

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias
Câmpus de Jaboticabal

**COMPORTAMENTO DE HÍBRIDOS DE MILHO SUBMETIDOS À
INOCULAÇÃO DE MICRORGANISMOS ASSOCIADA À ADUBAÇÃO
NITROGENADA**

Nathã Pereira de Oliveira

Jaboticabal – SP

1º Semestre de 2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias
Câmpus de Jaboticabal

**COMPORTAMENTO DE HÍBRIDOS DE MILHO SUBMETIDOS À
INOCULAÇÃO DE MICRORGANISMOS ASSOCIADA À ADUBAÇÃO
NITROGENADA**

Nathã Pereira de Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Vitti Moro
Coorientadores: Me. Guilherme Amâncio Vieira
Grunewald
Eng. Agron. Ezequiel Soares da Silva

Trabalho apresentado à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP,
Câmpus de Jaboticabal, para graduação em
ENGENHARIA AGRONÔMICA

Jaboticabal – SP

1º Semestre de 2024

O48c	Oliveira, Nathã Pereira de Comportamento de híbridos de milho submetidos à inoculação de microrganismos associada à adubação nitrogenada / Nathã Pereira de Oliveira. – Jaboticabal, 2024 60 p. : il., tabs. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônoma) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal Orientador: Gustavo Vitti Moro Coorientador: Guilherme Amâncio Vieira Grunewald 1. Milho. 2. <i>Azospirillum brasilense</i>. 3. <i>Bacillus subtilis</i>. 4. Nitrogênio. I. Título.
------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus Jaboticabal



NATHÃ PEREIRA DE OLIVEIRA

**COMPORTAMENTO DE HÍBRIDOS DE MILHO SUBMETIDOS À INOCULAÇÃO
DE MICRORGANISMOS ASSOCIADA À ADUBAÇÃO NITROGENADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Agrônômica.

Área de Concentração: Genética e Melhoramento de Espécies Alóginas

Data da defesa: 10/07/2024

(X) Aprovado

() Reprovado

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Gustavo Vitti Mório

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Prof. Dr. Rinaldo Cesar de Paula

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Dr. Antonio Rocha

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 12/07/2024

Profa. Dra. Cibele Chalita Martins

Chefe do Departamento

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, minha maior riqueza, especialmente meus Pais. Obrigado por não medirem esforços para que eu pudesse realizar meus sonhos, devo tudo a vocês, que sempre trabalhando arduamente me ajudaram a chegar até aqui! Todo meu amor a vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, meu Senhor e Salvador, por guiar meu caminho durante toda minha vida!

Aos meus pais, José Roberto de Oliveira e Edilene Regina Pereira, por todo amor, confiança e cuidado dedicado a mim, que me ensinaram o caminho certo e sempre se esforçaram para me proporcionarem o melhor. Aos meus avós, Sebastião Carlos Pereira e Helena Barbosa Pereira que fizeram parte do meu crescimento, me ensinando e incentivando à honestidade e a não desistir dos meus objetivos, me apoiando incondicionalmente. À minha irmã, Júlia Helena de Oliveira, por sempre me apoiar e incentivar em todos os momentos.

Agradeço aos meus tios, que me incentivaram e me ajudaram, por estarem sempre presentes e por acreditarem em mim.

Ao Prof. Dr. Gustavo Vitti Moro, pela orientação, confiança, ensinamentos e oportunidade para a realização dos trabalhos. Aos meus colegas e coorientadores Guilherme Amâncio Vieira Grunewald e Ezequiel Soares da Silva, pela orientação e ajuda na realização dos projetos.

Ao meu amigo e irmão Caique Augusto Maia de Aguiar, que esteve ao meu lado durante esta trajetória, compartilhando dos bons e maus momentos dessa lida, por todo apoio e amizade envolvida. Estendo meus agradecimentos a todos os meus outros amigos que a FCAV me proporcionou.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, juntamente ao NEGEMM e CNPq pela oportunidade de realizar as pesquisas e recursos recebidos.

Muito Obrigado!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 A Cultura	4
2.2 Exigências da cultura e adubação nitrogenada	5
2.3 Bactérias promotoras do crescimento	7
2.4 Benefícios da Inoculação	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1 Experimento em casa de vegetação.....	12
3.1.1 Local, tratamentos e delineamento experimental	12
3.1.2 Tratamentos e características avaliadas	13
3.2 Experimento em campo	14
3.2.1 Área experimental.....	15
3.2.2 Tratamentos e delineamento experimental	16
3.2.3 Parâmetros avaliados	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1 Experimento em casa de vegetação.....	20
4.2 Experimento em campo	24
4.2.1 Efeito nos Componentes Vegetativos.....	26
4.2.1.1 Altura de planta e teor de clorofila.....	26
4.2.1.2 Altura de inserção da espiga e massa fresca.....	29
4.2.2 Efeitos nos componentes de produção	32
4.2.2.1 Comprimento de espiga e número de fileiras	32
4.2.2.2 Diâmetro de espiga e número de grãos por fileira.....	34
4.2.2.3 Peso de mil grãos e produtividade	36
4.2.3 Híbridos	39
4.2.3.1 Híbrido SHU 6211 TRE.....	39
4.2.3.2 Híbrido AG 8701 PRO 4	39
4.2.3.3 Híbrido STATUS VIP 3	39
5. CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS	43

RESUMO

A cultura do milho é grandemente influenciada pelos estresses ambientais, com destaque para aqueles associados à baixa disponibilidade de nutrientes no solo. Considerando a elevada demanda de nitrogênio pela cultura e o alto custo econômico e ambiental para a realização da adubação nitrogenada, uma alternativa seria aproveitar os benefícios proporcionados pela associação entre bactérias diazotróficas à cultura do milho, as quais favorecem a atividade de assimilação de nitrogênio, proporcionam maior crescimento de raízes, rápido crescimento inicial, maior tolerância a estresses e aumento na produtividade. Assim, para avaliar o potencial de tais bactérias, foram conduzidos trabalhos em casa de vegetação e campo com o objetivo de avaliar o efeito da inoculação de microrganismos associada a adubação nitrogenada tanto nos componentes vegetativos quanto nos componentes de produção da cultura do milho. Em casa de vegetação, utilizou-se 3 híbridos comerciais de milho submetidos aos seguintes tratamentos: ausência de inoculação, inoculação via semente com o *Azospirillum brasilense* (não comercial), inoculação via semente com o *Azospirillum brasilense* e *Bacillus subtilis* e inoculação via semente com Qualyfix Gramíneas (comercial), sendo o delineamento experimental de blocos casualizados com oito repetições, conduzido em faixas. Analisou-se para cada tratamento, clorofila, altura da parte aérea; biomassa vegetal fresca da parte aérea; biomassa vegetal seca da parte aérea; biomassa vegetal fresca de raiz e biomassa vegetal seca de raiz. Em campo, também se utilizou 3 híbridos comerciais de milho, submetidos a tratamentos com e sem aplicação de Nitrogênio em cobertura, intercalando-se a inoculação ou não com *Azospirillum brasilense*, sendo o delineamento experimental o de blocos ao acaso com 5 repetições, conduzido em faixas. Foram avaliadas em cada parcela: clorofila, altura das plantas, altura de inserção da espiga, produtividade de grãos em kg. ha⁻¹ e fatores relativos aos componentes de produção. Para ambos os experimentos, os dados coletados foram submetidos à análise de variância aplicando-se o teste F a 5% de probabilidade, sendo as médias comparadas ao nível de 5%. Em casa de vegetação, a inoculação com microrganismos via sementes não interferiu significativamente no desenvolvimento das plantas na cultura do milho e não proporcionou ganhos nas variáveis analisadas. Já em condições de campo, a inoculação de plantas de milho com *Azospirillum brasilense* é uma tecnologia promissora capaz de incrementar a produtividade da cultura. A inoculação com *Azospirillum brasilense* proporcionou maiores médias para as características vegetativas e foi superior quanto aos componentes de produção do milho em comparação aos tratamentos controle.

Palavras-chave: *Zea mays* L., *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*, Nitrogênio, Fixação biológica de nitrogênio.

BEHAVIOR OF MAIZE HYBRIDS SUBMITTED TO MICROORGANISM INOCULATION ASSOCIATED WITH NITROGEN FERTILIZATION

ABSTRACT

Maize cultivation is greatly influenced by environmental stresses, particularly those associated with low nutrient availability in the soil. Given the high nitrogen demand of maize and the significant economic and environmental costs associated with nitrogen fertilization, an alternative would be to leverage the benefits provided by the association of diazotrophic bacteria with maize. These bacteria enhance nitrogen assimilation activity, promote greater root growth, rapid initial growth, increased stress tolerance, and higher productivity. To evaluate the potential of such bacteria, greenhouse and field experiments were conducted to assess the effect of microorganism inoculation associated with nitrogen fertilization on both the vegetative and production components of maize. In the greenhouse, three commercial maize hybrids were used under the following treatments: no inoculation, seed inoculation with *Azospirillum brasilense* (non-commercial), seed inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Bacillus subtilis*, and seed inoculation with Qualyfix Grasses (commercial). The experimental design was randomized blocks with eight replications, conducted in strips. For each treatment, chlorophyll content, shoot height, fresh shoot biomass, dry shoot biomass, fresh root biomass, and dry root biomass were analyzed. In the field, three commercial maize hybrids were also used, subjected to treatments with and without topdressing nitrogen application, alternating inoculation or not with *Azospirillum brasilense*. The experimental design was a randomized block design with five replications, conducted in strips. In each plot, chlorophyll content, plant height, ear insertion height, grain yield in kg.ha⁻¹, and factors related to production components were evaluated. For both experiments, the collected data were subjected to analysis of variance using the F-test at a 5% probability level, with means compared at the 5% level. In the greenhouse, seed inoculation with microorganisms did not significantly affect plant development in maize and did not result in gains in the analyzed variables. However, under field conditions, inoculation of maize plants with *Azospirillum brasilense* is a promising technology capable of increasing crop productivity. Inoculation with *Azospirillum brasilense* resulted in higher averages for vegetative characteristics and was superior in terms of maize production components compared to control treatments.

Keywords: *Zea mays* L., *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*, Nitrogen, Biological nitrogen fixation.

1. INTRODUÇÃO

O aumento significativo na produção de milho nas últimas décadas pode ser atribuído a diversos fatores. Entre os mais impactantes estão a escolha do cultivar, as características do solo, as práticas de adubação, as condições climáticas, as técnicas de manejo cultural e a gestão de pragas e doenças (Silva et al., 2018; Rodrigues et al., 2019; Santos et al., 2019; Souza et al., 2019; Costa et al., 2020; Ferreira et al., 2020). O Brasil se encontra na terceira colocação no ranking mundial de produção do milho, de acordo com o quarto levantamento da safra mundial de milho pela USDA, com o equivalente a 129 milhões de toneladas na safra 2023/2024 (Fiesp, 2023).

Com imensa relevância no cenário econômico e produtivo, o milho (*Zea mays* L.) é o cereal mais cultivado no Brasil (Guimarães et al., 2021), possuindo também grande importância mundial (Pinheiro et al., 2021). O Brasil se apresenta como um grande exportador de milho, em 2023, as exportações mostraram um crescimento significativo. Apenas em junho de 2023, o Brasil exportou 1,03 milhão de toneladas de milho, superando os 0,38 milhão de toneladas exportados em maio e também acima das 0,99 milhão de toneladas exportadas em junho de 2022 (Conab, 2023).

Com a crescente produção e expansão da cultura do milho, se torna inevitável a utilização de grandes quantidades de insumos, principalmente de fertilizantes nitrogenados, para manutenção e promoção de uma produtividade elevada, fato que encarece a instalação e manutenção da cultura. Assim, a associação de bactérias diazotróficas (fixadoras de nitrogênio) e culturas de grande interesse econômico pode ser uma alternativa viável para a redução da utilização exacerbada de insumos, principalmente fertilizantes nitrogenados, visto que esses microrganismos são capazes de promover o crescimento vegetal e aumentar a produtividade das culturas. O microrganismo que se destaca no Brasil nesse sentido, principalmente para gramíneas, pertence ao gênero *Azospirillum*, o qual contribui na Fixação biológica de Nitrogênio (Dartora et al., 2013).

Além do *Azospirillum brasilense*, o gênero *Bacillus* é outro grupo de bactérias cuja aplicação na cultura de milho vem sendo avaliada (Paiva et al., 2020). Tal gênero se enquadra no grupo das rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCPs), as quais habitam o solo e, no geral, são isoladas da rizosfera de diversas plantas cultivadas. A associação de tais microrganismos citados com as plantas de milho, proporcionam diversas vantagens a partir da produção, por parte dessas bactérias, de antibióticos, fitormônios e enzimas, levando à promoção do crescimento das plantas e o controle biológico de fitopatógenos (Buchelt et al., 2019).

As bactérias promotoras de crescimento, atuam através de diversos mecanismos conhecidos, possibilitando a disponibilização de nutrientes por

exemplo, por meio da fixação biológica de nitrogênio, solubilização e mineralização do fosfato e outros minerais (Oliveira et al., 2003).

Assim, o uso de microrganismos promotores do crescimento de plantas se faz uma alternativa para aumentar a disponibilidade de nitrogênio às culturas, sendo uma opção menos onerosa e mais viável ecologicamente. Desse modo, é oportuno a avaliação de utilização de inoculantes com *Azospirillum brasilense* e *Bacillus subtilis* em associação com a cultura do milho, a fim de obter incrementos em produtividade, plantas mais saudas e menor utilização de adubos nitrogenados nas lavouras, contribuindo para a redução dos custos de produção e um menor impacto ambiental.

Diante desse contexto, para avaliar o potencial das bactérias promotoras de crescimento na cultura do milho, foram conduzidos trabalhos em casa de vegetação e campo com o objetivo de avaliar o efeito da inoculação de microrganismos associada a adubação nitrogenada tanto nos componentes vegetativos quanto nos componentes de produção da cultura do milho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A Cultura do milho

Segundo a Conab (2023/2024), estima-se uma produção total de 117,6 milhões de toneladas de milho, mostrando uma redução de 10,9% em relação ao ciclo anterior. A justificativa se dá por uma menor área plantada e também devido a uma piora na expectativa de rendimento das lavouras. A primeira safra do cereal que representa 20,7% da produção, passa atualmente por situações adversas como, alta pluviosidade nos estados do Sul, ao contrário de baixas pluviosidades e altas temperaturas no Centro-Oeste.

O milho pertence à ordem Gramineae, à família Poaceae, ao gênero *Zea* e à espécie *Zea mays* L. Sua notável adaptabilidade é evidenciada pela diversidade de genótipos, possibilitando seu cultivo em uma ampla faixa de altitudes, longitudes e diferentes condições climáticas. Suas principais finalidades de utilização são a alimentação humana, animal e também energética. A cultura no geral, necessita de 500 a 800 mm de lâmina d'água, bem distribuídos, desde a semeadura até o ponto de maturidade fisiológica dos grãos, sendo que a iniciação floral e o desenvolvimento da inflorescência, além

do período de fertilização e enchimento dos grãos, são os mais sensíveis em relação à água (Barros; Calado, 2014).

O milho é uma cultura de grande relevância econômica e desempenha um papel crucial nos mercados agrícolas tanto nacionais quanto internacionais, sendo uma das principais commodities comercializadas globalmente (Lopes et al., 2017). Atualmente, o milho constitui uma parte substancial do mercado mundial de grãos, destacando-se como o cereal mais produzido e consumido no mundo (Contini et al., 2019).

No Brasil, o ciclo da cultura do milho varia entre 110 e 180 dias, desde a semeadura até a colheita, dependendo da classificação dos genótipos como superprecoce, precoce ou tardio (Fancelli; Dourado Neto, 2000). De acordo com Resende et al. (2003), o desenvolvimento da planta é dividido em estádios vegetativos (V) e reprodutivos (R). Os estádios vegetativos incluem emergência (VE), uma folha desenvolvida (V1), duas folhas desenvolvidas (V2), três folhas desenvolvidas (V3), quatro folhas desenvolvidas (V4) e várias folhas desenvolvidas (Vn). Já os estádios reprodutivos englobam embonecamento e polinização (R1), grão bolha d'água (R2), grão leitoso (R3), grão pastoso (R4), formação de dente (R5) e maturidade fisiológica (R6). Além disso, o pendoamento é identificado como VT.

2.2 Exigências da cultura do milho e adubação nitrogenada

Apesar de apresentar elevada taxa fotossintética, a cultura do milho é grandemente influenciada pelos estresses ambientais, com destaque para aqueles associados à baixa fertilidade dos solos. O nutriente mais exigido para esta cultura é o nitrogênio, pois é o que mais influencia a produtividade (Boldizar;

Hartman, 2020), entretanto, devido ao seu baixo teor disponível na maioria dos solos brasileiros, a adubação nitrogenada se torna uma prática indispensável, sendo que nesse caso, os fertilizantes inorgânicos ganham destaque.

De acordo com Martins et al. (2018), altas produtividades na cultura do milho exigem grandes quantidades de nitrogênio, em virtude dos solos de baixa fertilidade e, afim de suprir a demanda por esse nutriente, a prática mais comum é o uso de fertilizantes nitrogenados. Assim, a fertilização com nitrogênio representa um dos maiores custos do processo de produção de culturas não leguminosas (Nunes et al., 2015).

Levando em consideração a elevada demanda de nitrogênio pela cultura e o alto custo econômico e ambiental para a realização da adubação nitrogenada, surge a necessidade de se incorporar novas tecnologias que promovam tanto a potencialização quanto a racionalização dos fertilizantes nitrogenados. O milho remove grandes quantidades de nitrogênio, 70 a 90% dos experimentos realizados a campo apresentam respostas à aplicação de nitrogênio (Coelho, 2006). Na cultura temos períodos diferentes de intensa absorção: o primeiro (V4 a V12 folhas) é durante a fase de desenvolvimento vegetativo, quando o número potencial de grãos está sendo definido, e o segundo se dá na fase reprodutiva ou formação da espiga, ao atingir o potencial produtivo (Embrapa milho e sorgo, 2011).

Para produzir 1.000 kg de grãos, estima-se que são necessários cerca de 80 kg de nitrogênio (N). No entanto, os solos brasileiros são geralmente muito pobres em nitrogênio, fornecendo apenas entre 10 a 15 kg de N por hectare para a cultura. Devido a essa deficiência, os fertilizantes minerais nitrogenados e a

Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) são as principais fontes de nitrogênio utilizadas na agricultura (Hungria et al., 2007).

Em pesquisas, com adubação de 200 kg.ha⁻¹ N, aumentou-se a quantidade de grãos por fileira, elevando o rendimento de grãos, por outro lado, o número de fileiras por espiga não diferiu estatisticamente (Tomazela, 2005). Em experimentos, Debastiani (2016) observou maior altura de plantas nos tratamentos com adubação nitrogenada, altura de inserção de espiga, número de fileiras por espiga, número de grãos por fileiras e número de grãos por espiga, entretanto, não houve ganhos no diâmetro do colmo, ao contrário de Soratto et al. (2010), que observaram um aumento no diâmetro de colmo a partir da adubação nitrogenada.

Gomes et al. (2007), destacaram que aplicações de nitrogênio 30 dias após a emergência das plantas em cobertura e o parcelamento (antecipada, na semeadura e 30 dias após a emergência das plantas) proporcionaram a maior quantidade de grãos por espiga e massa de mil grãos. Mascarello e Zanão Junior (2015) e Debastiani (2016) obtiveram resultados parecidos no aumento na massa de grãos e na produtividade com a adubação nitrogenada.

2.3 Bactérias promotoras do crescimento

Para suprir a demanda de N de uma forma mais sustentável, uma alternativa em estudo é o aproveitamento dos benefícios da associação entre bactérias diazotróficas, que são capazes de fixar nitrogênio, e culturas de grande importância econômica. Esses microrganismos têm o potencial de promover o crescimento vegetal e aumentar o desenvolvimento e a produtividade das culturas (Islam et al., 2016). Especificamente para o milho, alguns estudos foram

realizados objetivando identificar microrganismos capazes de fixar Nitrogênio, culminando conseqüentemente na substituição ou redução da adubação Nitrogenada. Apesar de não terem sido identificados organismos eficientes e específicos como ocorre para as leguminosas, alguns resultados positivos foram obtidos com alguns microrganismos dos gêneros *Azospirillum* e *Bacillus*. As bactérias do gênero *Azospirillum* obtiveram destaque a partir da década de 1970, com a descoberta da capacidade de fixação biológica de nitrogênio (FBN) dessas bactérias quando associadas com gramíneas (Döbereiner; Day, 1976).

Rizobactérias promotoras do crescimento de plantas (RPCPs) são bactérias que habitam o solo e geralmente se encontram isoladas da rizosfera de muitas plantas cultivadas. A aplicação de bactérias diazotróficas nos solos proporciona benefícios diretos à produção agrícola, sendo uma alternativa de cultivo com menor uso de insumos agrícolas (Lavie e Stotzky, 1986; Figueiredo et al., 2009). Esses microrganismos têm amplos efeitos no desenvolvimento das plantas, desde a germinação das sementes até a produção de grãos, conforme destacado por Lazzareti e Bettiol (1997). Entre as RPCPs mais estudadas estão *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azospirillum* e rizóbios (Araújo, 2008).

Embora as pesquisas específicas sobre o milho não sejam numerosas, *Bacillus subtilis* emerge como uma das principais RPCPs que promovem o crescimento vegetal. *Bacillus subtilis* estimula o crescimento das plantas através de mecanismos como a produção de fitormônios promotores de crescimento (Datta et al., 1982), sideróforos e antibióticos (Harman et al., 2004), além da indução de resistência das plantas contra fitopatógenos (Ramamoorthy et al., 2001). Portanto, a inoculação de sementes com produtos à base de *Bacillus*

subtilis pode beneficiar significativamente o desenvolvimento e a produtividade do milho.

2.4 Benefícios da Inoculação

Dentre as tecnologias voltadas para o aumento da produtividade das grandes culturas, nota-se a utilização de microrganismos promotores de crescimento, como é o caso do *Azospirillum* (Fukami; Cerezini; Hungria, 2018). Conforme Cavallet et al. (2000), o efeito do *Azospirillum* spp. no desenvolvimento do milho e de outras gramíneas tem sido estudado quanto ao rendimento das culturas, bem como em relação às causas fisiológicas que podem aumentar esse rendimento. Segundo Didonet et al. (1996), existem evidências de que a inoculação de milho com *Azospirillum brasilense* seja responsável pelo aumento da taxa de acúmulo de matéria seca, o que parece estar relacionado com o aumento da atividade das enzimas fotossintéticas e de assimilação de nitrogênio. Contudo, o sucesso da inoculação parece estar diretamente relacionado com a especificidade da interação entre espécies ou genótipos de plantas e as espécies ou estirpes das bactérias, modo de inoculação, além dos fatores relacionados ao ambiente (Dalla santa et al., 2004; Hungria, 2011; Braccini et al., 2012).

Assim como *Bacillus subtilis*, o *Azospirillum* produz fitormônios que estimulam o crescimento das raízes de diversas espécies de plantas. Verma et al. (2014) identificaram que a bactéria promove o crescimento das raízes por meio da liberação de ácido indol-acético (AIA), giberelinas e citocininas, substâncias conhecidas por estimular o desenvolvimento radicular. O maior desenvolvimento das raízes pela inoculação com *Azospirillum* gera benefícios

na absorção da água e minerais, maior tolerância a estresses como salinidade e seca, resultando em uma planta mais vigorosa e, conseqüentemente, mais produtiva (Dobbelaere et al., 2001).

Devido ao maior crescimento radicular e melhor nutrição das plantas, também há relatos de maior tolerância a agentes patogênicos de plantas (Correa et al., 2008). O rendimento de grãos aumenta com a inoculação com *Azospirillum*, provavelmente devido ao aumento do diâmetro da espiga e do número de fileiras, o que pode ser explicado pelo aumento da fixação biológica que a bactéria oferece à planta, favorecendo o desenvolvimento das raízes e o crescimento, além de favorecer a processo fotossintético, aumentando o rendimento (Bashan; De-Bashan, 2010).

Em virtude do efeito benéfico do *Azospirillum* e *Bacillus subtilis*, as plantas apresentam raízes mais longas e plântulas maiores e, conseqüentemente, as plantas apresentam um crescimento inicial mais rápido. Estudos realizados por Garcia et al. (1996), com sementes de milho inoculadas com *Azospirillum*, verificaram aumento de matéria seca de raiz e da parte aérea. Nos ensaios de Salomone e Döbereiner (1996), que avaliaram a resposta de vários genótipos de milho à inoculação com quatro estirpes de *Azospirillum* spp. isoladas na Argentina e três isoladas de raízes de sorgo e milho no Brasil, observaram um aumento no peso dos grãos. Avaliações mostraram também que, com a inoculação do milho a partir das estirpes Ab, o rendimento médio dos tratamentos inoculados foi 24% superior ao do tratamento controle (Hungria et al. 2010).

Em experimento, no qual foram utilizados 46 genótipos de milho, foi identificado aumento de 5% no rendimento de grãos com a inoculação de

Azospirillum e, nos genótipos avaliados, 65% obtiveram melhor resposta, quando inoculados com bactérias, e dois genótipos em específico se destacaram, demonstrando que a resposta de fixação de N pode ser relacionada com o genótipo utilizado (Segismundo et al., 2020). Em ensaios conduzidos por Rocha, Coltro e Lizzoni (2020) evidenciou-se que a inoculação com *Azospirillum brasilense* não influenciou as variáveis altura de plantas, altura de inserção da espiga e peso de mil grãos, por outro lado, constatou-se aumento da produtividade evidenciando os efeitos benéficos da associação da adubação com a inoculação.

A resposta diferencial de genótipos de milho a diferentes estirpes de bactéria tem sido verificada nas diferentes pesquisas, com casos em que a associação é tão eficiente que permite a substituição parcial da fertilização com nitrogênio pela inoculação com *Azospirillum* spp. (Garcia De Salomone et al., 1996; Bashan; Holguin; Bashan, 2004; Montañez et al., 2005; Roesch et al., 2005; Lana et al., 2012; Pereira et al., 2015). Em virtude da capacidade das RPCPs de liberar substâncias promotoras de crescimento e auxiliar as plantas pelo fornecimento de nutrientes, podem haver efeitos positivos no desenvolvimento e produtividade do milho além de proporcionar uma economia na adubação nitrogenada.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Experimento em Casa de Vegetação

3.1.1 Local, tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi realizado em casa de vegetação no Departamento de Produção Vegetal da UNESP Campus de Jaboticabal, durante o período de Abril a Julho de 2023. Para a pesquisa, foram utilizados três híbridos de milho comerciais, SEMPRE 20A12 VIP3, STATUS VIPTERA 3 e MG593, sendo o delineamento experimental adotado o de blocos casualizados, arranjado em faixas, com oito repetições, sendo cada parcela representada por 1 saco de polietileno com capacidade de 4,5 dm³ de solo, contendo uma planta cada.

A partir de análise química do solo, constatou-se a necessidade de adubação de base nas seguintes proporções: 120 mg/dm³ de N; 120 mg/dm³ de P; 62,7 mg/dm³ de S; 0,5 mg/dm³ de B; 2,5 mg/dm³ de Zn; 4,0 mg/dm³ de Mn; 0,05 mg/dm³ de Mo e 1 mg/dm³ de Cu. Posteriormente, em cobertura após 26 dias da semeadura, foram aplicados: 30 mg/dm³ de N e 40 mg/dm³ de K. Os adubos utilizados foram: Ureia, Fosfato Monoamônico, Sulfato de Amônio, K_2HPO_4 , H_3BO_3 , ZnSO_4 , MnCl_2 , MoO_3 e CuSO_4 .

3.1.2 Tratamentos e características avaliadas

Os três híbridos empregados no experimento foram submetidos a quatro tratamentos envolvendo a inoculação, ou não, via solo com os microrganismos, sendo: (1) ausência de inoculação, (2) inoculação via semente com o *Azospirillum brasilense*, (3) inoculação via semente com o *Azospirillum brasilense* e *Bacillus subtilis* e (4) inoculação via semente com QualyFix Gramíneas, como pode-se observar na Tabela 1. Para o tratamento 2 adotou-se um inoculante não comercial composto pelas estirpes AbV5 + AbV6 e concentração de 5×10^6 UFC/ml, já para o tratamento 4, adotou-se o inoculante comercial QualyFix Gramíneas (estirpes AbV5 + AbV6 e concentração de 5×10^8 UFC/ml).

Tabela 1. Dosagem e formulação dos microrganismos utilizados.

Tratamentos	Microrganismos	Doses
1	Controle	Ausência de inoculação
2	<i>Azospirillum brasilense</i>	Solo - 5ml
3	<i>Azospirillum brasilense</i> + <i>Bacillus subtilis</i>	Solo – 2,5ml/2,5ml
4	Qualyfix	Solo - 5ml

Após 72 dias da emergência, período em que foi possível manter as plantas em casa de vegetação, foram avaliadas para cada tratamento, características relacionadas à planta, sendo elas: índice de conteúdo de clorofila das folhas, altura média das plantas (cm), biomassa fresca e seca da parte aérea (g/planta) e biomassa fresca e seca das raízes (g/planta).

O teor de clorofila foliar foi mensurado com o clorofilômetro portátil (OptiSciences, CCM-200), com as medições feitas em todas as parcelas e a leitura realizada no terço médio da última folha completamente expandida.

Com auxílio de uma régua métrica graduada, foi obtida a altura das plantas, pela distância entre a superfície do solo e a base de inserção da folha bandeira, posteriormente foi obtida a média entre híbridos e tratamentos.

Após o corte das plantas em sua base e seu armazenamento em sacos de papel, com o auxílio de balança analítica, foi obtida a massa fresca da parte aérea pela pesagem das folhas e colmo, com valores obtidos em gramas. Posteriormente, a massa seca de parte aérea foi obtida pelo acondicionamento do material fresco em estufa de secagem a uma temperatura de 65°C, por 72 horas, as amostras foram pesadas por meio de uma balança analítica obtendo-se então a massa seca da parte aérea em gramas.

As raízes, após o corte da parte aérea, foram lavadas de modo a se retirar qualquer resíduo ou outro tipo de impureza, o procedimento foi realizado utilizando uma peneira a fim de não perder material vegetal e facilitar a drenagem das impurezas. A variável massa fresca de raiz foi obtida após as raízes lavadas serem acondicionadas em sacos de papel e pesadas em uma balança analítica, sendo os dados contabilizados em gramas. Posteriormente as raízes frescas foram acondicionadas em estufa de secagem por um período 72 horas a uma temperatura de 65°C, após isso as amostras foram pesadas por meio de uma balança analítica, com os dados obtidos também em gramas.

Após a coleta dos dados, para cada híbrido e caráter, foram feitas análises de variância individual aplicando-se o teste F a 5% de probabilidade, sendo as médias comparadas ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio do programa estatístico Sisvar.

3.2 Experimento em Campo

3.2.1 Área Experimental

O experimento foi realizado durante o período de Dezembro de 2023 a Maio de 2024 na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, campus de Jaboticabal/SP, com uma altitude média de 615,01 metros acima do nível do mar. O relevo pode ser definido como suave ondulado e sua localização geográfica é definida por: latitude 21° 14' 05"S e longitude 48° 17' 09" WG (ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA - UNESP CAMPUS JABOTICABAL). O clima é definido como tropical com inverno seco e classificado como Aw de acordo com o Sistema Internacional de Classificação de Köppen (1931), com temperatura média de 23.7 °C. A média pluviométrica anual é de 1.340 mm, com chuvas concentradas principalmente durante o verão. O tipo de solo é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (Santos et al., 2018).

Durante a condução do experimento, período que compreende o plantio até a colheita, a precipitação total foi de 470,9 mm (Figura 1) de acordo com a Estação Agroclimatológica do departamento de Ciências exatas da Fcav/Unesp - câmpus de Jaboticabal.

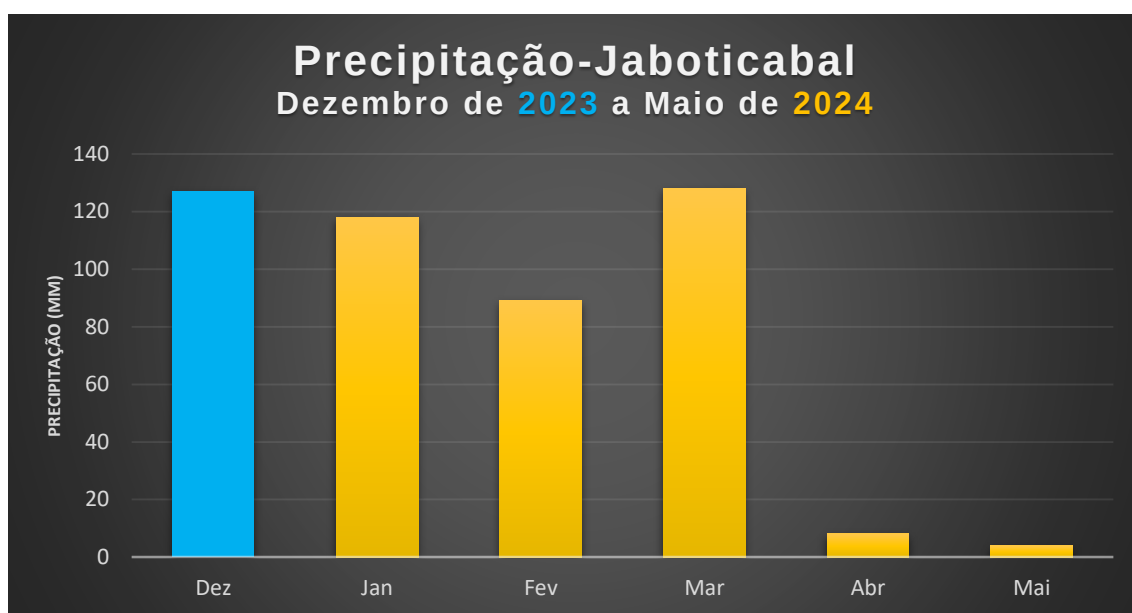


Figura 1. Precipitação durante a condução do experimento. Fonte: ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS DA FCAV/UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL.

3.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

Para o desenvolvimento do presente trabalho durante a safra 2023/2024, foram utilizados 3 híbridos comerciais de milho e um inoculante formulado com as estirpes Abv5 e Abv6 de *Azospirillum brasilense*, sendo que a inoculação foi realizada via solo. Os híbridos utilizados foram SHU 6211 TRE (H1), AG 8701 PRO 4 (H2) e STATUS VIP 3 (H3), já o inoculante comercial utilizado foi o Qualyfix Gramíneas.

Cada híbrido foi submetido a quatro tratamentos: (1) Inoculação com o *Azospirillum brasilense* via solo, sem adubação nitrogenada de cobertura, (2) Inoculação com o *Azospirillum brasilense* via solo, com adubação nitrogenada de cobertura, (3) Ausência de inoculação com o *Azospirillum brasilense*, com adubação nitrogenada de cobertura e, (4) Ausência de inoculação com *Azospirillum brasilense*, sem adubação nitrogenada de cobertura, de acordo com a Tabela 2. Empregou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso,

arranjado em faixas, com 5 repetições, sendo cada parcela constituída por quatro linhas de 5,00 metros de comprimento, com espaçamento de 0,50 metros entre linhas.

Tabela 2. Tratamentos empregados nas parcelas.

Tratamentos	Inoculação	Adubação de cobertura
1	<i>Azospirillum brasilense</i>	Ausência
2	<i>Azospirillum brasilense</i>	Adubação nitrogenada
3	Ausência	Adubação nitrogenada
4	Ausência	Ausência

O plantio do experimento foi realizado no dia 5 de Dezembro de 2023 com uma semeadora adubadora utilizando-se adubo com formulação 8- 28-16 na base aplicado em área total, em uma dose de 300 kg.ha⁻¹. A inoculação com o *Azospirillum brasilense* foi realizada no mesmo dia via solo por meio do equipamento Micron Combat, com o produto comercial QualyFix Gramíneas® na dose 600 ml ha⁻¹ (5×10⁸ bactérias ml⁻¹, estirpes AbV5 + AbV6), conforme recomendações do fabricante.

Todas as parcelas receberam a mesma adubação de base, e nas parcelas que receberam adubação de N em cobertura foi aplicada Uréia na dose de 140 kg.ha⁻¹ de N, após 26 dias da semeadura, quando as plantas se encontravam nos estágios V4/V5 de desenvolvimento. No dia 11 de janeiro de 2024, realizou-se a segunda inoculação com *Azospirillum brasilense* nas parcelas que receberam os microrganismos, a fim de garantir a manutenção das colônias bacterianas, fazendo-se uso da mesma dosagem, metodologia e produtos adotados anteriormente, aplicando-se com uma bomba costal.

A colheita manual foi feita no dia 16/04/2024 e o milho foi debulhado com a ajuda de um debulhador de grãos.

3.2.3 Parâmetros avaliados

Para as avaliações foram consideradas como parcela útil apenas as duas linhas centrais da parcela. Em cada parcela do experimento avaliou-se o índice de conteúdo de clorofila, massa fresca da parte aérea, altura da planta, altura de inserção da espiga, componentes de produção e produtividade de grãos.

O índice de conteúdo de clorofila foliar (CLR) foi mensurado com clorofilômetro portátil (OptiSciences, CCM-200), quando as plantas se encontravam nos estádios VT (60 dias), sendo as medições feitas na parte central de cada folha e utilizando quatro plantas de cada parcela na área útil.

Para a determinação da massa verde fresca (MF) pesou-se as folhas, colmos e espigas coletadas de cinco plantas de cada parcela, quando as plantas se encontravam em estágio R2-R3.

Para avaliação a altura (ALT), com auxílio de régua graduada em centímetros determinou-se a altura média das plantas (cm) pela distância entre a superfície do solo e a base de inserção da folha bandeira (dados obtidos no estágio R4) e altura média de inserção da espiga (cm) pela distância entre a superfície do solo e o ponto de inserção da espiga principal com o colmo. Ambos os dados foram coletados das mesmas plantas, amostrando quatro plantas por parcela útil.

Após a colheita das espigas da área útil das parcelas, avaliou-se os componentes de produção da cultura, sendo: **a)** Comprimento de Espiga (CE): com o auxílio de régua graduada (cm) foi obtido o comprimento das espigas em

centímetros. **b)** Diâmetro de espiga (DE): com auxílio de paquímetro, aferiu-se o diâmetro das espigas em centímetros, sendo a medida tomada no terço inferior da espiga. **c)** Número de fileiras de grãos (NF): realizou-se a contagem do número de fileiras de grãos por espiga. **d)** Número de grãos por fileira (NG): foi realizada a contagem do número médio de grãos por fileira. **e)** Peso médio de grãos (PMG): Contabilizou-se 1000 grãos por parcela e com auxílio de uma balança de precisão, obteve-se o peso médio dos mesmos para híbridos e tratamentos.

Para estimar a produtividade de grãos da cultura (PROD), as espigas da área útil das parcelas coletadas foram debulhadas em debulhadora mecânica e após a debulha, pesou-se os grãos e assim foi estimada a produtividade de grãos em kg. ha⁻¹.

Após a coleta dos dados, para cada híbrido e caráter, foram feitas análises de variância individual aplicando-se o teste F a 5% de probabilidade, sendo as médias comparadas ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio do programa estatístico AgroEstat.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento em Casa de Vegetação

A partir das análises estatísticas, não houve diferenças significativas nas características avaliadas nos híbridos, decorrentes da inoculação com os microrganismos nas sementes de milho (Tabelas 3, 4 e 5), assim, não houve ganhos em teor de clorofila, altura e biomassa fresca e seca da parte aérea e raízes que fossem significativas. Resultados parecidos foram obtidos em trabalho realizado Moraes et al. (2017), onde não se obteve ganhos pela inoculação e a aplicação da bactéria também não interferiu no desenvolvimento das plantas e na produtividade da cultura.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para índice de clorofila (CLOR), altura (ALT), massa fresca da parte aérea (MFA), massa seca da parte aérea (MSA), massa fresca da raiz (MFR) e massa seca da raiz (MSR), do híbrido SEMPRE 20A12 VIP3.

Híbrido SEMPRE	CLOR	ALT	MFA	MSA	MFR	MSR
QM	14,95	1098,45	2263,01	90,29	233,87	4,05
F(Pr)	1,001(0,41)	0,802(0,50)	0,924(0,44)	1,264(0,31)	2,413 (0,0953)	0,477 (0,70)
MÉDIA	18,53	172,31	266,83	44,90	46,47	13,50
CV%	20,86	21,47	18,55	18,82	21,18	21,59
Controle	19,15 A (2)	177,0 A (2)	272,88 A (2)	45,27 A (3)	47,44 AB (2)	13,52 A (3)
<i>Azospirillum brasilense</i>	16,55 A (4)	155,75 A (4)	242,8 A (4)	40,4 A (4)	39,55 B (4)	12,58 A (4)
<i>A. brasilense</i> + <i>Bacillus subtilis</i>	19,65 A (1)	183,0 A (1)	281,85 A (1)	48,53 A (1)	52,7 A (1)	14,32 A (1)
Qualyfix	18,75 A (3)	173,5 A (3)	269,81 A (3)	45,38 A (2)	46,21 AB (3)	13,58 A (2)

Médias seguidas de mesma letra, na vertical, não diferem entre si pelo Teste médias, ao nível de 5% de significância. A sequência de números indica a ordem de desempenho entre os tratamentos.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para índice de clorofila (CLOR), altura (ALT), massa fresca da parte aérea (MFA), massa seca da parte aérea (MSA), massa fresca da raiz (MFR) e massa seca da raiz (MSR), do híbrido STATUS VIPTERA 3.

Híbrido STATUS	CLOR	ALT	MFA	MSA	MFR	MSR
QM	17,59	1024,08	1895,23	99,84	148,04	3,05
F(Pr)	1,035(0,40)	1,345(0,28)	1,633(0,21)	2,026 (0,14)	1,288 (0,30)	0,763 (0,53)
MÉDIA	22,92	191,25	216,14	37,20	32,69	11,69
CV%	17,98	14,43	15,76	18,87	32,69	17,11
Controle	20,75 A (4)	175,87 A (4)	195,4 A (4)	32,13 A (4)	27,05 A (4)	10,94 A (4)
<i>Azospirillum brasilense</i>	23,8 A (2)	193,5 A (2)	214,17 A (3)	37,66 A (3)	32,01 A (3)	11,66 A (3)
<i>A. brasilense</i> + <i>Bacillus subtilis</i>	23,94 A (1)	203,12 A (1)	230,55 A (1)	40,2 A (1)	36,55 A (1)	11,72 A (2)
Qualyfix	23,2 A (3)	192,5 A (3)	224,45 A (2)	38,81 A (2)	35,58 A (2)	12,45 A (1)

Médias seguidas de mesma letra, na vertical, não diferem entre si pelo Teste médias, ao nível de 5% de significância. A sequência de números indica a ordem de desempenho entre os tratamentos.

Tabela 5. Análise de variância da clorofila (CLOR), altura (ALT), massa fresca da parte aérea (MFA), massa seca da parte aérea (MSA), massa fresca da raiz (MFR) e massa seca da raiz (MSR), do híbrido MG593.

Híbrido MG593	CLOR	ALT	MFA	MSA	MFR	MSR
QM	13,63	490,36	184,44	5,71	256,17	2,69
F(Pr)	0,883(0,46)	1,065 (0,38)	0,408 (0,75)	0,134 (0,94)	1,149 (0,35)	0,378 (0,77)
MÉDIA	25,58	199,28	237,51	47,38	63,35	15,80
CV%	15,36	10,77	8,96	13,78	23,57	16,91
Controle	24,51 A (3)	196,75 A (2)	243,45 A (1)	48,35 A (1)	69,6 A (1)	16,06 A (2)
<i>Azospirillum brasilense</i>	24,41 A (4)	195,75 A (3)	232,3 A (4)	46,68 A (3)	60,82 A (3)	15,92 A (3)
<i>A. brasilense</i> + <i>Bacillus subtilis</i>	26,51 A (2)	193,75 A (4)	238,95 A (2)	46,66 A (4)	56,82 A (4)	14,96 A (4)
Qualyfix	26,9 A (1)	210,87 A (1)	235,35 A (3)	47,83 A (2)	66,18 A (2)	16,27 A (1)

Médias seguidas de mesma letra, na vertical, não diferem entre si pelo Teste médias, ao nível de 5% de significância. A sequência de números indica a ordem de desempenho entre os tratamentos.

Na média dos três híbridos para os parâmetros avaliados, considerando os quatro tratamentos, observa-se, de fato, que não há diferenças entre os tratamentos (Figura 2). De acordo com os resultados apresentados, nenhum dos híbridos testados respondeu à inoculação de maneira significativa nas condições em que o experimento foi conduzido.

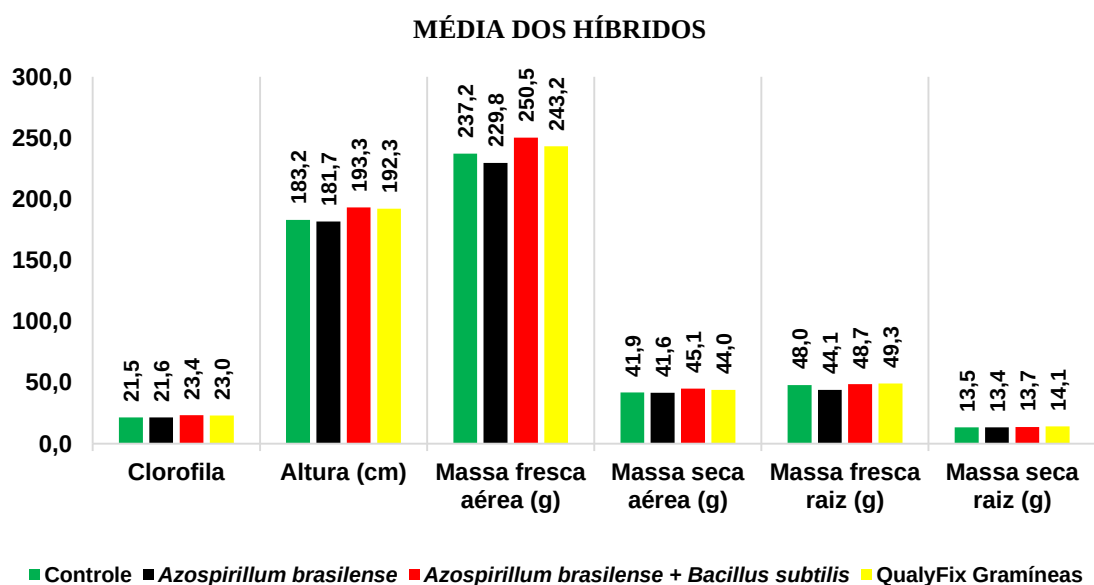


Figura 2. Média dos híbridos em função dos tratamentos, para os caracteres avaliados.

Como justificativa aos resultados, pressupõe-se que as doses de nitrogênio que foram aplicadas no plantio e em cobertura, 120 mg/dm³ e 30 mg/dm³ respectivamente, foram suficientes para atender a demanda das plantas durante seu desenvolvimento e, conseqüentemente, a inoculação não surtiu efeito. Esse resultado, também, sugere falta de afinidade entre as estirpes bacterianas dos inoculantes e os genótipos de milho.

Resultados semelhantes aos obtidos a partir das características analisadas foram obtidos por diversos autores. Sobre o índice de conteúdo de clorofila, não se evidenciou diferenças significativas, assim como Pereira et al. (2015) não evidenciaram ganhos significativos para essa característica ao utilizarem *Azospirillum brasiliense* em plantas de milho.

Em relação à altura, os tratamentos não mostraram efeitos significativos para os híbridos, Cunha et al. (2014) a partir da inoculação de *Azospirillum brasiliense* em milho, não obtiveram incrementos na altura de plantas, assim como Lima et al. (2011), que ao realizarem um estudo inoculando sementes de milho com *Bacillus subtilis* fornecendo também adubação à cultura, não obtiveram ganhos na altura de plantas.

De mesma maneira, para massa fresca e seca da parte aérea, os tratamentos inoculados não surtiram efeitos significativos em relação ao tratamento controle, que em alguns casos demonstrava os melhores valores.

Quanto a matéria fresca de raízes, os tratamentos inoculados também não mostraram eficiência, visto que não se diferenciavam do tratamento controle. Para matéria seca de raízes, não se identificou diferenças significativas, assim como Silva (2013), inoculando plantas de milho com *Azospirillum brasiliense* e

fornecendo também aplicação de nitrogênio mineral, não obteve incrementos nessa característica.

4.2 Experimento em Campo

Verificou-se diferenças significativas entre híbridos e tratamentos com *Azospirillum*, tanto para componentes vegetativos, quanto para componentes de produção. Em relação aos componentes vegetativos, altura (ALT), índice de conteúdo de clorofila (CLR), altura de inserção da espiga (AIE) e massa fresca (MF), identificou-se melhor desempenho nos tratamentos inoculados (Tabelas 6 e 7).

As variáveis comprimento de espiga e número de grãos mostraram diferenças somente entre híbridos, já o número de fileiras não se alterou entre híbridos e tratamentos. Constatou-se que o peso de mil grãos (PMG) e a produtividade de grãos (PROD) de milho foi afetada pelos tratamentos com *Azospirillum* e se diferenciou, principalmente, entre híbridos. Os resultados obtidos nas análises dos diferentes híbridos de milho revelam uma série de efeitos principais e interações significativas entre os tratamentos adotados (Tabelas 8, 9 e 10).

Com base nos resultados apresentados, fica evidente que os híbridos testados mostraram respostas positivas à inoculação com *Azospirillum brasilense*, para até mais de uma variável, indicando que existe compatibilidade entre as estirpes bacterianas presentes no inoculante e os genótipos de milho utilizados. Estudos desse tipo são relevantes, uma vez que muitas pesquisas têm destacado a afinidade entre estirpes de *Azospirillum* e variedades específicas de milho (Wani et al., 1985), assim como entre a bactéria e diferentes

espécies de plantas (Penot et al., 1992). Nesse contexto, o genótipo exerceu influência na resposta das plantas à inoculação, conforme observado em milho (Arsac et al., 1990; Salamone; Döbereiner, 1996; Salamone et al., 1996).

Souza et al. (2019) constataram um impacto positivo da inoculação na produtividade de grãos de milho em seu estudo, no entanto, observaram que os efeitos sobre as gramíneas são variáveis. De acordo com Lana et al. (2012), é crucial considerar a interação entre o genótipo da planta e as cepas eficazes da bactéria para alcançar sucesso na fixação biológica do nitrogênio. Bartchechen et al. (2010) também apontam que a inconsistência nos resultados das pesquisas com *Azospirillum* na cultura do milho pode variar conforme as condições experimentais, sendo essa a principal limitação para a adoção da bactéria na cultura do milho.

Em vários parâmetros, o tratamento somente inoculado se equiparou e até foi superior aos tratamentos que receberam adubação de cobertura nitrogenada, mostrando a eficiência da atividade das bactérias, visto que a inoculação com *Azospirillum* tem sido amplamente estudada por seus efeitos benéficos na mitigação do estresse em plantas. De acordo com Bashan et al. (2014), o *Azospirillum* promove o crescimento das raízes, melhora a absorção de água e nutrientes e aumenta a tolerância das plantas ao estresse, contribuindo significativamente para a redução do estresse hídrico e salino. Estudos demonstraram que *Azospirillum* pode melhorar a resistência das plantas a estresses hídrico e salino, aumentando a produção de fito-hormônios e antioxidantes que ajudam as plantas a superar condições adversas (Bashan et al., 2004; Cassán et al., 2014).

Em plantas de tomate, *Azospirillum* foi associado a uma melhor retenção de água e crescimento mais vigoroso sob condições de déficit hídrico (Cohen et al., 2009). Além disso, Bashan et al. (2006a) relataram que *Azospirillum* pode reduzir o estresse oxidativo em plantas, promovendo a produção de antioxidantes. Assim, é possível que as bactérias possam ter auxiliado na redução do estresse hídrico nas plantas, ocasionado pela falta de chuva durante o período de condução do experimento, como mostrado anteriormente nas Figuras 1 e 2.

4.2.1 Efeito nos componentes vegetativos

4.2.1.1 Altura de planta e índice de conteúdo de clorofila

A altura das plantas variou significativamente entre os tratamentos e os híbridos testados. A maior média foi de 2,08 metros para AG 8701 PRO 4 (Tabela 6), que não diferiu de SHU 611 TER, com a aplicação somente de *Azospirillum*. Os tratamentos com inoculação via solo, sem e com adubação nitrogenada de cobertura, resultaram em maiores alturas para os híbridos. Em contraste, os tratamentos sem inoculação e, principalmente, o tratamento controle apresentaram menor desempenho para todos os híbridos. O índice de conteúdo de clorofila foi outro parâmetro influenciado pelos tratamentos. A média geral foi maior para STATUS VIP 3 com 44,00, sem diferir de AG 8701 PRO 4 com 42,77, mas superior a SHU 6211 TRE com 39,18 (Tabela 6). O tratamento com inoculação via solo sem adubação nitrogenada de cobertura proporcionou maiores teores de clorofila em relação aos tratamentos sem inoculação. Em contraste, o tratamento controle resultou nos menores valores de teor de clorofila, com uma média de 36,26.

Tabela 6. Médias e resumo da análise de variância para altura da planta (ALT) e índice de conteúdo de clorofila (CLR) em função dos tratamentos adotados para cada híbrido, H1: SHU 6211 TRE; H2: AG 8701 PRO 4; H3: STATUS VIP 3.

COMPONENTES VEGETATIVOS								
Tratamento	ALT ¹				CLR ¹			
	H1	H2	H3	MÉDIA	H1	H2	H3	MÉDIA
C AZ S N	2,07Aab	2,17Aa	2,02ABb	2,08A	42,07Ab	47,97Aab	49,74Aa	46,59A
C AZ C N	2,05ABa	2,16Aa	2,11Aa	2,11A	42,54Aa	43,3ABa	45,51Aa	43,78AB
S AZ C N	1,94BCa	2,00Ba	1,90BCa	1,95B	39,74ABa	38,9ABa	45,27Aa	41,32B
S AZ S N	1,90Cab	2,00Ba	1,86Cb	1,92B	32,39Bb	40,9Ba	35,49Bab	36,26C
MÉDIA	1,99b	2,08a	1,97b		39,18b	42,77ab	44,00a	
CV (%)	3,5				11,41			
QM (tratamentos)	0,13410				288,30			
F (tratamentos)	26,77**				12,54**			
QM (híbridos)	0,0702				125,3438			
F (híbridos)	14,01**				5,45**			
QM (interação)	0,0048				39,75			
F (interação)	0,97 ^{NS}				1,73 ^{NS}			

¹Letras Maiúsculas nas colunas comparam os tratamentos e letras minúsculas nas linhas comparam os híbridos. Valores seguidos por letras distintas, nas colunas e linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

* e ^{NS}: significativo e não significativo, respectivamente, pelo teste F (* (5%); ** (1%) e *** (0,1%)).

Costa et al. (2015) verificaram que a aplicação de *A. brasilense*, tanto nas sementes quanto através de pulverização foliar no estágio V4, proporcionou ganhos percentuais significativos na variável. Na altura das plantas, observaram aumentos de 9,5% e 16%; na biomassa seca do colmo, os incrementos foram de 49% e 6,75%; e na biomassa seca das raízes, os ganhos foram de 123% e 97%, respectivamente.

A promoção do crescimento das plantas de milho através da inoculação com *Azospirillum* spp., como observado na altura de plantas e de inserção de espiga mais elevadas, está em concordância com outros estudos (Braccini et al., 2012; Repke et al., 2013; Costa et al., 2015). Essas pesquisas demonstraram que a inoculação das sementes de milho com *Azospirillum* spp. resultou em um

significativo incremento no crescimento das plantas. Esse benefício é reflexo do maior desenvolvimento inicial das plantas, conforme evidenciado pelos resultados de vigor e altura inicial, que são determinantes até o florescimento. Kappes et al. (2013), avaliando a inoculação com bactérias diazotróficas na cultura do milho, verificaram aumento na altura média das plantas inoculadas e na produtividade de grãos do milho.

Cassán et al. (2020) afirmam que diversos mecanismos são responsáveis pela promoção do crescimento vegetal proporcionado por bactérias do gênero *Azospirillum* spp. Embora a fixação de nitrogênio (N) tenha sido um dos primeiros mecanismos estudados, ela contribui com um aumento de apenas 5 a 18% do N total nas plantas inoculadas. Portanto, o crescimento vegetal é principalmente atribuído a outros mecanismos, como a síntese de reguladores de crescimento, incluindo ácido indolacético (AIA), ácido abscísico (ABA), etileno, citocininas e giberelinas. Assim, a altura das plantas também é dependente das características genéticas de cada híbrido.

Barassi et al. (2008) constataram um aumento na atividade fotossintética quando o *A. brasilense* foi utilizado. Eles relataram melhorias nos parâmetros fotossintéticos das folhas, incluindo aumento no teor de clorofila e na condutância estomática, maior acumulação de prolina na parte aérea, e melhorias no potencial hídrico das plantas.

Com o aumento da atividade fotossintética, há também um incremento nos pigmentos fotossintéticos, como clorofila a clorofila b, e pigmentos fotoprotetivos auxiliares, como violaxantina, zeaxantina, atheroxantina, luteína, neoxantina e beta-caroteno. Isso resulta em plantas com coloração mais verde

e menos suscetíveis ao estresse hídrico (Bashan et al., 2006b). O uso de *A. brasilense* contribui para o aumento da atividade fotossintética da planta, pois produz diversos metabólitos, incluindo cinetina, ácido salicílico, ácido jasmônico, ácido indolbutírico, ácido indolacético e ácido giberélico (Hungria et al., 2011). O incremento na atividade fotossintética da planta pode influenciar de maneira benéfica outros parâmetros, como a produtividade (Novakowski et al., 2011). Apesar de o híbrido STATUS VIP 3 ter apresentado os maiores índices de conteúdo de clorofila, tal fator não resultou em melhor desempenho ao final das avaliações.

Portanto, deve-se considerar, assim como Hurtado et al. (2010), que os híbridos utilizados podem afetar as leituras do clorofilômetro. Outra possível justificativa pode ser o estresse pós-avaliação, ao qual o híbrido foi mais suscetível, resultando em maior impacto negativo em sua performance. Este fenômeno ocorre quando as condições ambientais adversas, como secas, temperaturas extremas ou manejo inadequado, afetam de maneira mais intensa as cultivares menos resilientes, comprometendo seu desenvolvimento e produtividade.

4.2.1.2 Altura de inserção da espiga e massa fresca

A altura de inserção da espiga apresentou variações significativas entre os tratamentos e se mostrou também diferente entre os híbridos. A média geral foi maior para STATUS VIP 3 com 1,21 metros (Tabela 7), sem diferir estatisticamente de AROCERES VT PRO 4. Os tratamentos com inoculação via solo resultaram em maiores valores de altura de inserção da espiga, em torno de 1,2 metros, sem diferir do tratamento que recebeu apenas adubação de

cobertura. O tratamento sem inoculação com adubação nitrogenada apresentou valores intermediários (1,17m), e as menores alturas de inserção da espiga foram identificadas no tratamento controle (1,13m). A massa fresca também foi influenciada significativamente pelos tratamentos. A média geral foi maior para AG 8701 PRO 4 com 3,02 kg, que não diferiu de SHU 6211 TRE com 3,0 kg, mas foi superior a STATUS VIP 3 com 2,52 kg (Tabela 7). Para essa variável, não houve diferença significativa para a média dos tratamentos inoculados e o tratamento sem inoculação com adubação de cobertura; entretanto, pode-se dizer que as bactérias foram capazes de suprir a necessidade da cultura em relação ao nitrogênio. Apenas o tratamento controle mostrou-se inferior, apresentando o menor resultado na média dos tratamentos.

Tabela 7. Médias e Análise de Variância da Altura de Inserção da Espiga (AE) e Massa Fresca (MF) em Função dos Tratamentos adotados para cada híbrido, H1: SHU 6211 TRE; H2: AG 8701 PRO 4; H3: STATUS VIP 3.

COMPONENTES VEGETATIVOS								
	AIE ¹				MF ¹			
Tratamento	H1	H2	H3	MÉDIA	H1	H2	H3	MÉDIA
C AZ S N	1,18Aa	1,21Aa	1,24ABa	1,21A	3,19Aa	3,3Aa	2,54Ab	3,01A
C AZ C N	1,19Aa	1,20Aa	1,25Aa	1,22A	2,97ABab	3,15ABa	2,60Ab	2,91A
S AZ C N	1,11ABb	1,2Aa	1,2ABa	1,17AB	3,19Aa	2,96ABab	2,68Ab	2,94A
S AZ S N	1,08Ba	1,16Aa	1,15Ba	1,13B	2,63Ba	2,66Ba	2,27Aa	2,52B
MÉDIA	1,14b	1,19a	1,21a		3,0a	3,02a	2,52b	
CV (%)		4,51				10,84		
QM (tratamentos)		0,02238				0,74211		
F (tratamentos)		7,80**				7,77**		
QM (híbridos)		0,0292				1,5654		
F (híbridos)		10,19**				16,38**		
QM (interação)		0,0021				0,0766		
F (interação)		0,74 ^{NS}				0,80 ^{NS}		

¹Letras Maiúsculas nas colunas comparam os tratamentos e letras minúsculas nas linhas comparam os híbridos. Valores seguidos por letras distintas, nas colunas e linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

* e ^{NS}: significativo e não significativo, respectivamente, pelo teste *F* (* (5%); ** (1%) e *** (0,1%)).

A análise da altura da planta e altura de inserção da espiga é crucial, pois plantas mais altas e com maior altura de inserção da espiga são geralmente mais suscetíveis ao acamamento, conforme mencionado por Li et al. (2007). É importante considerar que o incremento na altura de inserção da espiga pode ser considerado um fator prejudicial, devido aos problemas apresentados anteriormente. Por outro lado, Garcia de Salamone et al. (2001) demonstraram que a produção de citocininas por rizobactérias promotoras de crescimento de plantas, incluindo *A. brasilense*, pode influenciar positivamente a altura de inserção de espiga em milho, ao promover a divisão celular e o desenvolvimento do tecido vascular. Ao analisar isoladamente o híbrido AG 8701 PRO 4,

concluímos que não houve efeito significativo dos tratamentos com *A. brasilense* para essa variável, visto que os valores para o híbrido não se diferiram entre si.

De acordo com Taiz e Zeiger (2010), a aplicação adequada de nitrogênio no solo pode resultar em um aumento significativo na massa fresca das plantas, proporcionando maior vigor e crescimento vegetativo. Em experimentos realizados com milho, Hungria et al. (2010) observaram um aumento de 30% na massa fresca das plantas inoculadas com *A. brasilense* comparadas com as não inoculadas; já Castro et al. (2016) reportaram um incremento de 24% na massa fresca do milho quando inoculado com *A. brasilense*, em comparação com as plantas que não receberam a inoculação. Okon e Labandera-Gonzalez (1994) demonstraram que a aplicação de *A. brasilense* resultou em um aumento médio de 15-35% na biomassa fresca de várias culturas, incluindo milho, em campos experimentais ao redor do mundo. Esse aumento pode ser explicado pela produção de ácido indolacético (IAA) pelas estirpes de *Azospirillum brasilense*, que pode estimular significativamente o crescimento das raízes e a absorção de nutrientes, resultando em um aumento na biomassa fresca das plantas (Dobbelaere et al., 2001). Não houve efeito significativo entre os tratamentos e o híbrido STATUS VIP 3 para a variável massa fresca, visto que os resultados não mostraram considerável discrepância ($p > 0,05$).

4.2.2 Efeitos nos Componentes de produção

4.2.2.1 Comprimento de espiga e número de fileiras

O comprimento de espiga não foi influenciado pelos tratamentos, e obteve resultados variáveis entre os híbridos. A média geral foi maior para AG 8701 PRO 4 com 17,27 cm, seguido por SHU 6211 TRE com 13,91 cm e AGRISURE

VIPTER com 12,23 cm (Tabela 8). Para esta variável, os tratamentos não proporcionaram diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$); porém, o tratamento com adubação nitrogenada sem inoculação proporcionou maior média com 15,92 cm, em relação ao controle. De acordo com Oliveira et al. (2012), a aplicação de nitrogênio não influenciou significativamente o comprimento da espiga de milho, sugerindo que outros fatores podem ser mais determinantes para este componente produtivo.

Para o número de fileiras (Tabela 8), todos os híbridos mostraram médias semelhantes, indicando que os tratamentos não influenciaram significativamente essa característica. Este é um parâmetro genético que pode ser menos sensível às variações de tratamento em comparação com outros componentes de produção. Repke et al. (2013) e Müller et al. (2016) encontraram resultados similares, demonstrando também que a aplicação de *A. brasilense* não teve efeito sobre esses aspectos produtivos do milho.

Tabela 8. Médias e Análise de Variância do Comprimento de Espiga (CE) e Número de Fileiras (NF) em Função dos Tratamentos adotados para cada híbrido, H1: SHU 6211 TRE; H2: AG 8701 PRO 4; H3: STATUS VIP 3.

COMPONENTES DE PRODUÇÃO								
Tratamento	CE ¹				NF ¹			
	H1	H2	H3	MÉDIA	H1	H2	H3	MÉDIA
C AZ S N	14,30Aa	15,66Aa	13,48Aa	14,48A	16,24Aa	16,32Aa	16,74Aa	16,43A
C AZ C N	13,78Aa	16,34Aa	12,37Aa	14,16A	16,24Aa	15,76Aa	16,00Aa	16,00A
S AZ C N	14,04Ab	21,34Aa	12,40Ab	15,92A	16,08Aa	15,92Aa	16,08Aa	16,02A
S AZ S N	13,54Aa	15,74Aa	10,68Aa	13,32A	15,96Aa	16,08Aa	16,64Aa	16,22A
MÉDIA	13,91b	17,27a	12,23b		16,13a	16,02a	16,36a	
CV (%)		28,14				5,03		
QM (tratamentos)		17,6926				0,6157		
F (tratamentos)		1,07 ^{NS}				0,93 ^{NS}		
QM (híbridos)		131,4694				0,6276		
F (híbridos)		7,92 ^{**}				0,95 ^{NS}		
QM (interação)		13,41				0,2442		
F (interação)		0,81 ^{NS}				0,37 ^{NS}		

¹Letras Maiúsculas nas colunas comparam os tratamentos e letras minúsculas nas linhas comparam os híbridos. Valores seguidos por letras distintas, nas colunas e linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

* e ^{NS}: significativo e não significativo, respectivamente, pelo teste *F* (* (5%); ** (1%) e *** (0,1%)).

4.2.2.2 Diâmetro de espiga e número de grãos por fileira

O diâmetro de espiga também apresentou variações entre os híbridos e tratamentos. O híbrido AGRISURE VIPTER apresentou o menor diâmetro de espiga em geral (33,7 mm), conforme os números observados na Tabela 9, sugerindo que possa ser mais suscetível a fatores que afetam o desenvolvimento do diâmetro da espiga, como competição por nutrientes ou estresse hídrico. Os tratamentos, com inoculação sem adubação de cobertura (T1) e sem inoculação com adubação de cobertura (T3), mostraram os maiores valores de diâmetro, 38,34 mm e 37,68 mm, respectivamente, superando os valores observados para

o controle. Assim, assume-se que a inoculação surtiu efeito, porém, foi significativo somente para o híbrido AGRISURE VIPTER. O número de grãos por fileira (NG) mostrou uma variação considerável entre os híbridos, mas não entre tratamentos. AG 8701 PRO 4 possui um maior número de grãos por fileira (Tabela 9).

Tabela 9. Médias e Análise de Variância do Diâmetro de Espiga (DE) e Número de Grãos por Espiga (NG) em Função dos Tratamentos adotados para cada híbrido, H1: SHU 6211 TRE; H2: AG 8701 PRO 4; H3: STATUS VIP 3.

COMPONENTES DE PRODUÇÃO								
Tratamento	DE ¹				NG ¹			
	H1	H2	H3	MÉDIA	H1	H2	H3	MÉDIA
C AZ S N	38,68Aa	40,72Aa	35,62Ab	38,34A	35,12Aa	36,08Aa	30,28Ab	33,82A
C AZ C N	37,68Aa	40,12Aa	33,24ABb	37,01AB	33,44Ab	37,12Aa	27,87Ac	32,81A
S AZ C N	39,48Aa	39,20Aa	34,36Ab	37,68A	32,84Aab	35,64Aa	29,48Ab	32,65A
S AZ S N	36,84Ab	39,52Aa	31,60Bc	35,98B	32,24Ab	35,80Aa	28,48Ac	32,17A
MÉDIA	38,17b	39,89a	33,70c		33,41b	36,16a	29,02c	
CV (%)		4,31				6,97		
QM (tratamentos)		15,1487				7,2551		
F (tratamentos)		5,86**				1,38 ^{NS}		
QM (híbridos)		203,7112				258,8045		
F (híbridos)		78,83**				49,26**		
QM (interação)		4,1831				4,1723		
F (interação)		1,62 ^{NS}				0,79 ^{NS}		

¹Letras Maiúsculas nas colunas comparam os tratamentos e letras minúsculas nas linhas comparam os híbridos. Valores seguidos por letras distintas, nas colunas e linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

* e ^{NS}: significativo e não significativo, respectivamente, pelo teste F (* (5%); ** (1%) e *** (0,1%)).

A diferença observada no diâmetro da espiga, provavelmente devida à melhoria no sistema radicular promovida pelo *A. brasilense*, pode resultar em maior absorção de nutrientes pela planta. Isso é sugerido por estudos como o de Goês et al. (2013), que avaliaram diferentes fontes e doses de nitrogênio em cobertura de inverno, e por Okumura et al. (2013), que examinaram doses de ureia tratada com inibidor de urease.

A produção e a produtividade da cultura estão diretamente relacionadas ao número de grãos por fileira na espiga, cujo comprimento máximo depende de adequada disponibilidade de água e nutrientes, especialmente nitrogênio, além da saúde foliar (Fancelli; Dourado neto, 2000), o que pode explicar a maior produtividade do híbrido AG 8701 PRO 4, que apresentou o maior número de grãos por fileira. Embora o *A. brasilense* possa melhorar a disponibilidade de nitrogênio através da fixação biológica, outros nutrientes e condições ambientais também são críticos para o desenvolvimento e enchimento dos grãos. Além disso, o número de grãos por fileira pode ser mais influenciado por fatores genéticos da planta de milho e por condições climáticas durante estágios específicos do ciclo de crescimento, como o período de polinização e formação da espiga. A interação complexa entre fatores genéticos da planta, ambiente e manejo agrônômico pode mascarar ou limitar o potencial efeito direto do *A. brasilense* sobre esse aspecto específico da produção de grãos.

4.2.2.3 Peso de mil grãos e produtividade

O peso de mil grãos (PMG) reflete diretamente a qualidade dos grãos produzidos e tem relação com a produtividade. Observou-se que o híbrido AG 8701 PRO 4 apresentou consistentemente maior PMG em comparação com os outros híbridos, sugerindo que ele possa ser mais eficiente na conversão de recursos em grãos de maior peso, o que também pode explicar os melhores valores em produtividade. O tratamento controle mostrou-se significativamente inferior aos demais tratamentos (Tabela 10), evidenciando a importância do nitrogênio, seja em cobertura ou disponibilizado pela bactéria, no desenvolvimento das sementes.

A produtividade é um dos componentes mais críticos para a avaliação do desempenho agrônomo. Todos os híbridos mostraram respostas variáveis, mas, AG 8701 PRO 4 apresentou expressiva produtividade acima da média, indicando uma adaptação superior às condições de cultivo ou uma melhor resposta aos tratamentos aplicados (Tabela 10). Seguindo o raciocínio para o peso de mil sementes, o único tratamento que se diferenciou com significância ($p < 0,05$) foi o controle. Os demais tratamentos mantiveram valores próximos, o que evidencia novamente que o tratamento com *A. brasilense* e sem adubação nitrogenada de cobertura se equiparou aos tratamentos que receberam adubação de cobertura, o que é favorável. Comparando-se o primeiro tratamento com o controle, constatou-se um aumento percentual de 31,3% na produtividade.

Tabela 10. Médias e Análise de Variância do Peso de Mil Grãos (PMG) e Produtividade (PROD) em Função dos Tratamentos adotados para cada híbrido, H1: SHU 6211 TRE; H2: AG 8701 PRO 4; H3: STATUS VIP 3.

COMPONENTES DE PRODUÇÃO								
Tratamento	PMG ¹				PROD ¹			
	H1	H2	H3	MÉDIA	H1	H2	H3	MÉDIA
C AZ S N	201,1Ab	219,1Aa	123,8Bc	181,3A	2784,0ABb	4900,0Aa	2217,6Ab	3511,2A
C AZ C N	196,9Ab	218,9Ab	138,0Ac	184,4A	2924,0Ab	4944,0Aa	2212,0Ac	3360,0A
S AZ C N	202,2Ab	216,1Aa	130,6ABc	183,0A	3036,0Ab	5157,6Aa	2340,0Ac	3511,2A
S AZ S N	161,7Bb	185,5Ba	98,8Cc	148,7B	2080,0Bb	4028,0Ba	1912,0Ab	2673,3B
MÉDIA	190,5b	209,7a	122,8c		2706,0b	4757,4a	2170,4c	
CV (%)		4,70				13,71		
QM (tratamentos)		4413,5030				2047112,08		
F (tratamentos)		65,53**				10,55**		
QM (híbridos)		41674,1129				37292261,067		
F (híbridos)		618,73**				192,20**		
QM (híbridos)		106,07				144123,82		
F (híbridos)		1,57 ^{NS}				0,74 ^{NS}		

¹Letras Maiúsculas nas colunas comparam os tratamentos e letras minúsculas nas linhas comparam os híbridos. Valores seguidos por letras distintas, nas colunas e linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

* e ^{NS}: significativo e não significativo, respectivamente, pelo teste F (* (5%); ** (1%) e *** (0,1%)).

Swedrzynska e Sawicka (2000) e Hungria et al. (2010) encontraram aumentos no rendimento de grãos de milho quando as plantas foram inoculadas, juntamente com doses de 20-24 kg.ha⁻¹ de N. Segundo Santos et al. (2013), a inoculação de *Azospirillum brasilense* em milho, combinada com diferentes doses de nitrogênio, resultou em um aumento significativo no peso de grãos. Os resultados demonstraram que a presença de *A. brasilense* contribuiu positivamente para a produtividade da cultura, proporcionando ganhos quantificáveis no rendimento de grãos. Além disso, Santos et al. (2020) observaram que a inoculação com *Azospirillum brasilense* resultou em um significativo aumento no peso de grãos de milho, mesmo sob condições de déficit hídrico, destacando o potencial dessa bactéria para melhorar a produtividade das culturas. Os estudos revisados sustentam que a interação planta-microrganismo promoveu o crescimento vegetal e melhorou a eficiência nutricional, destacando o potencial das bactérias do gênero *Azospirillum* como promotoras do rendimento agrícola.

Lana et al. (2012) observaram que a inoculação de *Azospirillum* resultou em aumentos de produtividade de grãos de milho entre 7% e 14%, mesmo na ausência de adição de nitrogênio. É plausível que as bactérias do gênero *Azospirillum* utilizem o nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada para promover sua própria multiplicação mais rápida, o que pode intensificar os efeitos da inoculação. Além disso, é importante considerar que fatores como clima e tipo de solo influenciam na adaptação das bactérias inoculadas, podendo resultar em variações nos resultados da inoculação dependendo da localização geográfica. Este resultado também está alinhado com os achados de Müller et al. (2016), os

quais demonstraram um aumento de 2% na produtividade ao utilizar *A. brasilense* aplicado no sulco de semeadura.

4.2.3 Híbridos

4.2.3.1 Híbrido SHU 6211 TRE

Os resultados obtidos para o híbrido SHU 6211 TRE revelam que a inoculação com *Azospirillum brasilense*, tanto com quanto sem adubação nitrogenada de cobertura, influenciou positivamente diversas variáveis vegetativas e de produção. Comparativamente, os tratamentos com inoculação proporcionaram resultados superiores ao controle, destacando a importância da inoculação com *Azospirillum brasilense* na promoção do crescimento vegetativo e aumento da produtividade.

4.2.3.2 Híbrido AG 8701 PRO 4

O híbrido AG 8701 PRO 4 demonstrou respostas consistentes aos tratamentos de inoculação com *Azospirillum brasilense*, associados ou não à adubação nitrogenada de cobertura. O híbrido manteve desempenho superior aos demais em termos de produtividade, independentemente do tratamento aplicado, indicando boa adaptabilidade aos benefícios proporcionados pela inoculação com *Azospirillum brasilense*.

4.2.3.3 Híbrido STATUS VIP 3

Para o híbrido STATUS VIP 3, os resultados evidenciam uma sensibilidade particular aos tratamentos de inoculação com *Azospirillum brasilense*, combinados ou não com adubação nitrogenada de cobertura. Este híbrido demonstrou resposta à inoculação com *Azospirillum brasilense* em certas

variáveis, como a clorofila por exemplo, porém obteve desempenho inferior no geral, para os caracteres avaliados.

5. CONCLUSÕES

Em condições edafoclimáticas controladas e, com fornecimento de nitrogênio, a inoculação com microrganismos via sementes não interfere significativamente no desenvolvimento das plantas na cultura do milho e não proporciona ganhos no teor de clorofila, altura, e massa fresca e seca da parte aérea e raízes das plantas. Provavelmente, as doses de nitrogênio aplicadas na adubação de base e cobertura satisfizeram a demanda das plantas durante o seu desenvolvimento e, conseqüentemente, a inoculação não surtiu efeito significativo no crescimento das mesmas, e como não houve condições estressantes, o efeito dos microrganismos não foi evidenciado.

Já em condições de campo, a inoculação de plantas de milho com *Azospirillum brasilense* é uma tecnologia promissora capaz de incrementar a produtividade da cultura. Em certos casos, a adoção desta prática pode auxiliar na diminuição do uso de fertilizantes nitrogenados, principalmente em cobertura. A inoculação com *Azospirillum brasilense* proporcionou maiores médias para as características vegetativas e foi superior quanto aos componentes de produção do milho em comparação aos tratamentos controle. Em campo, o híbrido AG

8701 PRO 4 apresentou o melhor desempenho, principalmente em relação aos componentes de produção.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, F. F. Inoculação de sementes com *Bacillus subtilis*, formulado com farinha de ostra e desenvolvimento de milho, soja e algodão. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 2, n. 2, p. 456-462, 2008.

ARSAC, J. F.; LAMRABET, Y.; GARCIA, J. L.; CHRISTEN, R.; BALLY, R.; NORMAND, P. Growth enhancement of maize (*Zea mays* L.) through *Azospirillum lipoferum* inoculation: effect of plant genotype and bacterial concentration. **Agronomie**, Paris, v. 10, p. 640-654, 1990.

BARASSI, C. A.; SUELDO, R. J.; CREUS, C. M.; CARROZZI, L. E.; CASANOVAS, E. M.; PEREYRA, M. A. Potencialidad de *Azospirillum* en optimizar el crecimiento vegetal bajo condiciones adversas. **Asociación Argentina de Microbiología**, p. 49-59, 2008.

BARROS, J. F. C.; CALADO, J. G. **A cultura do milho**. Universidade de Évora, 2014. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/10804/1/Sebenta-milho.pdf>. Acesso em: 13 maio 2024.

BARTCHECHEN, A.; FIORI, C. C. L.; WATANABE, S. H.; GUARIDO, R. C. Efeito da inoculação de *Azospirillum brasilense* na produtividade da cultura do milho (*Zea mays* L.). **Campo Digital**, v. 5, p. 56-59, 2010.

BASHAN, Y.; BASHAN, L. E.; DE-BASHAN, D.; LEBSKY, V. K.; KLOEPPER, J. W. Increase in auxiliary photoprotective photosynthetic pigments in wheat seedlings induced by *Azospirillum brasilense*. **Biology and Fertility of Soils**, v. 42, p. 279-285, 2006b.

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth a critical assessment. **Advances in Agronomy**, v. 108, p. 77-136, 2010.

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E.; PRABHU, S. R.; HERNANDEZ, J. P. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998-2003). **Plant and Soil**, v. 378, n. 1-2, p. 1-33, 2006a.

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E.; PRABHU, S. R.; HERNANDEZ, J. P. *Azospirillum*: a plant growth-promoting bacterium for improved yield and stress tolerance. **Functional Plant Biology**, v. 41, n. 6, p. 600-610, 2014.

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

BOLDIZAR, A. R.; HARTMAN, G. L. Nitrogen management effects on corn yield and nitrogen use efficiency in Illinois. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 3, p. 1883-1895, 2020.

BRACCINI, A. L.; DAN, L. G. M.; PICCINI, G. G.; ALBRECHT, L. P.; BARBOSA, M. C.; ORTIZ, A. H. T. Seed inoculation with *Azospirillum brasilense*, associated with the use of bioregulators in maize. **Revista Caatinga**, v. 25, p. 58-64, 2012.

BUCHELT, A. C.; METZLER, C. R.; CASTIGLIONI, J. L.; DASSOLLER, T. F.; LUBIAN, M. S. Aplicação de bioestimulantes e *Bacillus subtilis* na germinação e desenvolvimento inicial da cultura do milho. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 6, n. 4, p. 69-74, 2019.

CASSÁN, F.; CONIGLIO, A.; LÓPEZ, G.; MOLINA, R.; NIEVAS, S.; CARLAN, C. L.; DONADIO, F.; TORRES, D.; ROSAS, S.; PEDROSA, F. O.; SOUZA, E.; ZORITA, M. D.; DE-BASHAN, L.; MORA, V. Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. **Biology and Fertility of Soils**, v. 56, p. 461-479, 2020.

CASSÁN, F.; PERRIG, D.; SGROY, V.; MASCIARELLI, O.; PENNA, C.; LUNA, V. *Azospirillum brasilense* Az39 and *Bradyrhizobium japonicum* E109, inoculated together, enhance soybean growth and physiological traits through mechanisms involved in nitrogen fixation and indoleacetic acid signaling. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 33, n. 2, p. 472-479, 2014.

CASTRO, R. M.; LIMA, E. R.; SILVA, J. P.; SOUZA, A. L. Efeitos da aplicação de *Azospirillum* na produção agrícola: um estudo de caso sobre técnicas de pulverização avançadas. **Revista de Agricultura Sustentável**, v. 12, n. 3, p. 45-58, 2016.

CAVALLET, L. E.; BIANCHI, C. A. M.; SILVEIRA, J. A. G.; CAMPOS, H. M. Produtividade do milho em resposta à aplicação de nitrogênio e inoculação das

sementes com *Azospirillum* spp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 129-132, 2000.

COELHO, A. M. Nutrição e adubação do milho. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Sete Lagoas: **EMBRAPA-CNPMS**, p. 01-10, 2006.

COHEN, A. C.; BOTTINI, R.; PICCOLI, P. N. *Azospirillum brasilense* Sp245 inoculation mitigates stress in tomato seedlings. **Journal of Plant Physiology**, v. 166, n. 6, p. 554-559, 2009.

CONAB. **Boletim Logístico: ano vi- janeiro 2023**. Brasília: Conab, 2023.

CONAB. **Safra de grãos 2023/2024 está estimada em 294,1 milhões de toneladas**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5478-safra-de-graos-2023-2024-esta-estimada-em-294-1-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 17 jul. 2024.

CONTINI, E.; MOTA, M. M.; MARRA, R.; BORCHI, E.; MIRANDA, R. A.; SILVA, A. F.; SILVA, D. D.; MACHADO, J. R. A.; COTA, L. V.; COSTA, R. V.; MENDES, S. M. **Milho: caracterização e desafios tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 45 p, 2019.

CORREA, O. S.; ROMERO, A. M.; SORIA, M. A.; DE ESTRADA, M. *Azospirillum brasilense*-plant genotype interactions modify tomato response to bacterial diseases, and root and foliar microbial communities. In: CASSÁN, F. D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Ed.). ***Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina**. Argentina: **Asociación Argentina de Microbiología**, p. 87-95, 2008.

COSTA, L. M.; MARTINS, A. F.; RIBEIRO, D. F. Integrated cultural practices for sustainable maize production. **Sustainable Agriculture Reviews**, v. 15, n. 1, p. 89-103, 2020.

COSTA, R. R. G. F.; QUIRINO, G. S. F.; NAVES, D. C. F.; SANTOS, C. B.; ROCHA, A. F. S. Eficiência de inoculante com *Azospirillum brasilense* no crescimento e produtividade de milho de segunda safra. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 3, p. 304-311, 2015.

CUNHA, F. Q.; REIS, R. P.; SILVA, L. L.; COSTA, C. M.; PEREIRA, J. C. Efeito da *Azospirillum brasilense* na produtividade de milho no sudoeste goiano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 261–272, 2014.

DALLA SANTA, O. R.; SOCCOL, C. R.; RONZELLI JUNIOR, P.; HERNÁNDEZ, R. F.; ALVAREZ, G. L. M.; DALLA SANTA, E. S.; PANDEY, A. Effects of inoculation of *Azospirillum* sp. in maize seeds under field conditions. **Food, Agriculture & Environment**, v. 2, p. 238-242, 2004.

DARTORA, J.; GUIMARÃES, V. F.; MARINI, D.; SANDER, G. Adubação nitrogenada associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae* na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 17, n. 10, p. 1023–1029, 2013.

DATTA, M.; BANIK, S.; GUPTA, K. Studies on the efficacy of a phytohormone producing phosphate solubilizing *Bacillus firmus* in augmenting paddy yield in acid soils of Nagaland. **Plant and Soil**, v. 69, n. 3, p. 365-373, 1982. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/BF02372457>. Acesso em: 16 jun. 2024.

DEBASTIANI, R. S. **Inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* associado à adubação nitrogenada na cultura do milho**. 2016. 22 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2016.

DIDONET, A. D.; RODRIGUES, O.; KENNER, M. H. Acúmulo de nitrogênio e de massa seca em plantas de trigo inoculadas com *Azospirillum brasilense*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 16, n. 9, p. 645-651, 1996.

DOBBELAERE, S.; VANDERLEYDEN, J.; OKON, Y. Responses of agronomically important crops to inoculation with *Azospirillum*. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 28, p. 871-879, 2001.

DÖBEREINER, J.; DAY, J. M. Associative symbiosis in tropical grasses: characterization of microorganisms and dinitrogen-fixing sites. In: NEWTON, W. E.; NYMAN, C. T. (Ed.). **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NITROGEN FIXATION**, vol. 2. Proceedings. Pullman, USA: Washington State University Press, p. 518-538, 1976.

EMBRAPA MILHO E SORGO. Milho - O produtor pergunta, a Embrapa responde. In: CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHÃES, P. C. (Eds.). Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, 338 p, 2011.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, p. 360, 2000.

FERREIRA, A. C.; RODRIGUES, P. H.; ALMEIDA, V. S. Precision fertilization and its impact on maize yield. **Journal of Agricultural Technology**, v. 22, n. 1, p. 56-74, 2020.

FIESP - Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Safra Mundial de Milho 2023/24 - 4º Levantamento do USDA**. In: Boletim Informativo FIESP. Agosto, 2023. Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-milho-2/>. Acesso em: 13 maio 2024.

FIGUEIREDO, M. V. B.; LIRA JUNIOR, M. A.; MESSIAS, A. S.; MENEZES, R. S. C. Potential impact of biological nitrogen fixation and organic fertilization on

corn yield in low external input systems. In: DANFORTH, A. T. (Ed.). **Corn Crops Production: Growth, Fertilization and Yield**. New York: Nova Science Publishers, p. 239-267, 2009.

FUKAMI, J.; CEREZINI, P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **AMB Express**, v. 8, 73, 2018.

GARCIA DE SALAMONE, I. E.; DOBEREINER, J.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Biological nitrogen fixation in *Azospirillum* strain-maize genotype associations as evaluated by the 15N isotope dilution technique. **Biology and Fertility of Soils**, v. 23, p. 249-256, 1996.

GARCIA DE SALAMONE, I. E.; HYNES, R. K.; NELSON, L. M. Cytokinin production by plant growth promoting rhizobacteria and selected mutants. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 47, n. 5, p. 404-411, 2001.

GOES, R. J.; CANTARELLA, H.; ULIAN, N. A.; TRIVELIN, P. C. O. Características agronômicas e produtividade do milho sob fontes e doses de nitrogênio em cobertura no inverno. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 3, p. 250-259, 2013.

GOMES, R. F.; SILVA, A. G. da; ASSIS, R. L. de; PIRES, F. R. Efeito de doses e da época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agronômicos da cultura do milho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 931-938, maio 2007.

GUIMARÃES, V. F.; NASCENTE, A. S.; SARTORI, R. F.; REIS, M. P.; SOUZA, E. M.; MORAES, J. Z. Eficiência de inoculante contendo *Bacillus megaterium* (B119) e *Bacillus subtilis* (B2084) para a cultura do milho, associado à fertilização fosfatada. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. 1-28, 25 set. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20920>. Acesso em: 16 jun. 2024.

HARMAN, G. E.; HOWELL, C. R.; VITERBO, A.; CHET, I.; LORITO, M. Trichoderma species – opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nature Reviews Microbiology**, v. 2, n. 1, p. 43-55, 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/nrmicro797>. Acesso em: 14 jun. 2024.

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

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. **Embrapa Soja - Documentos** (INFOTECA-E), 2007.

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

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAÚJO, R. S. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, v. 331, p. 413-425, 2011.

HURTADO, S. M. C.; ALVAREZ, R. C.; ZUCARELI, C.; ONO, E. O.; SILVA, A. L. P. Sensibilidade do clorofilômetro para diagnóstico nutricional de nitrogênio no milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 688-697, 2010.

ISLAM, F.; YASIN, N. A.; ALI, S.; SAQIB, U.; AZIZ, U.; LI, T.; JIN, M. Plant growth promoting bacteria confer salt tolerance in *Vigna radiata* by up-regulating antioxidant defense and biological soil fertility. **Plant Growth Regulation**, v. 80, n. 1, p. 23-36, 2016.

KAPPES, C.; ARF, O.; GALERANI, P. R.; ANDRADE, J. A. C.; CABRAL, C. P.; ARF, M. V. Inoculação de sementes com bactéria diazotrófica e aplicação de nitrogênio em cobertura e foliar em milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 527-538, 2013.

KÖPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde: Outline of climate science**. Berlin: Walter de Gruyter, p. 388, 1931.

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

LAVIE, S.; STOTZKY, G. Interactions between clay minerals and siderophores affect the respiration of *Histoplasma capsulatum*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 51, n. 1, p. 74-79, 1986.

LAZZARETI, E.; BETTIOL, W. Tratamento de sementes de arroz, trigo, feijão e soja com um produto formulado a base de células e de metabólitos de *Bacillus subtilis*. **Scientia Agricola**, v. 54, n. 1-2, p. 89-96, 1997. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90161997000100013>. Acesso em: 13 mai. 2024.

LI, Y.; DONG, Y.; NIU, S.; CUI, D. The genetics relationships among plant-height traits found using multiple trait QTL mapping of a dent corn and popcorn cross. **Genome**, Toronto, v. 50, n. 4, p. 357-364, 2007.

LIMA, P. C.; MAIA, C. E.; PEREIRA, M. G.; SOUZA, A. M. Manejo da adubação em sistemas orgânicos. In: LIMA, P. C.; MAIA, C. E.; PEREIRA, M. G.; SOUZA, A. M. (Eds.). **Tecnologias para produção orgânica**. Viçosa: Unidade Regional EPAMIG Zona da Mata, 2011.

LOPES, N.; SILVA, F. E.; COSTA, M. N.; RODRIGUES, W. Á.; CAMARA, F. Produtividade de fava e milho em função do sistema de consórcio em regime de sequeiro na região do Cariri-CE. **Agrarian Academy**, v. 4, n. 08, 2017.

MARTINS, M. R.; JANTALIA, C. P.; REIS, V. M.; DÖBEREINER, J.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Impact of plant growth-promoting bacteria on grain yield, protein content, and urea-15N recovery by maize in a Cerrado Oxisol. **Plant and Soil**, v. 422, p. 239–250, 2018.

MASCARELLO, G.; ZANÃO JUNIOR, L. A. Produtividade de milho em resposta a doses de nitrogênio e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*. **Revista Cultivando o Saber**, Ed. Especial, p. 46-55, 2015.

MONTAÑEZ, A.; LINARES, L.; PAUCAR, M.; BERTHRAN, M.; AVALOS, M.; CAMACHO, M. Biological nitrogen fixation in maize (*Zea mays* L.) by 15N isotope-dilution and identification of associated culturable diazotrophs. **Biology and Fertility of Soils**, v. 45, p. 253-263, 2005.

MORAIS, G. P.; COSTA, A. C.; SOUSA, T. P.; GOMES, L. S.; CARVALHO, R. A. Adubação nitrogenada associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 38, n. 3, p. 109, 2017.

MÜLLER, T. M.; MUNARETTO, J. D.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Combination of inoculation methods of *Azospirillum brasilense* with broadcasting of nitrogen fertilizer increases corn yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 2, p. 210-215, 2016.

NOVAKOWISKI, J. H.; SANGOI, L.; SOUZA, C. A. M.; SILVA, L. H. V.; MARTINS, E. D. Efeito residual da adubação nitrogenada e inoculação de *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, p. 1687-1698, 2011.

NUNES, P. H. M. P.; PEREIRA, F. S.; LOPES, A. S.; SOUZA, M. A.; MUNIZ, A. W.; REIS, M. S. Produtividade do trigo irrigado submetido à aplicação de nitrogênio e à inoculação com *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 174-182, 2015.

OKON, Y.; LABANDERA-GONZALEZ, C. A. Agronomic applications of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 26, n. 12, p. 1591-1601, 1994.

OKUMURA, R. S.; PEREIRA, L. G.; SILVA, M. A.; COSTA, K. A. P.; SILVA, T. C. Nutrição nitrogenada no milho fertilizado com ureia tratada com inibidor de urease. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, p. 157-170, 2013.

OLIVEIRA, A. L. M.; URQUIAGA, S.; BALDANI, J. I. Processos e mecanismos envolvidos na influência de microrganismos sobre o crescimento vegetal. **EMBRAPA Agrobiologia**, v. 161, 2003.

OLIVEIRA, F. A.; PIRES, A. J. V.; MOURA, P. M.; MORAES, L. C.; SILVA, F. F.; OLIVEIRA, M. K. T. Maize growth and yield components as affected by nitrogen supply. **African Journal of Agricultural Research**, v. 7, n. 20, p. 3094-3100, 2012.

PAIVA, C. A. O.; NASCENTE, A. S.; PEREIRA, M. F. S.; LANA, M. C. Recomendação agrônômica de cepas de *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) na cultura do milho. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 18 p., 2020.

PENOT, I.; NORMAND, P.; BONNET, P.; CATROUX, G. Characterization of *Azospirillum* associated with maize (*Zea mays* L.) in France using biochemical tests and plasmid profiles. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 38, p. 798-803, 1992.

PEREIRA, L. M.; MENDES, I. C.; REIS, V. M.; OLIVEIRA, P. P. A.; LANA, M. C. Seed quality, chlorophyll content index and leaf nitrogen levels in maize inoculated with *Azospirillum brasilense*. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, 2015.

PINHEIRO, L. da S.; SILVA, R. J.; OLIVEIRA, M. L.; COSTA, T. A.; MOURA, C. A. Características agroeconômicas do milho: uma revisão. **Natural Resources**, v. 11, p. 13-21, 2021.

RAMAMOORTHY, V.; VISWANATHAN, R.; RAGUCHANDER, T.; PRAKASH, Y. S.; SAMIYAPPAN, R. Induction of systemic resistance by plant growth promoting rhizobacteria in crop plants against pests and diseases. **Crop Protection**, v. 20, n. 1, p. 1-11, 2001. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00056-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00056-9). Acesso em: 10 mai. 2024.

REPKE, R. A.; PRANDO, A. M.; SÁ, J. F.; VIDIGAL FILHO, P. S.; SCAPIM, C. A.; HENNING, F. A. Eficiência do *Azospirillum brasilense* combinada com doses de nitrogênio no desenvolvimento de plantas de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 12, n. 3, p. 214-226, 2013.

RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; COUTO, L. A. A cultura do milho irrigado. Sete Lagoas, MG: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2003. 317 p.

ROCHA, R. A. S.; SILVA, J. A.; MENDES, R. F.; OLIVEIRA, L. B.; COSTA, F. M. Adubação nitrogenada associada à inoculação de *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. **Revista Biodiversidade**, v. 19, n. 4, p. 73-81, 2020.

RODRIGUES, M. J.; CARVALHO, P. F.; SANTOS, H. M. Climate variability and maize production: Strategies for adaptation. **Climate and Agriculture**, v. 17, n. 3, p. 212-229, 2019.

ROESCH, L. F.; CAMARGO, F. A. O.; COLTRO, S. T.; ALBERTON, O. Identificação de cultivares de milho eficientes na absorção de nitrogênio e na

associação com bactérias diazotróficas. **Ciência Rural**, v. 35, p. 924-927, 2005.

SALAMONE, I. E. G.; DÖBEREINER, J. Maize genotype effects on the response to *Azospirillum* inoculation. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 21, p. 193-196, 1996.

SALAMONE, I. E. G.; FAJARDO, M.; DOBEREINER, J.; BALDANI, J. I. Biological nitrogen fixation in *Azospirillum* strain-maize genotype association as evaluated by N isotope dilution technique. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 23, p. 249-256, 1996.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 285 p, 2018.

SANTOS, J. C.; OLIVEIRA, A. B.; LIMA, M. R. Advances in maize breeding for stress tolerance. **Journal of Crop Science**, v. 34, n. 2, p. 145-162, 2019.

SANTOS, J. M., BISWAS, B., BISWAS, J. K., OLIVEIRA, L. F. C., & OLIVARES, F. L. *Azospirillum brasilense* inoculation mitigates water deficit effects on maize: Insights on shoot and root growth, yield and water use efficiency. **Plos one**, v. 15, n. 9, e0238730, 2020.

SANTOS, L. A.; GUIMARÃES, V. F.; MATTEI, E.; FOLONI, J. S. S. Inoculação de *Azospirillum brasilense* em milho submetido a diferentes doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 1, p. 1-12, 2013.

SEGISMUNDO, V. D.; COSTA, R. C.; PEREIRA, W. F.; FREITAS, J. G.; SILVA, F. Efeito do *Azospirillum brasilense* nos componentes de rendimento do milho. **Científica**, v. 48, n. 4, p. 351-356, 2020.

SILVA, F. A.; MENDES, L. F.; PEREIRA, R. T. Soil health and maize productivity: The role of sustainable practices. **Agricultural Research**, v. 29, n. 4, p. 321-337, 2018.

SILVA, L. M. M. **Desempenho agrônômico de milho em função do tratamento de sementes com *Azospirillum brasiliense* sob diferentes doses de nitrogênio mineral**. 2013. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal, Ciências Agro-Veterinárias) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013.

SORATTO, R. P.; BUZETTI, S.; ALVES, M. C.; FARINELLI, R.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Fontes alternativas e doses de nitrogênio no milho safrinha em sucessão à soja. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 511-518, 2010.

SOUZA, E. M.; CAMPOS, F. P.; SILVA, R. F.; OLIVEIRA, A. L.; MENDES, L. G.; ALVES, L. A. A aplicação de nitrogênio associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* influencia a nutrição e a produtividade do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, p. 53-59, 2019.

SOUZA, R. S., OLIVEIRA, J. L., & ALMEIDA, M. P. Biological control of pests in maize: Current practices and future prospects. **Pest Management Science**, v. 76, n. 2, p. 240-256, 2020.

SWEDRZYNSKA, D.; SAWICHA, A. Effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* on development and yielding of maize (*Zea mays* ssp. *saccharata* L.) under different cultivation conditions. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 9, p. 505-509, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

TOMAZELA, A. L. Adubação nitrogenada e de micronutrientes na produtividade e incidência de doenças foliares em milho. 2005. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Fitotecnia) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

VERMA, J. P., YADAV, J., TIWARI, K. N., & KUMAR, A. Effect of indigenous Mesorhizobium spp. and plant growth promoting rhizobacteria on yields and nutrients uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under sustainable agriculture. **Ecology, Environment and Conservation Paper**, v. 20, n. 2, p. 553-560, 2014.

WANI, S. P.; CHANDRAPALAIH, S.; DART, P. J. Responses of pearl millet cultivars to inoculation with nitrogen-fixing bacteria. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 21, p. 175-182, 1985.