *Bacillus*, as sementes foram inoculadas 30 minutos antes da semeadura. O inoculante utilizado foi o produto comercial BiomaPhos<sup>®</sup>, com as cepas BRM 119 (*Bacillus megaterium*) e BRM 2084 (*Bacillus subtilis*), com concentração de 4x10<sup>9</sup> células viáveis mL<sup>-1</sup> e densidade de 1,01 g mL<sup>-1</sup>; O inoculante foi dosado (2 mL L<sup>-1</sup> do produto) e transferido para um béquer. O volume final foi completado para 6 mL. Em seguida, a calda foi adicionada aos sacos plásticos e agitados até que o a completa homogeneização. No tratamento sem *Bacillus*, as sementes foram tratadas com água (6 mL).

Na safra 2020/2021 os tratamentos na parte aérea consistiram em um controle sem fungicida (aplicação de água) e duas ou quatro aplicações de fungicida. As aplicações de fungicida foram realizadas aos 65 e 80 dias após a emergência (DAE) para o tratamento com duas aplicações e aos 35, 50, 65 e 80 DAE para o tratamento com quatro aplicações de fungicida. Para ambos os tratamentos, foram utilizados os fungicidas picoxistrobina + ciproconazol (Approach Prima, Corteva Agriscience, Barueri, SP) + mancozebe (UnizebGold, UPL, Ituverava, SP) nas doses de 0,3 L e 1,5 kg do produto comercial ha<sup>-1</sup>, respectivamente, acrescidos de 0,5% de óleo mineral (Nimbus, Syngenta Proteção de cultivos, Paulínia, SP) nas aplicações realizadas aos 65 e 80 DAE. Para o tratamento com quatro aplicações, os fungicidas usados nas aplicações realizadas aos 35 e 50 DAE foram picoxistrobina + benzovindiflupir (Vessarya, Corteva Agriscience, Barueri, SP) + mancozebe (Unizeb Gold, UPL, Ituverava, SP) nas doses de 0,6 L e 1,5 kg do produto comercial ha<sup>-1</sup>, respectivamente. As aplicações em ambas as safras foram realizadas com um pulverizador costal pressurizado a CO<sub>2</sub> com seis pontas de pulverização ADI 110 015 (Jacto, Pompeia, SP) espaçadas 0,5 m entre si, pulverizando numa vazão de 100 L ha<sup>-1</sup>.

Cada unidade experimental consistiu em seis linhas de semeadura espaçadas em 0,5 m, com cinco metros de comprimento. Para as avaliações de doença e de

produtividade foram consideradas apenas as quatro linhas centrais, descartando-se 0,5 m de bordadura.

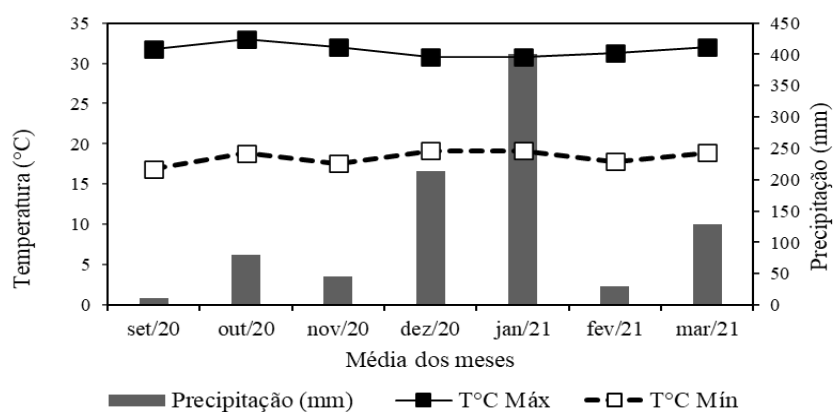
A produtividade foi avaliada nas safras 2020/21 e 2021/22. Para as avaliações de produtividade foram consideradas quatro linhas centrais, descartando-se 0,5 m de bordadura. Essas plantas foram cortadas e trilhadas quando atingiram o estágio R8 (Fehr & Caviness, 1977). As amostras dos grãos foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para o laboratório, onde foi realizada a pesagem em balança com precisão de 0,01 g, bem como, a análise do teor de umidade do grão, para isso, foi utilizado o medidor de umidade de grãos portátil AL-102 ECO. Após ligarmos o aparelho, escolhemos o tipo de grãos a ser analisado, o próximo passo consiste em despejar os grãos no copo do equipamento, aguardar alguns segundos para o resultado da umidade, foi corrigido os dados de todas as cultivares para 13% de teor de umidade do grão.

Na safra 2021/22, devido ao longo período de deficiência hídrica e altas temperaturas, foram observados sintomas da podridão de carvão. Dessa forma, foi realizada a avaliação da incidência da doença (%) foi computada em 60 plantas nas quatro linhas centrais (15 plantas por linha) de cada parcela.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ), utilizando o software Minitab.

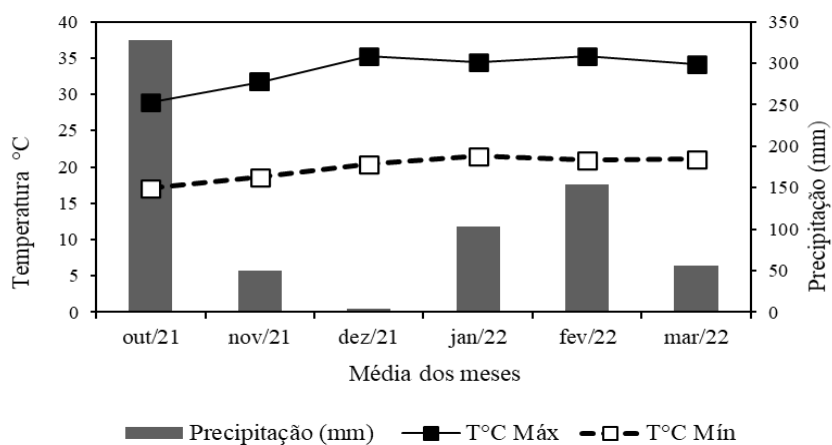
Houve grande variação nas condições ambientais entre as safras. Na safra 2020/2021 houve grande quantidade de chuvas e, no mês de janeiro foram 15 dias de chuvas intensas. A temperatura variou de 16 a 34°C , como ilustrado na (Figura 3).

Figura 3. Dados meteorológicos da safra 2020/2021.



Na safra 2021/2022, houve muitos dias quentes com temperaturas acima de 35°C, baixa precipitação, ficando praticamente 60 dias sem chuvas significativas (Figura 4).

Figura 4. Dados meteorológicos da safra 2021/2022.



#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na safra 2020/2021, houve efeito significativo ( $P = 0,03$ ) da interação entre os fatores cultivar, fertilizante, *Bacillus* e fungicida para a produtividade (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância para a variável produtividade na safra 2020/21.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Valor de F
Cultivar (C)	1	568,75**
Fertilizante (F)	1	317,77**
<i>Bacillus</i> (B)	1	546,00**
Aplicação de fungicida (A)	2	226,32**
C × F	1	45,86**
C × B	1	89,78**
C × A	2	16,32**
F × B	1	3,82 <sup>ns</sup>
F × A	2	3,13 <sup>ns</sup>
B × A	2	5,31**
C × F × B	1	1,39 <sup>ns</sup>
C × F × A	2	5,44**
C × B × A	2	4,01*
F × B × A	2	14,74**
C × F × B × A	2	3,61*

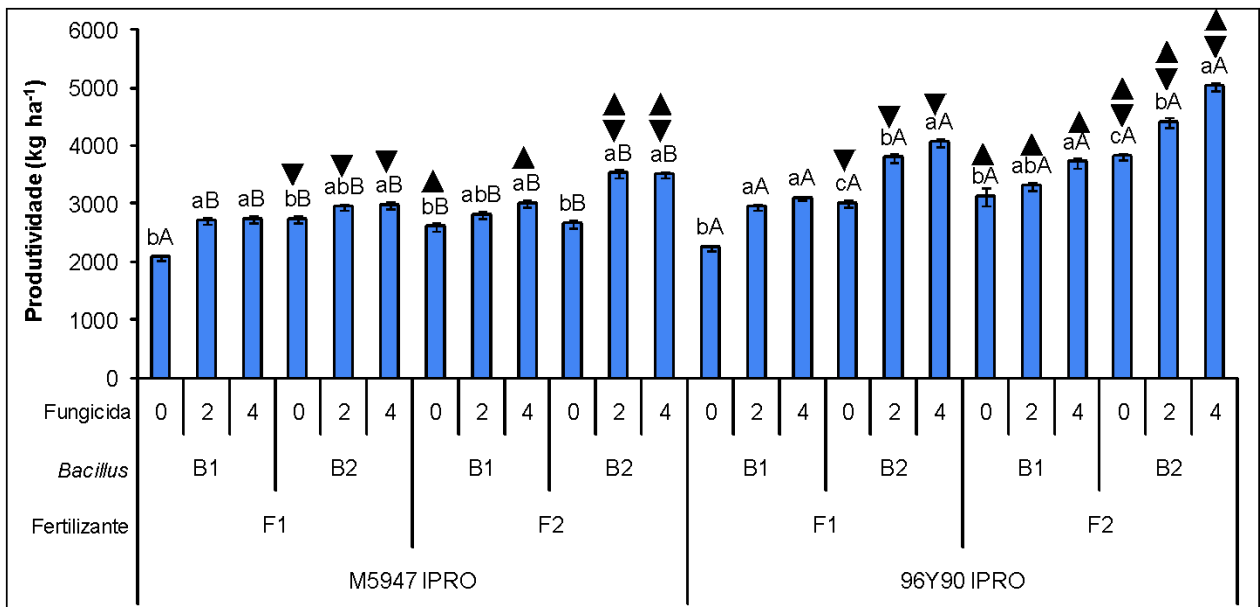
<sup>ns</sup> = não significativo; \* = significativo a 0,05; \*\* = significativo a 0,001.

A produtividade da cultivar 96Y90 IPRO foi maior do que a da M5947 IPRO para todos os tratamentos, exceto no tratamento sem fungicida, sem fertilizante (F1) e sem *Bacillus* (B1), no qual não houve diferenças significativas entre as cultivares (Figura 5). A cultivar 96Y90 produziu 3557 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto a cultivar M5947 IPRO produziu 2870 kg ha<sup>-1</sup> na média de todos os tratamentos.

A aplicação de fertilizante aumentou significativamente a produtividade da cultivar M5947 IPRO nos tratamentos sem *Bacillus* com zero e quatro aplicações de fungicida e nos tratamentos com *Bacillus* (B2) com duas e quatro aplicações de fungicida (Figura 5). A produtividade foi aumentada em 579 e 519 kg ha<sup>-1</sup> no tratamento F2 em relação ao F1 na presença de *Bacillus* (B2) quando foram realizadas duas e quatro aplicações de fungicidas. Para cultivar 96Y90 IPRO, o tratamento F2 resultou em

aumento significativo na produtividade em relação ao F1, independentemente de *Bacillus* e do número de aplicações de fungicidas. Na ausência de *Bacillus* (B1), a aplicação do fertilizante aumentou em 870, 366, 620 kg ha<sup>-1</sup> para os tratamentos com zero, duas e quatro aplicações de fungicida, respectivamente, enquanto que aumentos de 810, 620 e 968 kg ha<sup>-1</sup> foram observados na presença de *Bacillus* (B2).

Figura 5. Produtividade (kg ha<sup>-1</sup>) das cultivares de soja M5947 IPRO e 96Y90 IPRO em função do número de aplicação de fungicidas (0, 2 ou 4), sem (B1) e com (B2) o tratamento de sementes com *Bacillus megaterium* + *B subtilis* (*Bacillus*), na ausência (F1) e na presença (F2) da aplicação de fertilizante NPK (02-20-18, 300 kg ha<sup>-1</sup>) na safra 2020/2021.



As letras maiúsculas comparam as médias das cultivares em cada nível dos fungicidas, fertilizante e do tratamento de sementes com *Bacillus*. As letras minúsculas comparam as médias do número de aplicação de fungicidas (0, 2 ou 4) para cada nível do fertilizante, do tratamento de sementes com *Bacillus* e cultivar. Colunas seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa de acordo com o teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). As setas para baixo ( $\blacktriangledown$ ) e para cima ( $\blacktriangle$ ) indicam diferenças significativas com e sem tratamento de sementes e com e sem aplicação do fertilizante, respectivamente, de acordo com o teste de Tukey  $P \leq 0,05$ ). As barras representam o erro padrão da média.

A produtividade foi significativamente aumentada devido ao tratamento de sementes com *Bacillus* (B2) em todos os tratamentos foliares, níveis de fertilizante e cultivar de soja, com exceção da M5947 IPRO no tratamento sem fungicida e com

fertilizante (F2) (Figura 5). O tratamento de sementes com *Bacillus* resultou em aumentos na produtividade que variaram entre 241 e 712 kg ha<sup>-1</sup> para a cultivar M5947 IPRO, e de 699 e 1310 kg ha<sup>-1</sup>, para a cultivar 96Y90 IPRO, comparado à ausência de *Bacillus* (B1).

Consistente com os resultados observados neste estudo, tem sido relatado que a presença de microrganismos benéficos, como *B. subtilis*, pode propiciar benefícios ao desenvolvimento da cultura da soja, contribuindo para estimular o aumento da produtividade. Esses microrganismos, ao interagirem positivamente com as plantas, podem promover um melhor desempenho ao controlar patógenos, estimular o crescimento, melhorar a absorção de nutrientes e fortalecer a resistência ao estresse, entre outros fatores (MIRANDA et al., 2020). Em resumo, a aplicação controlada desses microrganismos pode representar uma estratégia eficiente e sustentável para otimizar a produção de soja.

De modo geral, duas e quatro aplicações de fungicida resultaram em aumento significativo na produtividade da soja (Figura 5). Entretanto, não foram observadas diferenças significativas entre duas e quatro aplicações de fungicida para a cultivar M5947 IPRO, independentemente dos níveis de fertilizante e de *Bacillus*. O aumento na produtividade devido à aplicação de fungicida variou entre 208 e 865 kg ha<sup>-1</sup>. Para a cultivar 96Y90 IPRO, não houve diferença entre duas e quatro aplicações de fungicida para os tratamentos F1 e F2 na ausência de *Bacillus* (B1). Por outro lado, na presença de *Bacillus* (B2) a produtividade foi maior no tratamento com quatro aplicações de fungicida em relação ao tratamento com duas aplicações, com aumentos de 1046 e de 1204 kg ha<sup>-1</sup> em relação ao controle sem fungicida nos tratamentos sem (F1) e com (F2) fertilizante, respectivamente.

As cultivares de soja representam um dos principais fatores que influenciam na resposta à aplicação de fungicidas (EDWARDS MOLINA et al., 2019). Essa observação enfatiza a importância da escolha cuidadosa das cultivares na eficácia e no desempenho dos fungicidas. Portanto, a consideração da interação específica entre cultivares e fungicidas é crucial.

A interação tripla dos fatores cultivar, *Bacillus* e fertilizante foi significativa ( $P = 0,02$ ) para a incidência da podridão de carvão.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para a variável incidência da doença (%) na safra 2021/22.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Valor de F
Cultivar (C)	1	891,53**
Fertilizante (F)	1	219,95**
<i>Bacillus</i> (B)	1	436,99**
C × F	1	16,41**
C × B	1	22,52**
F × B	1	4,24 <sup>ns</sup>
C × F × B	1	5,92*

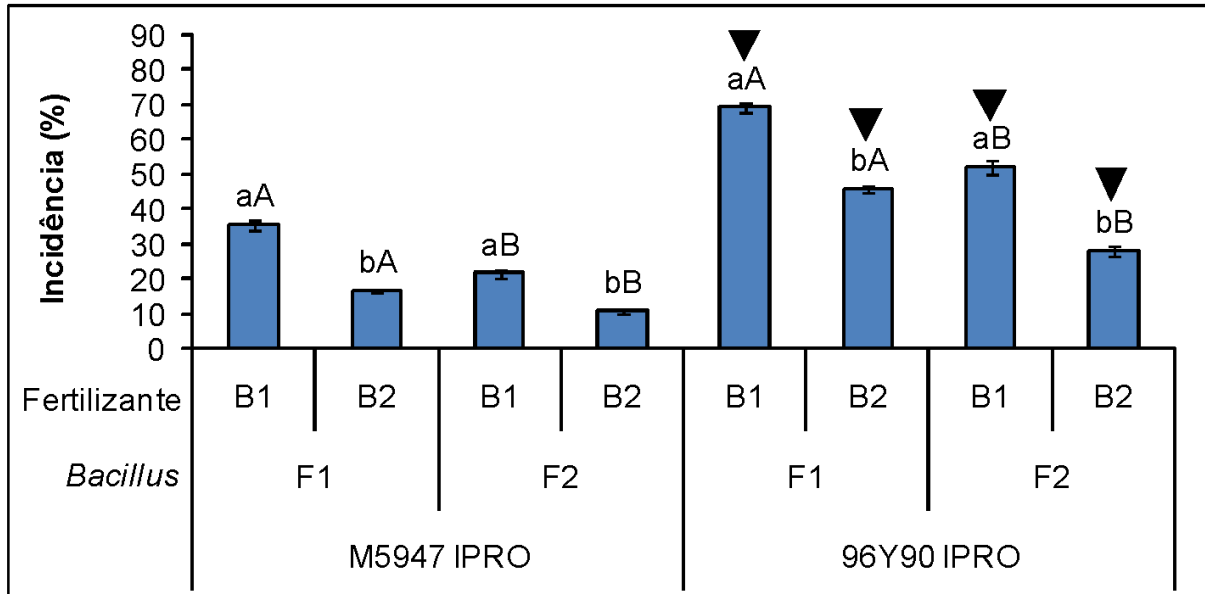
<sup>ns</sup> = não significativo; \* = significativo a 0,05; \*\* = significativo a 0,001.

A incidência da doença foi maior na cultivar 96Y90 IPRO do que na M5947 IPRO em ambos os níveis dos fatores fertilizante e *Bacillus* (Figura 6). Houve reduções de 48 e 58, 63 e 61% na incidência da doença na cultivar M5947 IPRO em relação à 96Y90 IPRO nos tratamentos sem (F1) e com (F2) fertilizante na ausência (B1) e na presença (B2) de *Bacillus*, respectivamente. Esses resultados são consistentes com observações prévias feitas na literatura sobre a variação na resposta de cultivares de soja à inoculação com *M. phaseolina* (CRUCIOL et al., 2018).

Houve diferença significativa na incidência da doença entre a aplicação (F2) ou não (F1) do fertilizante tanto na presença quanto na ausência de *Bacillus* nas duas cultivares de soja (Figura 6). A aplicação do fertilizante (F2) reduziu em 39 e 35% a incidência da doença nos tratamentos B1 e B2, respectivamente, para a cultivar M5947 IPRO. Para cultivar 96Y90 IPRO, a incidência da doença no tratamento F2 foi 25 e 39% menor do que no F1 para B1 e B2, respectivamente.

O tratamento de sementes com *Bacillus* reduziu significativamente a incidência da podridão de carvão nos tratamentos F1 e F2 e nas duas cultivares de soja (Figura 6). A incidência da doença foi 53 e 50% menor no tratamento B2 do que no B1 sem (F1) e com (F2) aplicação do fertilizante, respectivamente, para a cultivar M5947 IPRO. Para a cultivar 96YPRO, o tratamento de sementes com *Bacillus* reduziu em 34 e 46% a incidência da doença nos tratamentos F1 e F2, respectivamente.

Figura 6. Incidência (%) da podridão de carvão nas cultivares de soja M5947 IPRO e 96Y90 IPRO sem (B1) e com (B2) o tratamento de sementes com *Bacillus megaterium* + *B subtilis* (*Bacillus*) na ausência (F1) e na presença (F2) da aplicação de fertilizante NPK (02-20-18, 300 kg ha<sup>-1</sup>) na safra 2021/2022.



As letras maiúsculas comparam as médias dos tratamentos dos tratamentos sem (F1) e com (F2) fertilizante para cada nível do tratamento de sementes com *Bacillus* e cultivar. As letras minúsculas comparam as médias do tratamento de sementes sem (B1) e com (B2) *Bacillus* para cada nível do fertilizante e cultivar. Colunas seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa de acordo com o teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). As setas para baixo ( $\blacktriangledown$ ) indicam diferenças significativas entre as cultivares para cada nível do fertilizante e tratamento de sementes de acordo com o teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). As barras representam o erro padrão da média.

A interação tripla dos fatores cultivar, *Bacillus* e fertilizante foi significativa ( $P = 0,02$ ) para a produtividade na safra 2021/22.

A produtividade foi maior na cultivar M5947 IPRO do que na 96Y90 IPRO, com diferenças que variaram entre 493 e 575 kg ha<sup>-1</sup>, dependendo do nível do fertilizante e de *Bacillus* (Figura 7).



Tabela 3. Resumo da análise de variância para a produtividade (kg ha<sup>-1</sup>) na safra 2021/22.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Valor de F
Cultivar (C)	1	1473,63**
Fertilizante (F)	1	81,06**
<i>Bacillus</i> (B)	1	168,89**
C × F	1	0,76 <sup>ns</sup>
C × B	1	0,19 <sup>ns</sup>
F × B	1	2,27 <sup>ns</sup>
C × F × B	1	5,95*

<sup>ns</sup> = não significativo; \* = significativo a 0,05; \*\* = significativo a 0,001.

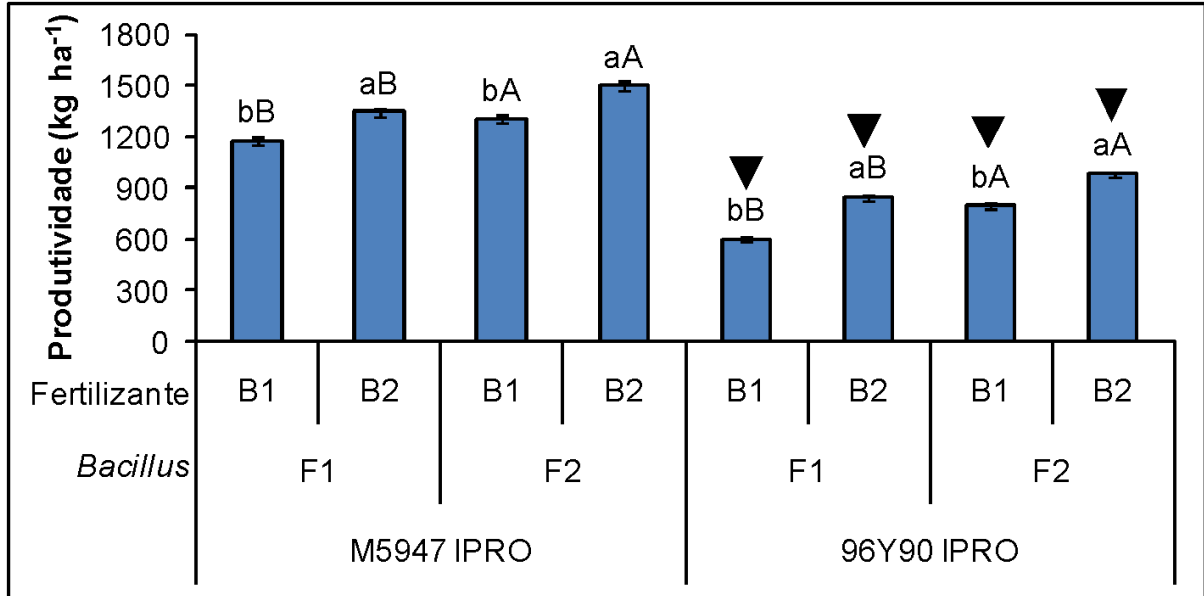
Aumentos na produtividade foram observados devido ao tratamento de sementes com *Bacillus* nos dois níveis do fertilizante e para ambas as cultivares. A produtividade foi maior em 166 e 192 kg ha<sup>-1</sup> no tratamento B2 em relação ao B1 sem (F1) e com (F2) a aplicação do fertilizante, respectivamente, para cultivar M5947 IPRO (Figura 7). Para cultivar 96Y90 IPRO, o uso de *Bacillus* promoveu incremento de 248 e 185 kg ha<sup>-1</sup> nos tratamentos F1 e F2, respectivamente.

De modo consistente com os resultados encontrados no presente trabalho, a inoculação de bactérias do gênero *Bacillus sp.* em soja resultou em aumento na produtividade de grãos, especialmente em co-inoculações (Araújo et al., 1999). Essa observação sugere que a presença e a interação dos microrganismos do gênero *Bacillus* contribuíram positivamente para o rendimento da cultura da soja.

De acordo com Oliveira et al. (2020), que realizaram 181 unidades de observação com a inoculação com *B. megaterium* e *B. subtilis* plantações de soja nas safras 2018/2019 e 2019/2020, observou-se que, em todas as lavouras avaliadas, a produção foi mais elevada nas áreas submetidas à inoculação. Esses resultados corroboram os do presente trabalho, em que, na maioria dos casos, houve aumento da produtividade da soja devido ao tratamento de sementes com *B. megaterium* e *B. subtilis*.

A aplicação de fertilizante influenciou significativamente a produtividade da soja. O tratamento F2 aumentou a produtividade em 127 e 154 kg ha<sup>-1</sup> para a cultivar M5947 IPRO e em 197 e 134 kg ha<sup>-1</sup> para a cultivar 96Y90 IPRO em relação ao F1 na ausência (B1) e na presença (B2) de *Bacillus* (Figura 7).

Figura 7. Produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) das cultivares de soja M5947 IPRO e 96Y90 IPRO sem (B1) e com (B2) o tratamento de sementes com *Bacillus megaterium* + *B subtilis* (*Bacillus*) na ausência (F1) e na presença (F2) da aplicação de fertilizante NPK (02-20-18,  $300 \text{ kg ha}^{-1}$ ) na safra 2021/2022.



As letras maiúsculas comparam as médias dos tratamentos dos tratamentos sem (F1) e com (F2) fertilizante para cada nível do tratamento de sementes com *Bacillus* e cultivar. As letras minúsculas comparam as médias do tratamento de sementes sem (B1) e com (B2) *Bacillus* para cada nível do fertilizante e cultivar. Colunas seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa de acordo com o teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). As setas para baixo ( ▼ ) indicam diferenças significativas entre as cultivares para cada nível do fertilizante e tratamento de sementes de acordo com o teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). As barras representam o erro padrão da média.

## **5 CONCLUSÃO**

A aplicação de fungicidas é essencial para a proteção do potencial produtivo da soja, especialmente para a cultivar 96Y90 IPRO sob aplicação de fertilizante e das bactérias solubilizadoras de P.

A combinação de cultivares moderadamente resistentes à podridão de carvão com o uso de fertilizante químico e o tratamento de sementes com bactérias solubilizadoras de P controla a podridão de carvão e aumenta a produtividade da soja.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, F. F., HUNGRIA, M. 1999. Nodulação e rendimento de soja co-infectada com *Bacillus subtilis* e *Bradyrhizobium japonicum* / *Bradyrhizobium elkanii*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999000900014>.
- ALMEIDA, A. M, R., et al. **Macrophomina phaseolina na soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2014.
- BAHADIR, A. et al. Protective effects of curcumin and beta-carotene on cisplatin-induced cardiotoxicity: an experimental rat model. **Anatolian Journal of Cardiology**, v. 19, n. 3, p. 213-221, 2018.
- CÂMARA, G., D., S. **Introdução ao agronegócio soja**. Piracicaba: USP/ESALQ. 2015.
- CÂMARA, G.M.S.; HEIFFIG, L.S. Fisiologia, ambiente e rendimento da cultura da soja, In: CÂMARA, G.M.S.; HEIFFIG, L.S. **Soja: tecnologia da produção II**. Piracicaba: ESALQ/LPV, 2000. p. 81– 120.
- CHAGAS JUNIOR, A. F. *Bacillus* sp. como promotor de crescimento em soja *Bacillus* sp. **Revista de Ciências Agrárias**. 2021.
- CRUCIOL, G.C.D.; COSTA, M.L.N. Influência de metodologias de inoculação de *Macrophomina phaseolina* no desempenho de cultivares de soja. **Summa Phytopathologica**, v.44, n.1, p.32-37, 2018.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Com novo recorde, produção de grãos na safra 2022/23 chega a 322,8 milhões de toneladas**. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5157-com-novo-recorde-producao-de-graos-na-safra-2022-23-chega-a-322-8-milhoes-de-toneladas>.
- DALL'AGNOL, A. A. **Embrapa Soja no contexto do desenvolvimento da soja no Brasil: história e contribuições**. Brasília: Embrapa, p. 72, 2016.
- EDWARDS MOLINA, J. P. et al. Effect of target spot on soybean yield and factors affecting this relationship. **Plant Pathology**, v. 68, n. 1, p. 107–115, 1 jan. 2019.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – 2011. **Tecnologias de produção de soja** – região central do Brasil 2012 e 2013. Londrina: Embrapa Soja. 262 p., 2015.
- FREITAS, M. M. S. **Clima do Paraná**. 2016. Disponível em: <http://www.geografia.seed.pr.gov.br/modules/galeria/detalhe.php?foto=1570&evento=8>.

- GADD, G. Fungal production of citric and oxalic acid: importance of metal specification, physiology and biochemical processes. **Advances Microbial Physiology**, 41:47-92, 1999.
- GAHOONIA TS; RAZA S & NIELSEN NE (1994). Phosphorus de Pletion in the Rizosphere as Influenced by Soil Moisture. **Plant And Soil**, 159. 213-218.
- GATIBONI, L. C. et al. Fracionamento químico das formas de fósforo do solo: usos e limitações. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v.8, p.141-187, 2013.
- GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 2003. 247 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), 2003.
- GAZZONI, D. L. A soja no Brasil é movida por inovações tecnológicas. **Cienc. Cult.**, São Paulo, v. 70, n. 3, p. 16-18, julho de 2018.
- GIOVELLI, J.; TABALDI, L. A. Inoculação de Sementes por *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) e *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) no Crescimento e Desenvolvimento de Plantas de Soja. **Ensaio e Ciência**, [S.l.], 2022. Disponível em: <<https://ensaioseciencia.pgsscogna.com.br/ensaioeciencia/article/view/9955>>. Acesso em: 16/10/2023.
- HYMOWITZ, T. On the domestication of the soybean. **Economic Botany**, v. 24, n. 4, 1970.
- ISHIKAWA, M. S. et al. Seleção de cultivares de soja para resistência à podridão negra da raiz (*Macrophomina phaseolina*). **Summa Phytopathologica**, v. 44, n. 1, p. 38-44, 2018.
- ISLAM, S. et al. Tools to kill: Genome of one of the most destructive plant pathogenic fungi *Macrophomina phaseolina*. **BMC Genomics** v. 13, p.493-509, 2012.
- JACCOUD-FILHO, D. S., et al. Doenças do caule e do sistema radicular na cultura da soja. Rondonópolis: entrelinhas, p. 174-188, 2020. (Boletim de Pesquisa 2019/2020).
- JUNIOR, A. F. C.; et al. **Bacillus sp. como promotor de crescimento em soja** **Bacillus sp.** Revista de Ciências, 2021. Disponível em: <<https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/22557>>. Acesso em: 15/09/2023.
- LARSSSEN, J. E. D. Inoculação de *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis* e *Azospirillum brasilense* na cultura da soja em sistema de plantio direto no sul do Brasil. 2021. Disponível em: <[https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/2654/28328\\_trabalho\\_de\\_conclusao\\_de\\_curso\\_joao\\_larssen.pdf?sequence=1](https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/2654/28328_trabalho_de_conclusao_de_curso_joao_larssen.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 12/09/2023.
- LODHA, S.; MAWAR, R. Population dynamics of *Macrophomina phaseolina* in relation to disease management: A review. **Journal of Phytopathology**. v. 168, p. 1-17, 2020.

LÓPEZ-BUCIO J., et al. Phosphate availability alters architecture and causes changes in hormone sensitivity in the Arabidopsis root system. **Plant Physiol** 2002, 129:244-256.

MATUCZAK, S. **Inoculação com Bacillus subtilis, Bacillus megaterium, Rhizobium tropici e Trichoderma harzianum em sementes de feijão**. 2023. Disponível em: <<http://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/32220>>. Acesso em: 16/09/2023.

MICHEREFF, S. J.; et al. **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, p. 398, 2005.

MIRANDA, L.B.; et al. 2020. Promotores de crescimento na cultura da soja Growth promoters in soybean crop. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, 7(2), 469–479.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa–MG: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

OLIVEIRA, C. A.; et al. **Recomendação agrônômica de cepas de Bacillus subtilis (CNPMS B2084) e Bacillus megaterium (CNPMS B119) na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 18 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 260).

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; et al. **Validação da recomendação para o uso do inoculante BiomaPhos® (Bacillus subtilis CNPMS B2084 e Bacillus megaterium CNPMS B119) na cultura de soja**. 2021. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1135679>>. Acesso em: 12/09/2023.

OLIVEIRA, C.C.; et al. 2020. **Viabilidade Técnica e Econômica do Biomaphos® (Bacillus subtilis CNPMS B2084 e Bacillus megaterium CNPMS B119) nas Culturas de Milho e Soja**. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, MG. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/217542/1/Bol-210.pdf>

PAVINATO, P. S.; et al. **Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in Brazil**. *Sci Rep* 10, 15615 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72302-1>.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991.

ROCHA, M. **Inoculação de Azospirillum brasilense, Bacillus megaterium e Bacillus subtilis na cultura do trigo no Noroeste do estado do Rio Grande do Sul**. Repositório UERGS, 2022. Disponível em: <[https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/2655/28329\\_trabalho\\_de\\_conclusao\\_de\\_curso\\_matheus\\_rocha.pdf?sequence=1](https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/2655/28329_trabalho_de_conclusao_de_curso_matheus_rocha.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 11/10/2023.

RSHAD, U.; et al. Phosphorus acquisition from phytate depends on efficient bacterial grazing, irrespective of the mycorrhizal status of Pinus pinaster. *Plant and Soil*, v. 321, p.

213-233, 2012. OWEN, D.; et al Use of commercial bioinoculants to increase agricultural production through improved phosphorous acquisition. **Applied Soil Ecology**, v. 86, p. 41-54, 2015.

SANTOS, A. F.; et al. Biometria e estado nutricional da cultura da aveia branca (*Avena sativa* L.) sob inoculação com *Bacillus subtilis* e *B. megaterium*. **Research, Society and Development**, [S.l.], v. 10, n. 4, p. e35210415270, 2021. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15270>>. Acesso em: 16/09/2023.

SANTOS, H. G., et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003>. Acesso em: 13 dez. 2023.

SANTOS, M. F. **Mapeamento de QTL e expressão gênica associados a resistência da soja ao complexo de percevejos**. 2012. 119 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramentos de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

SCHUH, T. R. **Avaliação do uso de microrganismos solubilizadores de fósforo na cultura da soja sob diferentes níveis de adubação**. 2023. Disponível em: <<https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/7067>>. Acesso em: 12/09/2023.

SILVA, K. R. C.; SOUSA, L. A. M. *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* no crescimento inicial de melancia 'Sugar Baby'. **Research, Society and Development**, [S.l.], v. 11, n. 1, p. e111135034, 2022. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/35034>>. Acesso em: 12/09/2023.

SOUSA, R. V. **Uso de *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis* na cultura do trigo**. 2023. Disponível em: <<https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/6738>>. Acesso em: 22/09/2023.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 526p.

WITHELAW, M.A. Growth promotion of plants inoculated with phosphate-solubilizing fungi. **Advances in Agronomy**, 69:99-151, 2000.