

**UNIVERSIDADE DE SOROCABA
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO E ASSUNTOS ESTUDANTIS CURSO DE
ENGENHARIA AGRONÔMICA**

Bruno Massami Okamura

USO DE *BACILLUS ARYABHATAI* NA CULTURA DO MILHO (*ZEA MAYS*)

**Sorocaba/SP
2023**

Bruno Massami Okamura;

USO DE *BACILLUS ARYABHATTAI* NA CULTURA DO MILHO (*ZEA MAYS*)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do Diploma de Graduação em Engenharia Agrônômica, da Universidade de Sorocaba.

Orientadora: Professora Doutora
Manuella Nóbrega Dourado Ribeiro

**Sorocaba/SP
2023**

Bruno Massami Okamura;

USO DE *BACILLUS ARYABHATAI* NA CULTURA DO MILHO (*ZEA MAYS*)

Trabalho de Conclusão de Curso Aprovado
como requisito parcial para obtenção do
Diploma de Graduação em Engenharia
Agrônômica, da Universidade de
Sorocaba.

Aprovado em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA:

Prof.(a) Dr.(a) Bertha Devora Agurto Berdejo de Castro
Orientadora Universidade de Sorocaba

Prof.(a) Ms.(a) Paula Castanho Borges
Examinadora Universidade de Sorocaba

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por minha saúde e de todos os membros de minha família, por me fortalecerem nos momentos de dificuldades pelo decorrer do curso e pela sabedoria e força de vontade que m transmitiram para conclusão desse trabalho.

Agradecimentos mais que especiais a minha noiva que zelo e me deu total apoio desde o primeiro momento que decidi minha formação acadêmica.

A todos os professores e coordenadores desse curso que dividiram entre todos os alunos seus conhecimentos e experiências, em especial à professora Manuella Nóbrega Dourado Ribeiro pela orientação e correção deste trabalho.

Jamais poderíamos esquecer-nos, também, das amizades realizadas ao longo desta graduação que, além do incentivo, somaram em meu desenvolvimento pessoal e profissional, visto que levarei para o resto de minha vida.

E, ao sistema educacional da Universidade de Sorocaba, os meus singelos agradecimentos.

RESUMO

Durante a fase de desenvolvimento, as plantas, independente da cultura, podem contar com o auxílio de microrganismos, que ajudam na disponibilidade de nutrientes ou no metabolismo de algumas moléculas. A rizobactéria *Bacillus aryabhatai* é um exemplo destes microrganismos, trazendo como benefício às culturas que são inoculadas com esta rizobactéria a resistência ao estresse hídrico. A utilização desta rizobactéria pode representar uma alternativa importante e sustentável para a melhoria na produção de plantas cultivadas. Assim, este projeto teve como principal objetivo experimentar o uso desta rizobactéria na cultura do milho, e analisar as melhorias que o microrganismo pode oferecer. Nas quais, são elas: a capacidade de absorção das raízes, apresentando mais resistências às condições de estresses ambientais; auxílio na produção de polissacarídeos e maior captação de micronutrientes.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação e, assim, foi obtido total controle ambiental e melhor destinação de acordo com as condições adversas aos tratamentos. O período de realização durou cerca de três meses, entre Setembro a Novembro de 2022, e durante a sua condução foi analisado o desenvolvimento radicular da planta, diâmetro do colmo e por fim o peso da matéria fresca do milho por ser utilizado um milho com características para silagem. O resultado apresentou que o uso do *Bacillus aryabhatai* auxiliou no desenvolvimento do milho mesmo passando por altos índices de estresse gerados à cultura.

Palavras-chave: Plantas cultivadas, estresse hídrico, rizobactérias, *Bacillus aryabhatai*.

ABSTRACT

During a development phase, plants, regardless of the culture, can count on the help of microorganisms, which help in the availability of nutrients or in the metabolism of some. The rhizobacterium *Bacillus aryabhattai* is an example of these microorganisms, bringing resistance to water stress as a benefit to cultures that are inoculated with this rhizobacterium. The use of this rhizobacterium may represent an important and sustainable alternative for improving the production of cultivated plants. Thus, this project's main objective was to experiment with the use of this rhizobacterium in corn, and to analyze the improvements that the microorganism can offer. In which, they are: the absorptive capacity of the roots, presenting more resistance to the conditions of environmental stress; aid in the production of polysaccharides and greater uptake of micronutrients.

The experiment was treated in a greenhouse and, thus, total environmental control and better disposal were obtained according to the adverse conditions to the treatments. The duration period lasted about three months, from September to November 2022, and during its conduction, the root development of the plant, the interior of the stem and finally the weight of fresh matter of the corn were analyzed, since corn with characteristics for silage. The result showed that the use of *Bacillus aryabhattai* aided in the development of maize even when undergoing high levels of stress generated in the crop.

Keywords: Cultivated plants, water stress, rhizobacteria, *Bacillus aryabhattai*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Queda em produção na segunda safra (milho safrinha) decorrente a queda de índices pluviométricos	15
Figura 2 - Definição do potencial produtivo	16
Figura 3 - Divisão dos tratamentos.....	18
Figura 4 - Tratamento da semente	19
Figura 5 - Materiais utilizados para condução do experimento e obtenção dos dados.....	19
Figura 6 - Comparação aos outros tratamentos	21
Figura 7- Raízes dos tratamentos	22
Figura 8 - Diâmetro do colmo dos tratamentos.....	23

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Médias da massa fresca (MF) em gramas.	24
Gráfico 2 - Médias do comprimento da raiz (CR) em cm	25
Gráfico 3 - Médias do diâmetro do colmo (DC) em cm.	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Médias da massa fresca (MF) em gramas, do comprimento da raiz (CR) em cm e diâmetro do colmo (DR) em cm.	24
Tabela 2 - Dados brutos utilizados para a média dos resultados.....	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS.....	12
2.1 Objetivo geral	12
3 REVISÃO DE LITERATURA	13
3. 1. <i>Bacillus aryabhattai</i>.....	13
3.2 Milho.....	14
4 MATERIAS E MÉTODOS	18
5 RESULTADO E DISCUSSÃO	21
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial leva a uma maior demanda por alimentos, sendo necessário aumentar a produção de agrícola, para isto foram realizadas diferentes estratégias e pesquisas. Minimizar perdas seja na produção ou na pós-colheita, leva a um aumento da produção (LUGTENBERG, 2013).

Ambientalmente as oscilações climáticas são de difícil prevenção, as dificuldades hídricas levam a uma redução das produções, várias saídas têm sido levantadas para amenizar esses problemas. Dentre as alternativas para tentar diminuir as perdas devido a fatores abióticos são variedades mais resistentes a seca, tornando-se cada vez mais adotadas, integração com outras culturas agrícolas para que possa ter uma renda não tão variável em apenas uma cultura, e principalmente investimentos em irrigação (ONO et al., 1999).

Segundo Coelho (2000), a irrigação se dá hoje, como uma das principais maneiras para se passar por grandes dificuldades aos tempos de estiagem. Porém para se ter uma irrigação principalmente em grandes culturas como no caso do milho, se tem um alto investimento, o que acaba inviabilizando para os pequenos e médios produtores rurais.

A microbiota do solo é constituída por vários organismos que mantêm diversas relações com as plantas superiores, podendo elas ser nocivas ou benéficas às plantas. Exemplo de microrganismos com ação benéfica são as “rizobactérias” encontradas na rizosfera também conhecidas como bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs). Em sua associação com as raízes de plantas, além de promover o crescimento de plantas em condições abióticas de estresse, as BPCPs atuam também como agentes de controle biológico de fitopatógenos através de diversos mecanismos (ARAÚJO, 2008).

Os gêneros de bactérias mais encontrados, associadas a raízes de planta no solo são: *Aeromona*, *Azoarcus*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Enterobacter*, *Gluconacetobacter*, *Klebsiella*, *Pseudomonas* e *Serratia* (PODILE & KISHORE, 2007). Contudo, as bactérias do gênero *Bacillus* possuem elevado potencial como inoculantes em plantas por serem de fácil utilização e capazes de sobreviver tanto em solo como apresentam um maior tempo de prateleira (PODILE & KISHORE, 2007).

Segundo Lugtenberg (2013), existem bactérias tolerantes à seca que colonizam o sistema radicular das plantas sob estresse abiótico, elas produzem substâncias que hidratam as raízes, chamadas exopolissacarídeos. Uma dessas bactérias é o *Bacillus aryabhatai*, comercializada pela empresa brasileira NOOA, por meio do produto AURAS®. A empresa estima que essa nova tecnologia é adotada em 1% da área plantada de milho no Brasil durante a safra de inverno.

Segundo os estudos da empresa com a Embrapa Meio Ambiente, a produtividade aumenta entre seis e oito sacos de milho por hectare, em média, contra um investimento que gira ao redor de meio saco de milho por hectare. Apesar de seu uso comercial ser somente em milho, a intenção é ampliar o uso do produto para outras culturas, como soja e trigo.

Vendo a preocupação constante dos produtores da região de Sorocaba para redução de perdas, pensando nisso, esse estudo analisou o uso de *Bacillus aryabhatai* na cultura do milho. Assim, o uso do bioinsumo foi testado na cultura do milho como uma alternativa a tolerância a seca para os produtores, apontando suas vantagens e desvantagens e seus custos de aplicação.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar os efeitos da inoculação do bioinsumo a base de *Bacillus aryabhattai* nas fases vegetativas iniciais do milho com e sem estresse hídrico.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 *Bacillus aryabhatai*

Identificado pela primeira vez em 2009, o *Bacillus aryabhatai* é um microrganismo promotor de crescimento de plantas que tem demonstrado um amplo potencial nos sistemas agrícolas (CHOWDHURY, 2015).

O sucesso que vem sendo obtido com o uso dessa rizobactéria no meio agrícola pode ser relacionado à sua grande adaptabilidade em diversos ambientes, muitas vezes desfavoráveis ao crescimento de outras espécies de microrganismos (HUNGRIA, 2011). Estudos indicam que o *B. aryabhatai* é capaz de tolerar certos níveis de salinidade no solo e ainda fazer a biorremediação de diversos resíduos de compostos tóxicos que podem estar presentes no solo, como moléculas de herbicidas (CARDOZO & ARAÚJO, 2011).

Além disso, pesquisas indicam que essa rizobactéria benéfica é capaz de colonizar rapidamente o sistema radicular de algumas culturas agrícolas. Segundo Park et al. (2017), 2 dias após a inoculação, o *Bacillus aryabhatai* já havia colonizado as raízes da soja.

Essas, dentre outras características, tornam essa rizobactéria um microrganismo muito resiliente no ambiente agrícola e faz com que todos os benefícios promovidos por ela para promoção de crescimento de plantas sejam potencializados. Nesse mesmo estudo, Park et al. (2017) observaram que a inoculação de uma cepa do *B. aryabhatai* promoveu um aumento significativo do tamanho dos brotos, folhas e nós das plantas, mesmo quando sob condições de estresse. Em outras culturas, como o arroz e o milho, o mesmo efeito da promoção de crescimento de plantas, mesmo em condições de estresse, tem sido observado com a inoculação dessa bactéria.

Araújo (2008) cita em seus estudos a importância do *Bacillus aryabhatai* no mandacaru (*Cereus jamacaru*), importante cacto da região da caatinga. O bacillus auxilia na captação de micronutrientes, por meio da liberação de enzimas chamadas de exopolissacarídeos pelo *Bacillus aryabhatai* que são sintetizadas pela planta e resguardada para acúmulo de energia para uso futuro.

De acordo com Lugtenberg (2013), essa bactéria funciona como um suporte para o estresse hídrico da região, visto que umas das principais

maneiras para remediar esse problema é a construção de pivôs de irrigação, porém o custo para a implementação é alto e em muitos lugares a falta de água o torna inviável.

Em questões de custo-benefício, os produtos à base deste bacillus tem um custo um pouco elevado de R\$ 350,00/ Lt, comparado a outros produtos biológicos já disponíveis no mercado. Representando 7 % do custo de produção. A sua implementação ocorre no tratamento das sementes, não dependendo de mecanização, o que torna seu manejo de fácil acesso para grandes e pequenos produtores de grãos (Araújo, 2008).

3.2 Milho

O milho (*Zea mays*) é uma planta do gênero *Zea* da família *Poaceae* é utilizado desde os primórdios. Evidências apontam que o centro de origem do milho seja o México, tendo em vista que lá se deu sua domesticação a mais de 7000 anos.

No Brasil sua produção foi de 87,4 milhões de toneladas na temporada 21/22 segundo o 11º levantamento da safra de grãos divulgado pela companhia nacional de abastecimento (CONAB), e na região sudoeste paulista a produção se da em 3,3 milhões de toneladas de milho anuais uma produção alta (CONAB, 2022).

A cultura de milho apresenta um alto potencial produtivo, porém com algumas deficiências relacionadas a fatores climático e hídricos.

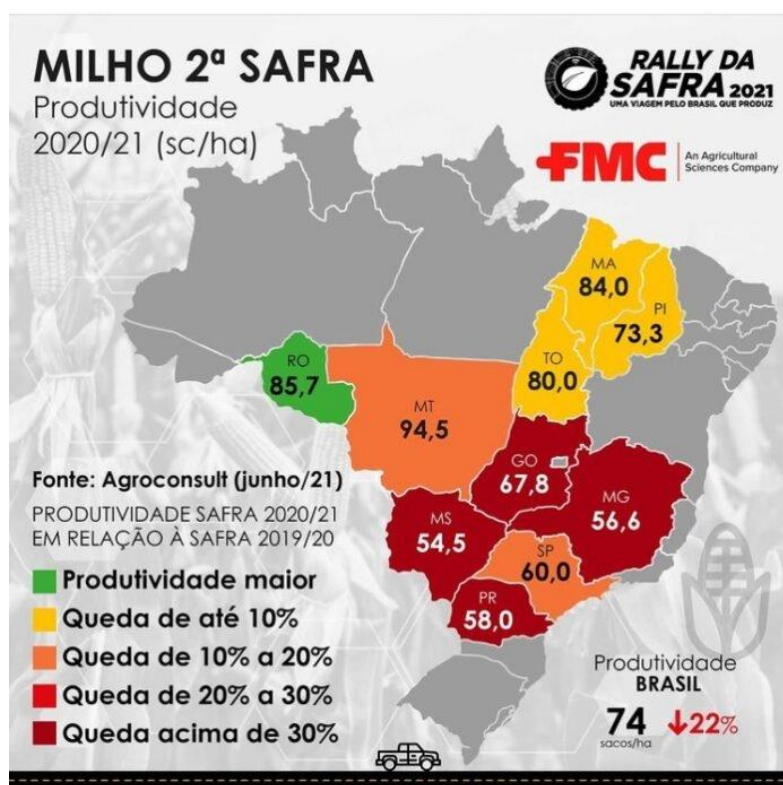
Segundo Vieira (2001), alguns agentes de enraizamento podem promover o desenvolvimento e o crescimento das plantas, estimulando a divisão celular e o alongamento celular. Segundo Amaral (2017), a adubação é o fator que mais encarece a cultura do milho. O nitrogênio é o nutriente mais requerido no milho e é importante para a produção de grãos, além de ser importante para o estabelecimento da área foliar, formação de espigas e produção de fotoassimilados.

Segundo CALEGARI (2002), o milho necessita de adubação nitrogenada para suprir suas necessidades e completar seu ciclo de crescimento, sendo que para o milho cultivado em regime de sequeiro a dose de nitrogênio recomendada é de 40 a 80 kg N ha⁻¹, e para o milho irrigado recomenda-se 100 a 250 kg de N ha⁻¹.

Na busca por alternativas à nutrição nitrogenada, os diazotróficos se destacam pela capacidade de fixar biologicamente o nitrogênio. A bactéria *Azospirillum* contribui para o crescimento e desenvolvimento do milho (AMARAL, 2017). O enraizamento atua no equilíbrio hormonal da planta e contribui para o desenvolvimento do sistema radicular, além de auxiliar a planta a expressar seu potencial genético (ONO et al., 1999).

A cultura do milho é uma das culturas mais importantes mundialmente, do ponto de vista econômico e social. De maneira primordial, está inserida na estrutura da cadeia produtiva do agronegócio brasileiro. O milho é atualmente cultivado em todas as microrregiões do Brasil, o qual é atualmente o terceiro maior produtor mundial do cereal, sendo que na safra 2020/2021 o país atingiu uma produção estimada em 98,5 milhões de toneladas, atrás apenas dos Estados Unidos (384,8 milhões de toneladas) e da China (219,6 milhões de toneladas) (CONAB, 2022). Na Figura 1 apresenta-se a queda em produção na segunda safra.

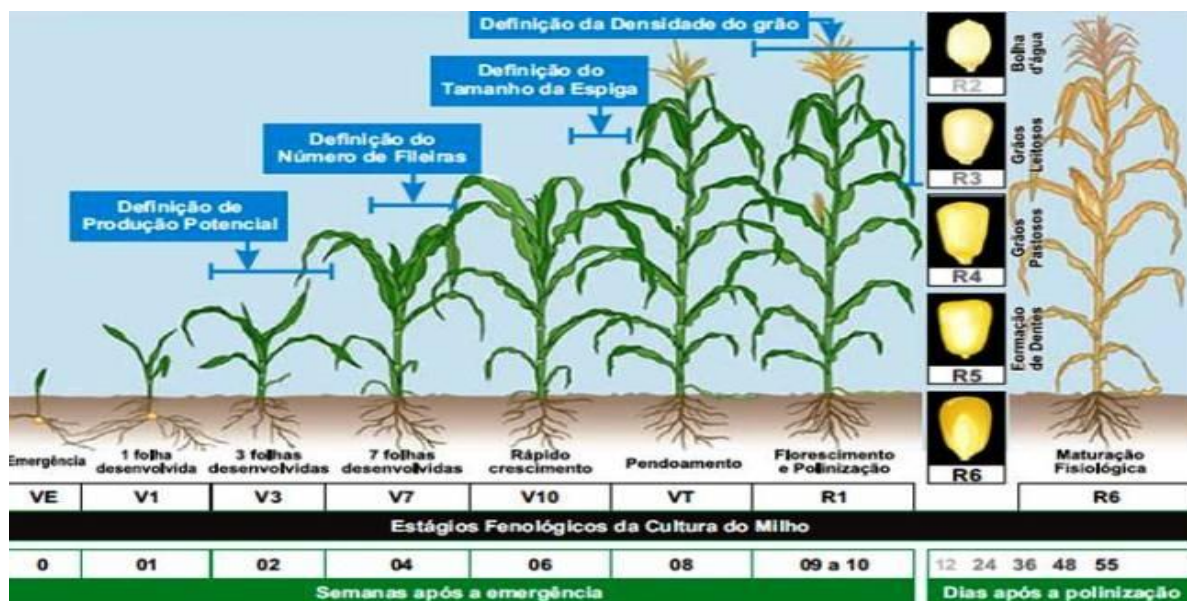
Figura 1 - Queda em produção na segunda safra (milho safrinha) decorrente a queda de índices pluviométricos



Fonte: FMC

O milho apresenta fases críticas em seu desenvolvimento, necessitando de níveis ideais de água e nutrientes. Caso não obtenham essas características a níveis nutricionais a definição de potencial produtivo serão afetados. A Figura 3 mostram os estágios fenológicos da cultura

Figura 2 - Estágios fenológico da cultura



Fonte: ONO et al., 1999

Segundo estudo realizado no Instituto Federal de Alagoas, no ano de 2019, as causas de perdas relacionadas à produção começam desde o início da germinação e desenvolvimento, sendo que esses fatores estão diretamente correlacionados com a produção. O estudo ainda traz a informação de que fatores como vento, umidade relativa do ar ou mesmo taxas de solarização não são tão influentes quanto a falta de água.

Na cultura do milho, a seca e o déficit hídrico, tem causado prejuízos ao rendimento da cultura, podendo levar a perdas severas de até 100% na produtividade de grãos. Barker (2005) destaca que as perdas médias anuais na produtividade em regiões temperadas são de 15% e 17% em regiões tropicais.

Neste sentido, mesmo nas regiões mais chuvosas do Brasil, pode haver perdas de produtividade, quando se considera a segunda safra ou “milho safrinha” em virtude de maiores instabilidades climáticas e períodos deficitários de regimes hídricos (HEINEMANN, 2009).

Além das perdas em produção e produtividade, o estresse abiótico causado pelo déficit hídrico, tem causado na cultura do milho perdas em produção de massa fresca e seca das plantas, altura e diâmetro dos colmos, danos causados no aparato fotossintético têm reduzido à fotossíntese causada pelo decréscimo da expansão celular (YAN, 2016).

Santos (2014) destacam que a água interfere em todas as fases do desenvolvimento da cultura, e que as plantas podem ser cultivadas em condições de sequeiro que seja no período chuvoso de cada região, ou adotando sistema de irrigação no período seco do ano com intenção de diminuir os efeitos deletérios do déficit hídrico.

A nutrição da planta é amplamente afetada em função de umidade deficitária do solo, estando à água como fator de equilíbrio da nutrição das espécies vegetais. A disponibilidade de água influencia na absorção e disponibilidade de nutrientes na planta e no solo, fundamental para os processos metabólicos, regulando a absorção de nutrientes minerais do solo, trocas gasosas e translocação entre órgãos da planta (MARTINS et al., 2014).

Uma das estratégias para minimizar as perdas em produção e proteger as fases mais delicadas do milho, foi a inoculação do *Bacillus aryabhataia* que é uma rizobactéria, que tem a capacidade de estabelecer uma relação com as raízes das plantas. As plantas fornecem abrigo e alimento ao bacillus, enquanto ele fornece seus benefícios a planta. A resistência à seca, o bacillus coloniza o sistema radicular da planta e produz substâncias que hidratam as raízes, chamados exopolissacarídeos,

O milho cresce sob estresse hídrico porque é capaz de produzir biofilmes e exopolissacarídeos, que protegem as plantas de escassez de água. Em um estudo recente, Santos (2019), comprovou a promoção do crescimento de plantas de soja sob condições de estresse quente. Desta forma, o presente trabalho visa verificar se as bactérias *Bacillus aryabhatai* tem potencial para controlar o nematoide das galhas do milho.

Os micróbios do solo podem atuar nas plantas de diferentes maneiras, neste caso os benefícios das bactérias promotoras do crescimento vegetal podem ser alcançados através de aumento do tamanho e abundância de pêlos radiculares, especialmente nas raízes secundário, e assim resultará em maior

volume radicular, aumento da probabilidade de formação de nódulos, maior volume radicular ou local de infecção, o que favorece a FBN (VIANA, 2021).

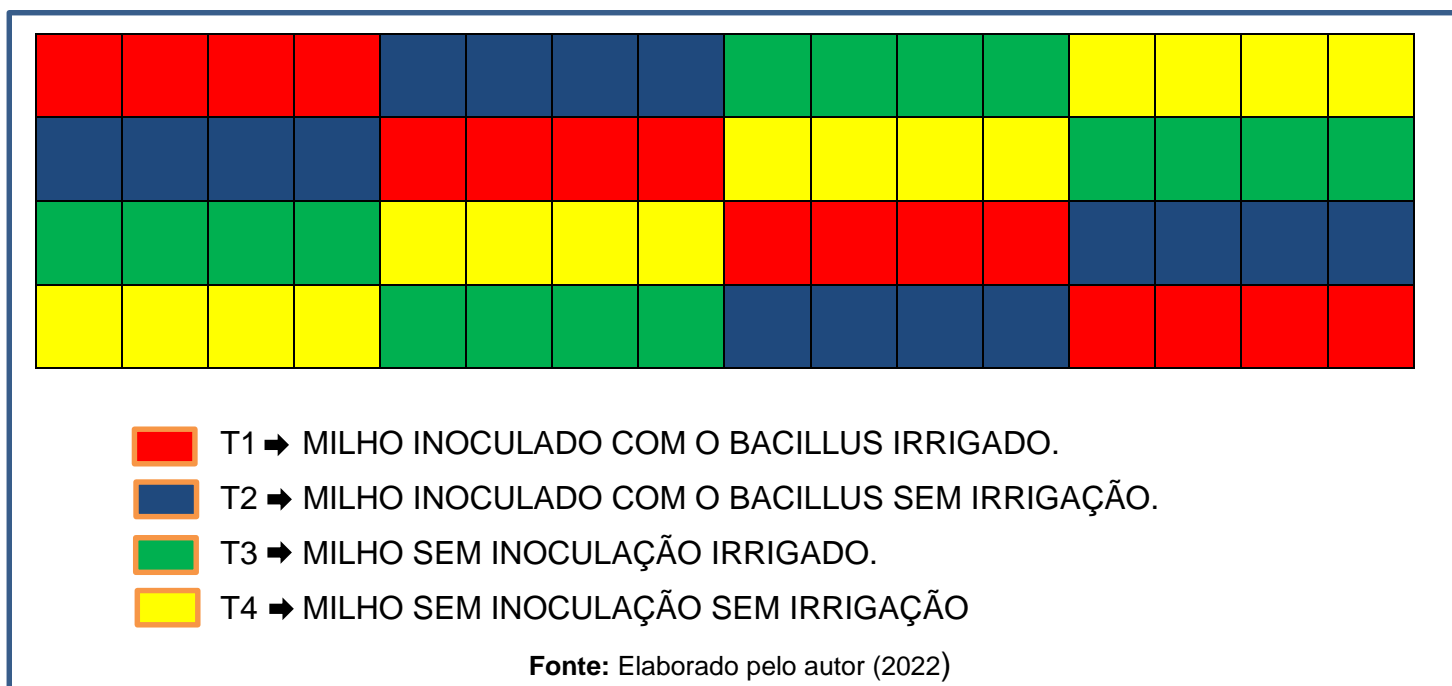
4. MATERIAS E MÉTODOS

O experimento foi realizado em Sorocaba, com latitude -23.4967315 e longitude -47.3914771, interior de São Paulo, no Núcleo de Estudos Ambientais (NEAS) nos dias 20/09/2022 e a colheita do milho foi realizada dia 09/11/2022

Utilizou-se a variedade de milho 3066 Biomatrix, no caso um milho precoce com características para silagem.

O delineamento do experimento foi realizado em 4 blocos com parcelas de 4 vasos (com 1 plantas por vaso) para cada tratamento, totalizando 64 vasos. Colocados em modo aleatório em ambiente controlado (casa de vegetação) (Figura 3).

Figura 3 – Disposição dos vasos em relação ao tratamento



No caso dos vasos nos quais foi utilizado o *Bacillus aryabhatai*, a inoculação se deu antes do plantio, e o tratamento da semente (TS) foi realizado com o produto Kinagro Stress control (Figura 4) na dose de 3 ml/kg de semente.

Figura 4 - Produto Kinagro Stress control



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Na Figura 5 são apresentados os materiais utilizados, como a pá, parquímetro e potes.

Figura 5 - Materiais utilizados para condução do experimento e obtenção dos dados.

Da esquerda para direita: pá, parquímetro (para aferição do diâmetro do colmo) e pote plástico



junto a uma balança para pesagem da matéria fresca.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Todas as parcelas dos tratamentos receberam a mesma adubação de base, com 400 kg. ha⁻¹ da fórmula 3-12-06 (N-P-K), no sulco de semeadura, no estágio fenológico do milho V4 (quatro folhas totalmente desenvolvidas). Essa dosagem foi realizada segundo recomendações de Sousa e Lobato (2004), com 400 kg. ha⁻¹ da fórmula 3-12-06 (N-P-K), cerca de 96 g por vaso.

A aplicação de nitrogênio na cobertura foi realizada via fertirrigação, nos estádios fenológicos V4 e V6, conforme a recomendação de Sousa e Lobato

(2004) (100 kg ha^{-1} de nitrogênio), seguindo tratamentos descritos, de forma que o volume de água necessário para fertirrigação foi fracionado de modo a não superar a capacidade de campo do solo.

O sistema de irrigação utilizado no experimento foi o gotejamento com vazão de $0,00115 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, as parcelas foram separadas por registros e a fertirrigação foi realizada com auxílio de um injetor de fertilizantes tipo Venturi, seguido de um filtro de disco para evitar o entupimento dos gotejadores. O manejo da irrigação foi realizado considerando-se a evapotranspiração de referência (ET_o) diária média de 8 mm. Ao final do experimento foi aplicada uma lâmina total 400 mm.

Foram determinados alguns parâmetros quantitativos para serem analisados na colheita da planta por inteira, como: tamanho da raiz, diâmetro do colmo e massa fresca 50 dias após o plantio.

O controle de plantas daninhas foi feito de maneira manual, visto que o experimento ocorreu em ambiente protegido.

Para obtenção de resultados do trabalho os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA). As variáveis massa fresca, tamanho do sistema radicular e diâmetro do colmo, foram avaliados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises foram realizadas, utilizando o software R 3.9.2 beta.

5. RESULTADO E DISCUSSÃO

A partir dos resultados é possível observar que ocorreu efeito dos diferentes tratamentos em relação as variáveis analisadas. Esse fato pode ser comprovado com o tamanho do T1 (Figura 6) quando comparado aos outros tratamentos.

Figura 6 – Comparação da parte aérea dos tratamentos T1 (milho inoculado com o *Bacillus* irrigado), T2 (milho inoculado com o *Bacillus* sem irrigação), T3 (milho sem inoculação irrigado) e T4 (milho sem inoculação sem irrigação).



Da esquerda para direita: T1, T2, T3 e T4

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Conferindo o desenvolvimento do milho foi feita a sua colheita, com ajuda de uma pá para não haver a danificação de sua raiz (Como apresentado na Figura 7).

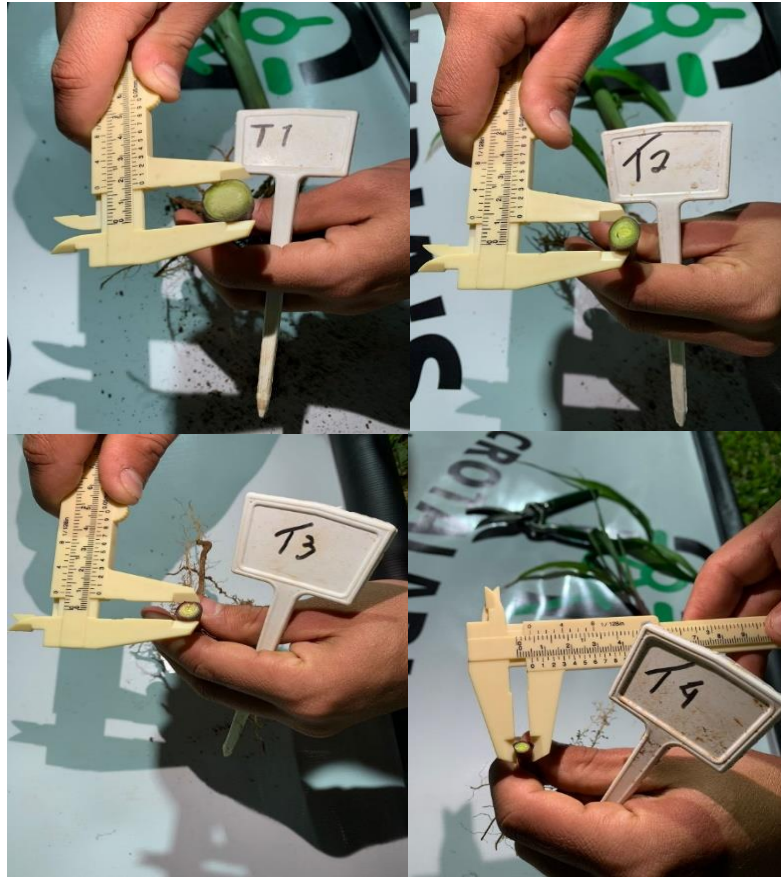
Figura 7 - Raízes dos tratamentos T1 (milho inoculado com o Bacillus irrigado), T2 (milho inoculado com o Bacillus sem irrigação), T3 (milho sem inoculação irrigado) e T4 (milho sem inoculação sem irrigação).

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)



Após a colheita dos tratamentos tornou-se visível a diferença de raízes entre eles. Realizamos também a medição dos colmos entre todos os tratamentos. O diâmetro do colmo do milho foi aferido com paquímetro, mantendo-se sempre o posicionamento na planta. A Figura 8 traz a análise de variância como demonstrado nas fotos.

Figura 8 – Diâmetro do colmo dos tratamentos T1 (milho inoculado com o *Bacillus* irrigado), T2 (milho inoculado com o *Bacillus* sem irrigação), T3 (milho sem inoculação irrigado) e T4 (milho sem inoculação sem irrigação).



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Na Tabela 1 aponta-se as médias da massa fresca (MF) em gramas, do comprimento da raiz (CR) em cm e diâmetro do colmo (DR) em cm, como pode-se notar nas Figuras. O tratamento 1 teve melhor desenvolvimento em todas as variáveis em questão.

Tabela 1 - Médias da massa fresca (MF) em gramas, do comprimento da raiz (CR) em cm e diâmetro do colmo (DR) em cm.

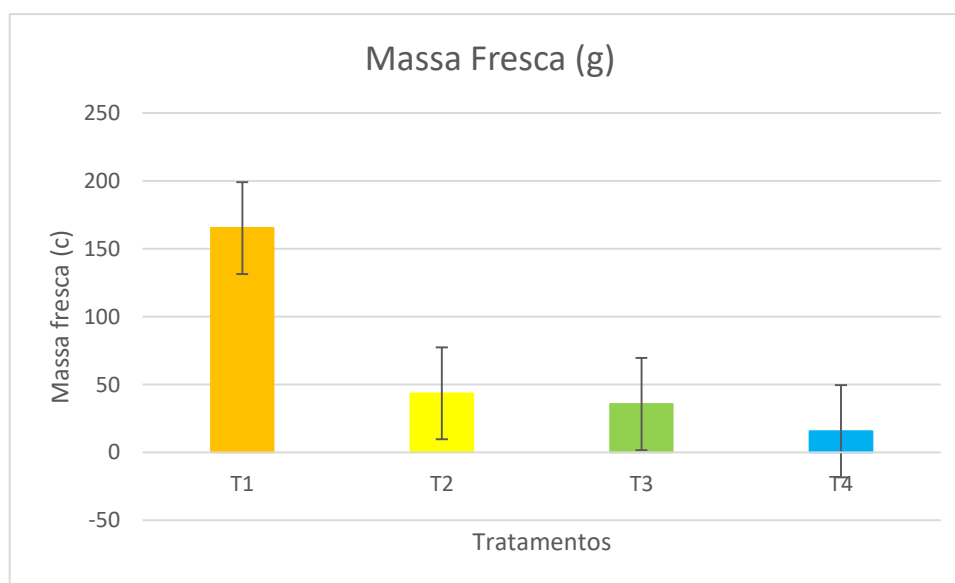
	MF	CR	DR
T1	165,19 A	14,64 A	1,21 A
T2	48,21 B	12,02 B	1,07 B
T3	35,67 C	11,23 C	1,09 B
T4	15,57 C	7,02 C	1,07 B
CV (%)	8,9	12,8	5,3

As médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Observando diretamente o Gráfico 1, é possível ver que T1 obteve uma massa fresca superior aos demais tratamentos.

Gráfico 1 - Médias da massa fresca (MF) em gramas T1 (milho inoculado com o *Bacillus* irrigado), T2 (milho inoculado com o *Bacillus* sem irrigação), T3 (milho sem inoculação irrigado) e T4 (milho sem inoculação sem irrigação).



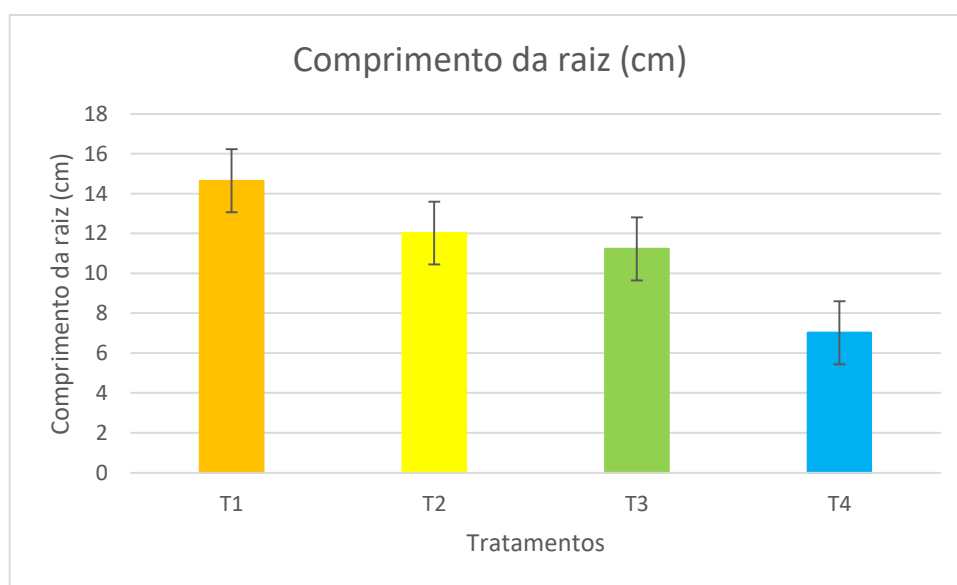
Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Colhido o milho, houve a pesagem de todos os tratamentos, ambos moídos/macerados e tirado sua massa em kg.

Após todas as pesagens, foi obtido a média aritmética e consecutivamente realizado a análise de variância, sendo expressos no Gráfico 2 as médias do comprimento da raiz em centímetros.

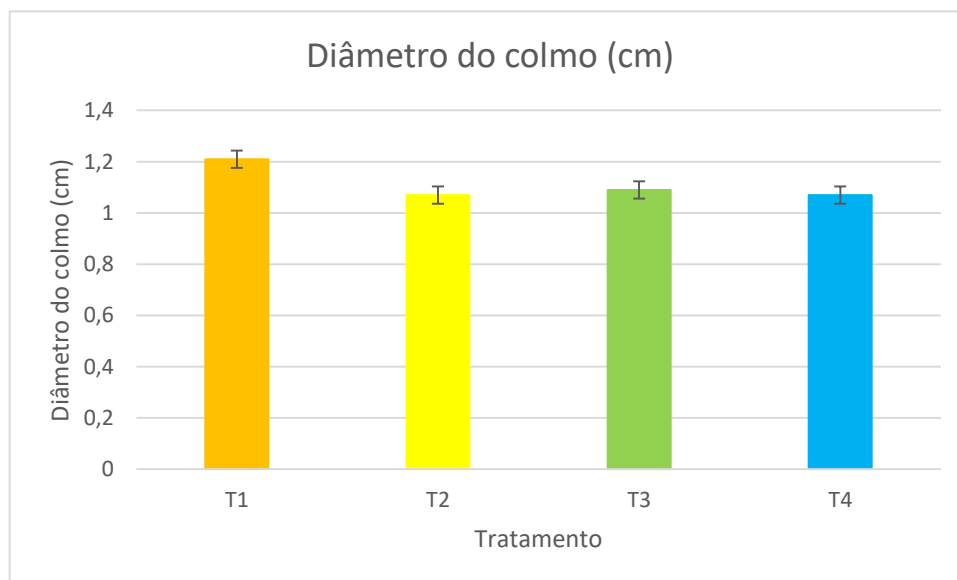
Junto com a pesagem de matéria fresca, mediu-se o comprimento das raízes e o diâmetro do colmo de todos os tratamentos, após tirar essas aferições foi realizada a análise de variância e os dados expressos no Gráfico 2 e 3, respectivamente.

Gráfico 2 - Médias do comprimento da raiz (CR) em cm T1 (milho inoculado com o *Bacillus* irrigado), T2 (milho inoculado com o *Bacillus* sem irrigação), T3 (milho sem inoculação irrigado) e T4 (milho sem inoculação sem irrigação).



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Gráfico 3 - Médias do diâmetro do colmo (DC) em cm T1 (milho inoculado com o *Bacillus* irrigado), T2 (milho inoculado com o *Bacillus* sem irrigação), T3 (milho sem inoculação irrigado) e T4 (milho sem inoculação sem irrigação).



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Os microrganismos são importantes ferramentas para auxiliar as plantas cultivadas na tolerância ao déficit hídrico. O presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito da inoculação de *Bacillus aryabhattai* no desenvolvimento inicial de milho, em função de diferentes disponibilidades de água no solo (ENEBAK, 1998).

Bacillus aryabhattai isolado e identificado pela primeira vez em tubos usados para coletar amostras de ar de uma certa altitude na estratosfera da Terra entre 27 e 41 km em 2009 (SHIVAJI et al., 2009). É uma bactéria Gram-positiva, colônias formadoras de endosporos em forma de bastonete com 5 a 8 mm de diâmetro. Desde então, várias cepas foram isoladas da rizosfera ao redor do mundo. Este O efeito promotor de crescimento desta bactéria foi relatado pela primeira vez em *Xanthiumitalicum* sp. na Coreia (LEE et al., 2012).

O aumento da produtividade ocorre através de metabólitos secundários produzidos por essas bactérias, devido a afetarem a expressão dos genes de nodulação (LUGTENBERG et al., 2013).

Segundo Evangelista et al. (2021) isso é benéfico para as bactérias diazotróficas que estimulam a formação de nódulos radiculares. E, como citou

Shivaji et al. (2009), quanto maior a quantidade de nódulos na raiz, maior será o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da espécie vegetal.

Tomando como base as Figuras, gráfico e tabelas, nota-se que o T1, atingiu maior potencial em todas as variáveis analisadas. Hungria (2011) já defendia que, essas bactérias promovem a regulação e produção de hormônios e reguladores vegetais, como o ácido abscísico (ABA) e o ácido jasmônico (AJ), o que ajudou no crescimento das plantas de milho no estudo. Apesar de serem tolerantes à seca e produzirem exopolissacarídeos que hidratam as raízes, o sistema com irrigação constante se destacou, devido a planta não sofrer nenhum estresse durante seu ciclo.

Esses dados são semelhantes aos estudos de May et al. (2019), no qual o *Bacillus aryabhattai* promoveu a melhoria no desenvolvimento da parte aérea e das raízes de cana de açúcar em cerca de 10%, principalmente em condições de estresse hídrico, podendo ser considerado um ativo biológico eficiente para o estabelecimento inicial do canavial.

Morais (2018) comprovou que essa bactéria mitigou os efeitos do estresse hídrico nas plantas de soja, mantendo sua produtividade semelhante a plantas que receberam a irrigação adequada e superior a 20%, das plantas que estavam em sequeiro completo.

Por fim, como comparativo em mesmo território nacional, Ferreira (2020) alega que a eficácia do *B. aryabhattai* e *B. velezensis* promove o crescimento em plantas de mandioca e feijão-caupi cultivados na Amazônia Oriental em época de seca.

Referente ao Bacillus, resumidamente, faz parte do grupo de microrganismos que desempenham o papel no crescimento das plantas (MPCP). O MPCP constitui em um conjunto de bactérias gram-negativas, dos gêneros *Azospirillum*, *Pseudomonas* e *Rhizobium*, e gram-positivas, além do Bacillus temos o *Paenibacillus*.

Os microrganismos participam de 80% a 90% de todos os processos que ocorrem no solo, desde a criação de condições favoráveis para uma germinação das sementes até o crescimento do sistema radicular das plantas, influenciando diretamente no rendimento das culturas.

A relação dos microrganismos com as plantas acontece principalmente na exosfera, região do solo influenciada pelas raízes, com máxima atividade microbiana. As raízes das plantas, além de sustentar, absorver água e nutrientes, produz uma substância chamada de exsudatos radiculares, substância que é liberada na rizosfera. Esta substância serve como sinalizador para os microrganismos, criando relações complexas entre as plantas e a microbiota.

A promoção de crescimento das plantas por microrganismos do solo pode ocorrer de diferentes formas. Algumas bactérias sintetizam hormônios vegetais que promovem o crescimento, como auxina, citocinina e giberelinas. O crescimento também pode vir de uma melhor disponibilização dos macronutrientes e micronutrientes, considerando também o auxílio dos microrganismos para a planta. Estes são capazes de melhorar o sistema radicular das plantas, facilitando a absorção de nutrientes por elas, e também evitando que pragas e patógenos de plantas se desenvolvam no local, isso se deve aos compostos específicos, como antibacteriano e antifúngicos, que impedem o ataque dos patógenos nas plantas.

Outro ponto importante dos microrganismos é o poder de disponibilização dos nutrientes contidos nos minerais do solo, isso acontece por conta dos ácidos orgânicos produzidos pelo mesmo, que desestabiliza e libera os minerais para as plantas. E, além do mais, pode trabalhar também na fixação do nitrogênio, ciclo do enxofre e disponibilização do potássio e fósforo.

Hoje, no Brasil, calcula-se que tenha 22,8 toneladas de fósforo retido no solo, fósforo no qual não está disponível para a absorção da planta. Considerando isso no país, a empresa Bioma, disponibilizou no mercado a venda do produto BiomaPhos, produto para solubilização do fósforo retido no nosso solo brasileiro. O produto se trata de um inoculante líquido que pode ser utilizado no micron (jato direcionado direto ao sulco) ou no TS (tratamento de sementes).

O BiomaPhos é composto por 2 Bacillus, um é o *Bacillus Megaterium* e *Bacillus Subtilis*, esses Bacillus produzem ácidos orgânicos que atuam na porção do solo que se encontra em contato com as raízes das plantas, iniciando assim o processo de solubilização do fósforo que está retido ao Cálcio, alumínio e ferro presentes no solo, deixando o nutriente de forma que a planta tenha condições de absorver.

Já, o produto SojaMax tem a garantia de *Bradyrhizobium* mais *Azospirillum Brasilense*, e entrega benefícios como aumento do sistema radicular da planta, melhora da absorção da água e de nutrientes, além de fornecer nitrogênio para o ciclo todo da cultura aplicada.

Como esses dois outros produtos citados acima, a maioria dos microrganismos benéficos auxiliam a planta em uma melhor absorção de água e nutriente, porém cada uma tem seus pontos positivos diferentes. Como observado, o *Aryabhattai* fornece à planta uma porcentagem a mais de resistência a falta de água, já o *Bacillus Megaterium* e *Bacillus Subtilis* disponibilizam fósforos retidos no solo e o *Bradyrhizobium* mais *Azospirillum Brasilense* fixa o nitrogênio atmosférico melhor a planta. Hoje com a tecnologia e conhecimento avançado, os biológicos se desenvolvem muito rápido de forma positiva, assim auxiliando positivamente o produtor rural e melhorando cada vez mais a microbiota do seu solo.

Para termos uma ideia do crescimento de mercado de biológicos, no mercado podemos encontrar produtos específicos para controle de patógenos, como por exemplo o fungo *Phakopsora Pachyrhizi*, que causa a ferrugem asiática na soja e *Sclerotinia Sclerotiorum* responsável por causar o mofo-branco. O *Trichoderma* é o microrganismo benéfico para o combate desses patógenos e outros patógenos. Temos também o solubilizador de fósforo *Bacillus Megaterium* mais *Bacillus Subtilis*, como citado acima. Inclui-se também a *Beauveria Bassiana*, que é um fungo entomopatígeno utilizado para controle de biológicos de vários insetos-pragas na agricultura.

Os biológicos surgiram no mercado para aumentar a eficiência do processo produtivo na agricultura e diminuir os impactos ambientais causados pelo excessivo uso de produtos químicos.

Tabela 2 – Dados brutos utilizados para a média dos resultados

Tratamento 1: Milho com Bacillus mais irrigação	
Bloco 1	
1° Massa Fresca: 184,9g	
Raiz: 14,62 cm	
Colmo: 1,46 cm	
2° Massa Fresca: 197,3g	
Raiz: 15,59 cm	
Colmo: 1,70 cm	
3° Massa Fresca: 202,7g	
Raiz: 15,78cm	
Colmo: 1,53 cm	
4° Massa Fresca: 186,80g	
Raiz: 14,68cm	
Colmo: 1.45 cm	
Bloco 2	
5° Massa Fresca: 123,6g	
Raiz: 12,5 cm	
Colmo: 0.96 cm	
6° Massa Fresca: 137.4g	
Raiz: 11,89cm	
Colmo: 1.08cm	
7° Massa Fresca: 202,4g	
Raiz: 16 cm	
Colmo: 1,60 cm	
8° Massa Fresca: 136,9g	
Raiz: 13,7cm	
Colmo: 1,08 cm	
Bloco 3	
9° Massa Fresca: 126,2g	

Raiz: 14 cm
Colmo: 0,99cm
10° Massa Fresca: 130,7g
Raiz: 15,3cm
Colmo: 1,06cm
11° Massa Fresca: 119,4g
Raiz: 15cm
Colmo: 0.96cm
12° Massa Fresca: 122,10g
Raiz: 9,6 cm
Colmo: 0,91 cm
Bloco 4
13° Massa Fresca: 197,3g
Raiz: 14,7cm
Colmo: 1,46cm
14° Massa Fresca: 200,4g
Raiz: 13cm
Colmo: 1,47cm
15° Massa Fresca: 175,8g
Raiz: 12,6cm
Colmo: 1,0cm
16° Massa Fresca: 199,3g
Raiz : 14,37cm
Colmo: 1,2xm
Tratamento 2: Milho com Bacillus sem irrigação
Bloco 1
1° Massa Fresca: 47,2g
Raiz: 12cm
Colmo: 1,1cm
2° Massa Fresca: 41,3 g
Raiz: 10,26cm
Colmo: 0,97cm
3° Massa Fresca: 55,7g

Raiz: 11cm
Colmo: 1.23cm
4° Massa Fresca: 44,8g
Raiz: 9,7cm
Colmo: 0,95cm
Bloco 2
5° Massa Fresca: 52,6g
Raiz: 12cm
Colmo: 1,17cm
6° Massa Fresca: 42,1g
Raiz: 13cm
Colmo: 0,93cm
7° Massa Fresca: 50,1g
Raiz: 11cm
Colmo: 1,07cm
8° Massa Fresca: 44,3g
Raiz: 14,2cm
Colmo: 0,94cm
Bloco 3
9° Massa Fresca: 43,6g
Raiz: 14,7cm
Colmo: 0,96cm
10° Massa Fresca: 56,20g
Raiz: 12,1cm
Colmo: 1,24cm
11° Massa Fresca: 50,8g
Raiz: 10,3cm
Colmo: 1,12cm
12° Massa Fresca: 44,1g
Raiz: 10cm
Colmo: 0,97cm
Bloco 4
13° Massa Fresca: 58,8g

Raiz: 15cm
Colmo: 1,3cm
14° Massa Fresca: 50,4g
Raiz: 14,7cm
Colmo: 1,06cm
15° Massa Fresca: 47,6g
Raiz: 10,6cm
Colmo: 1,07cm
16° Massa Fresca: 41,9g
Raiz: 11,8cm
Colmo: 0,92cm
Tratamento 3: Milho sem Bacillus com irrigação
Bloco 1
1° Massa Fresca: 50,3g
Raiz: 12,5cm
Colmo: 1.53cm
2° Massa Fresca: 28,1g
Raiz: 10,7cm
Colmo: 0,85cm
3° Massa Fresca: 32,7g
Raiz: 12,3cm
Colmo: 0,99cm
4° Massa Fresca: 29,9g
Raiz : 9,6cm
Colmo: 0,92cm
Bloco 2
5° Massa Fresca: 43,6g
Raiz: 11cm
Colmo: 1,32cm
6° Massa Fresca: 34,8g
Raiz: 10,7cm
Colmo: 1,04cm
7° Massa Fresca: 32,9g

Raiz: 10,4cm
Colmo: 1,0cm
8° Massa Fresca: 28,1g
Raiz: 11,2cm
Colmo: 0,83cm
Bloco 3
9° Massa Fresca:47,2g
Raiz: 11,9cm
Colmo: 1,43cm
10° Massa Fresca: 39,4g
Raiz: 12,2cm
Colmo: 1,16cm
11° Massa Fresca: 28,4g
Raiz: 9,6cm
Colmo: 0,86cm
12° Massa Fresca: 47,6g
Raiz: 11,8cm
Colmo: 1,44cm
Bloco 4
13° Massa Fresca: 26,4g
Raiz: 12,1cm
Colmo: 0,87cm
14° Massa Fresca: 40,7g
Raiz: 10,1cm
Colmo: 1,23cm
15° Massa Fresca: 29,5g
Raiz: 12,4cm
Colmo:0,92cm
16° Massa Fresca: 31,1g
Raiz: 11,2cm
Colmo: 0,94cm
Tratamento 4: Milho sem Bacillus e sem irrigação
Bloco 1

1° Massa Fresca: 27,3g
Raiz: 8,9cm
Colmo: 0,37cm
2° Massa Fresca: 10,6g
Raiz: 9,4cm
Colmo: 0,17cm
3° Massa Fresca: 12,2g
Raiz: 7,6cm
Colmo: 0,15cm
4° Massa Fresca: 23,7g
Raiz: 8,7cm
Colmo: 0,39cm
Bloco 2
5° Milho não desenvolvido
6° Massa Fresca: 7,8g
Raiz: 7,3cm
Colmo: 0,12cm
7° Massa Fresca: 13g
Raiz: 9,4cm
Colmo: 0,20cm
8° Massa Fresca: 35,4g
Raiz: 10cm
Colmo: 0,57cm
Bloco 3
9° Milho não desenvolvido
10° Massa Fresca: 33,2g
Raiz: 9,6cm
Colmo: 0,54cm
11° Massa Fresca: 7,9g
Raiz: 8,3cm
Colmo: 0,11cm
12° Massa Fresca: 16,7g
Raiz: 8,1cm

Colmo: 0,26cm
Bloco 4
13° Milho não desenvolvido
14° Massa Fresca: 29,3g
Raiz: 9,6cm
Colmo: 0,48cm
15° Massa Fresca: 25,4g
Raiz: 8,3cm
Colmo:0,40cm
16° Massa Fresca: 6,6g
Raiz: 7,1cm
Colmo: 0,11cm

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que, para as variáveis analisadas (tamanho da raiz, diâmetro do colmo e massa fresca), os tratamentos cujos foram irrigados obtiveram melhor resultado. Dentre eles, aqueles nos quais foram inoculados *Bacillus aryabhatai* receberam maior destaque, obtendo aumento de 15% em relação ao controle.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, B. S. Inoculação de sementes de milho com *Azospirillum brasilense* associada ao uso de bioindutores. **UFSC** - Curitiba 2017.
- ARAÚJO, F. F. Inoculação de sementes, formulado com farinha de ostras e desenvolvimento de milho, soja e algodão. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 456-462, 2008.
- BARKER, T., H. Improving drought tolerance in maize. pp. 173-253. In: J. Janick (Ed.), *Plant Breed. Rev.*, Vol. 25. John Wiley Sons, Inc., New York, 2005.
- BIOMAPHOS. Disponível em: <<https://www.bioma.ind.br/produto/bioma-phos>>. Acessado em 20 de Maio de 2023 às 18h21.
- CARDOZO, R. B.; ARAÚJO, F. F. Multiplicação de *Bacillus subtilis* em vinhaça e viabilidade no controle da meloidoginose, em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 12 p.1283–1288, 2011.
- CALEGARI, A. Rotação de culturas e uso de plantas de cobertura. **Revista Agroecologia Hoje**, ano II, n.14, Botucatu – SP, 2002.
- CHOWDHURY, S.P. Biocontrol mechanism by root-associated *Bacillus amyloliquefaciens* fzb42: **Review. Front. Microbiol**, v.03, n. 28, 2015.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da safra brasileira grãos, v. 7 – safra 2021/22 – Décimo primeiro levantamento, Brasília, p. 1-62, agosto 2022.
- ENEBAK, S. A. Effects of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria on Loblolly and Slash Pine Seedlings. **Forest Science**, v. 44, n. 1, p. 139-144, 1998.
- EVANGELISTA, J. G. V. N.; ANDRADE, A. P. S.; SANTOS, A. M.; SILVA, F. C. G.; CARMO, A. S.; ALVES, G. A. R.; FREITAS, L. S.; BORGES, L. S. Inseticida biológico no controle de lagarta *Spodoptera eridania* no cultivo da soja. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.2, p.548-556, 2021.
- FERREIRA, S. C. Identificação de bactérias endofíticas isoladas de raízes de mandioca (*manihot esculenta crantz*) com potencial aplicação na

- agricultura. **Tese de Doutorado apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia**. Belém – PA, 2020.
- HERNÁNDEZ, A. Características de géneros asociados a los cultivos de gerbera y clavel. **Cultivos Tropicales**, Havana, v. 21, n. 3, p. 15-18, 2000.
- HUNGRIA, M. Inoculação com *Azospirillum brasiliense*: inovação em rendimento a baixo custo. **Londrina: Embrapa Soja**, 2011.
- LUGTENBERG B. Plant Growth-promoting Bacteria: Fundamentals and Exploitation. In: Maheshwari DK, editor. *Bacteria in Agrobiolgy: Crop Ecosystems*. Heidelberg: **SpringerVerlag**; 2013.
- LEE, S..ka. J.O.; Song H.G Growth Promotion of Xanthium Italucm by Application of Rhizobacterial Isolates of *Bacillus aryabhatai* in Microcosm Soil. **The Journal of Microbiology**, v.50.n.l., p.45. 2012.
- MARTINS, L. D.; TOMAZ, M. A.; LIDON, F. C.; DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. C. Combined effects of elevated [CO₂] and high temperature on leaf mineral balance in Coffea spp. plants. **Climatic Change** 126: 365-379, 2014.
- MAY, A.; RAMOS, N. P.; SANTOS, M. S.; MELO, I. S. Promoção de crescimento de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar inoculadas com *Bacillus aryabhatai* em diferentes frequências de irrigação. **Embrapa Meio Ambiente**, Jaguariúna, SP – 2019.
- MORAIS, J. F. A. Avaliação de consórcios bacterianos para mitigar os efeitos do estresse hídrico em culturas de soja. **Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências**. Piracicaba – SP, 2018.
- ONO, E.O.; RODRIGUES, J.D.; SANTOS, S.O. Efeito de fitorreguladores sobre o desenvolvimento de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv Carioca. **Revista Biociências, Taubaté**, v.5, n.1, p.7-13, 1999.
- ORHAN, E.; ESITKEN, A.; ERCISLI, S.; TURAN, M.; SAHIN, F. Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry. **Scientia Horticulturae**, v. 111, p. 38-43, 2016.
- PARK, C.A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H.J.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Drought stress in plants : a review on morphological characteristics and pigments composition.

- International Journal of Agriculture Biology**, Faisalabad, v.11, p.100 - 105, 2017.
- PODILE, A. R.; KISHORE, G. K. Plant growth-promoting rhizobacteria. In: Gnanamanickam, S. S. (Ed.). *Plant associated bacteria*. Netherlands: **Springer**, p. 195-230, 2007.
- HEINEMANN, A. Efeito da deficiência hídrica no desenvolvimento e rendimento de quatro cultivares de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 2, p. 134-139, 2009.
- SANTOS, M. S. Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. **AMB Express**, v. 9, p. 205, 2019.
- SANTOS, W. de O. Coeficientes de cultivo e necessidades hídricas da cultura do milho verde nas condições do semiárido brasileiro. **Irriga Botucatu**, Botucatu-SP, v. 19, n. 4, p.559-572, set. 2014.
- SHIVAJI S, CHATURVEDI P, BEGUM Z. *Janibacter hoylei* sp. nov., *Bacillus isronensis* sp. nov. and *Bacillus aryabhatai* sp. nov., isolated from cryotubes used for collecting air from the upper atmosphere. **Int J Syst Evol Microbiol**, 2009.
- SOJAMAX. Disponível em: <<https://biotrop.com.br/produto/soja-max/>>. Acessado em 20 de Maio de 2023 às 18h43.
- VERDE AGRITECH. Disponível em: <<https://verde.ag/>>. Acessado em 20 de Maio de 2023 às 18h00.
- VIEIRA, E.L. Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical. **Guaíba: Agropecuária**, 2001.
- VIANA FILHO, G. B. Sorgo de alto tanino na nutrição e sanidade de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*). Manaus: **Embrapa Amazônia Ocidental**, 2021.
- YAN, W. Evaluation of physiological traits of summer maize under drought stress. **Acta Agric Scand Sect B Soil Plant Sci**. 2016.

