



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA
CAMPUS SETE LAGOAS

LUCAS RUGGERI RÉ Y GOYA

EFEITO DE RIZOBACTÉRIAS EM PLANTAS JOVENS DE MILHO
SOB ESTRESSE HÍDRICO

Sete Lagoas, MG

2023

LUCAS RUGGERI RÉ Y GOYA

**EFEITO DE RIZOBACTÉRIAS EM PLANTAS JOVENS DE
MILHO (*Zea mays* L.) SOB ESTRESSE HÍDRICO**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de São João Del-Rei, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Dr. Cleber José da Silva

Coorientador: Dr. Paulo César Magalhães

Sete Lagoas, MG

2023

LUCAS RUGGERI RÉ Y GOYA

**EFEITO DE RIZOBACTÉRIAS EM PLANTAS JOVENS DE
MILHO (*Zea mays* L.) SOB ESTRESSE HÍDRICO**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de São João Del-Rei, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Sete Lagoas, 29 de novembro de 2023.

Banca avaliadora:

Dr. Cleber José da Silva – UFSJ/CSL

Dr. Paulo César Magalhães, Coorientador – EMBRAPA Milho e Sorgo

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	7
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
2.1.	Milho	8
2.2.	Milho sob estresse hídrico	9
2.3.	Efeito das rizobactérias em plantas	9
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	10
3.1.	Instalação do experimento	10
3.2.	Inoculação das sementes.....	11
3.3.	Imposição do déficit hídrico	11
3.4.	Análise dos dados	12
4.	RESULTADOS	12
4.1.	Diâmetro do colmo	12
4.2.	Massa seca da parte aérea.....	12
4.3.	Massa seca da raiz	13
4.4.	Área foliar.....	14
4.5.	Altura da planta	15
4.6.	Teor relativo de clorofila	15
5.	DISCUSSÃO.....	16
6.	CONCLUSÃO.....	18
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

RESUMO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das *commodities* que domina o mercado agropecuário nacional e internacional, entretanto essa espécie é afetada por condições climáticas que levam a grandes perdas em produtividade. O estresse hídrico causa efeitos negativos nas plantas, tais como diminuição no conteúdo de clorofila, ação deletéria na altura, raiz e na biomassa da planta, nas trocas gasosas e no rendimento final dos grãos. A utilização de microrganismos considerados benéficos, como as Rizobactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (RPCP), quando adaptados a ambientes estressantes podem contribuir positivamente na mitigação dos efeitos causados pelo estresse hídrico, mantendo o bom desenvolvimento das plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de três diferentes inoculantes: Auras®, *Azospirillum* e Biomaphos®) na mitigação do déficit hídrico em plantas jovens de milho. Foram realizados 8 tratamentos com 8 repetições cada. Utilizou-se três inoculantes e suas coinoculações: Controle (sem inoculação); Auras®; BiomaPhos®; *Azospirillum*; Auras® + *Azospirillum*; BiomaPhos® + *Azospirillum* (0,2075mL); Auras® (0,0415mL) + BiomaPhos®; Auras® + BiomaPhos® + *Azospirillum*). Os tratamentos foram conduzidos em vasos contendo 20 kg de solos devidamente adubado, os inoculantes aplicados diretamente nas sementes e as plantas resultantes foram mantidas sob duas condições de irrigação, plena e sob estresse hídrico. O experimento foi conduzido até as plantas alcançarem o estágio de desenvolvimento V6. Nesse estágio foi observado que a inoculação de plantas com *Azospirillum* promoveu maior crescimento em altura nas plantas sob irrigação plena, já para plantas sob estresse hídrico, não foi verificada diferença significativa para o tratamento em questão. Para os demais tratamentos, não houve diferença significativa em plantas irrigadas e estressadas, até a fase de desenvolvimento V6.

Palavras-chave: *Zea mays*, rizobactérias, inoculantes, *Azospirillum*.

ABSTRACT

Maize (*Zea mays* L.) is one of the commodities that dominates the national and international agricultural market. However, this species is affected by climatic conditions that results in major losses in productivity. Water stress causes negative effects on plants, such as a decrease in chlorophyll content, harmful effects on plant height, roots and biomass, gas exchange and final grain yield. The use of microorganisms considered beneficial, such as Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR), when adapted to stressful environments can contribute positively to mitigating the effects caused by water stress, maintaining development of plants. The goals of this work was to evaluate the effect of three different inoculants: Auras®, *Azospirillum* and BiomaPhos®) in mitigating water deficit in young maize plants. Eight treatments with 8 repetitions each were carried out with the three inoculants and their coinoculations Control (without inoculation); Auras®; BiomaPhos®; *Azospirillum*; Auras® + *Azospirillum*; BiomaPhos® + *Azospirillum* (0.2075mL); Auras® (0.0415mL) + BiomaPhos®; Auras® + BiomaPhos® + *Azospirillum*). The treatments were carried out in pots containing 20 kg of properly fertilized soil. The inoculants applied directly over the seeds and the resulting plants were maintained under two irrigation conditions, full and under stress. The experiment was carried out until the plants reached the V6 development stage. At this stage it was observed that the inoculation of plants with *Azospirillum* promoted greater growth in height in plants under full irrigation, whereas for plants under stress, no significant difference was found. For the other treatments, there was no significant difference in irrigated and stressed plants, at the V6 development stage.

Keywords: *Zea mays*, rhizobacteria, inoculants, *Azospirillum*.

1. INTRODUÇÃO

O milho é uma das *commodities* que domina o mercado agropecuário nacional e internacional (ARTUZO *et al.*, 2019). É ingrediente principal para a produção de ração destinada à bovinocultura, suinocultura e avicultura, impactando diretamente na produção de proteína animal (FERNANDES, 2022; HARIPRASANNA & RAKSHIT, 2016). Além de servir para a alimentação animal, os grãos de milho são também utilizados como dieta básica principal para a população de países como Ásia e África, caracterizando-se como cultura estratégica tanto para países sub e desenvolvidos (FERNANDES, 2022, ARTUZO *et al.*, 2019; HARIPRASANNA & RAKSHIT, 2016).

Entretanto, a cultura pode ser afetada por fatores abióticos que levam a grandes perdas na produtividade agrícola (ZHU *et al.*, 2013). O clima é o principal fator ambiental responsável pelas variabilidades e perdas de safras agrícolas no Brasil (BERGAMASCHI & MATZENAUER, 2014; CUADRA *et al.*, 2018). Análises realizadas sobre a produção agrícola mostraram que há grande correlação entre as oscilações de safras das principais culturas e as condições climáticas, tais como o déficit hídrico, que pode ser considerado aquele que mais afeta a produção das lavouras no mundo (BERGAMASCHI & MATZENAUER, 2014; PAZ *et al.*, 2000).

A seca é um termo meteorológico (JALEEL *et al.*, 2009), que pode ser caracterizada como sendo um estresse multidimensional, recorrente, que não se limita a regiões ou períodos específicos (REIS *et al.*, 2022). O estresse hídrico afeta a planta em todos os seus estádios de desenvolvimento (MENDONÇA, 2021; SILVA, 2023). O déficit hídrico causa efeitos negativos nas plantas, tais como a diminuição no conteúdo da clorofila, ação deletéria na altura, raiz e na biomassa da planta, nas trocas gasosas e rendimento final dos grãos (MENDONÇA, 2021; SILVA, 2023; BERGAMASCHI & MATZENAUER, 2014).

A utilização de microrganismos considerados benéficos, como as Rizobactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (RPCP), quando adaptados a ambientes estressantes podem contribuir positivamente na mitigação dos efeitos causados pelo estresse hídrico e contribuem para a manutenção do desenvolvimento das plantas (MENDONÇA, 2021; RATZ *et al.*, 2017; AHEMAD & KIBRET, 2019; LIN *et al.*, 2018).

O Auras® (*Bacillus aryabhatai*) é uma rizobactéria promotora do crescimento de plantas encontrada originalmente no bioma caatinga que tem como característica a

redução na quantidade de água utilizada pelas plantas, o mecanismo de funcionamento dessas rizobactérias consiste em produzir expolissacarídeos, que são substâncias que hidratam as raízes das plantas, além disso, essa rizobactéria auxilia na produção de auxina, que é um fitohormônio que estimula a formação de raízes e radículas (MAY *et al.*, 2021).

O Biomaphos® é um inoculante formado por cepas de *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* que tem como função a solubilização do fósforo presente na rizosfera, essa rizobactéria se fixa aos minerais de argila e aos metais presentes no solo transformando o fósforo em fosfato de forma acessível para as plantas, melhorando o desenvolvimento das raízes através da otimização da absorção de nutrientes pelas plantas (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

O *Azospirillum* é a rizobactéria mais abundante do planeta e tem como função realizar a fixação biológica de nitrogênio, esses inoculantes convertem o N₂ (nitrogênio) presente na atmosfera em NH₃ (amônia), facilitando a assimilação de nitrogênio pelas plantas (HUNGRIA, 2011).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes inoculantes (Auras®, *Azospirillum* e Biomaphos®) na mitigação do déficit hídrico em plantas jovens de milho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma gramínea diploide, monóica que apresenta espécies tipicamente alógamas e pertencentes à família das Poaceae (CRISPIM FILHO, 2018; MAGALHÃES *et al.*, 2003; OLIVEIRA, 2013). As características atuais do milho resultam de diversas modificações ocorridas na anatomia e fisiologia das gramíneas (MAGALHÃES *et al.*, 2003; OLIVEIRA, 2013). Originou-se na América Central, de seu ancestral o teosinto, seguindo para o hemisfério Sul, sendo cultivado e domesticado pelos nativos, tendo assim suas características modificadas pelas diferentes interações, chegando às cultivares atuais (CRISPIM FILHO, 2018).

Na economia mundial, é um dos cereais de maior importância sendo o mais cultivado no mundo devido às suas variadas aplicações (OLIVEIRA *et al.*, 2013; SANTOS, 2015). Atualmente tem os Estados Unidos como seu principal produtor, sendo precedido pela China e Brasil respectivamente (USDA, 2023).

Como matéria prima, o milho é um dos cereais mais requeridos, sendo utilizado na produção de óleos, farinha, xaropes, flocos para cereais, amido e biocombustíveis (MANOCHIO, 2014; SANTOS, 2015). O milho apresenta fácil digestibilidade para animais, alto teor de concentração de amido seguido por proteínas e óleos (CRISPIM FILHO, 2018). O milho é majoritariamente usado para ração animal, aproximadamente 70% da produção mundial (OLIVEIRA *et al.*, 2013; SANTOS, 2015). Além de ser considerado importante constituinte da dieta básica humana representando cerca de 20% da ingestão diária de mais de 20 países subdesenvolvidos (OLIVEIRA *et al.*, 2013; RIVEIRA, 2006).

No Brasil, a produção do milho se caracteriza por estar presente em duas épocas – primeira safra e segunda safra ou safrinha, a qual se mostra mais dependente dos regimes de chuvas (OLIVEIRA, 2013). Segundo a USDA (2023), a previsão para a safra total de milho de 2023/2024 é 129 de milhões de toneladas, tendo uma queda de aproximadamente 3% em relação à safra anterior.

2.2. Milho sob estresse hídrico

O milho é uma espécie com metabolismo fotossintético C4, caracterizado por mecanismo de concentração de CO₂ no sítio ativo da Ribulose-bifosfato-carboxilaseoxigenase (Rubisco) do ciclo de Calvin e Benson, que mantém alta razão CO₂/O₂ e elimina a fotorrespiração (BERGAMASCHI & MATZENAUER, 2014).

Apesar da eficiência no uso da radiação solar pelas plantas pertencentes ao grupo C4 (SILVA *et al.*, 2023), o milho apresenta característica de alta sensibilidade ao déficit hídrico, impactando na redução do aporte hídrico e levando a períodos críticos no desenvolvimento da cultura (BERGAMASCHI & MATZENAUER, 2014).

A fase de maior sensibilidade da cultura ao déficit hídrico é o período que vai do florescimento a maturação, assim estiagem nessa fase pode causar redução por espiga e consequentemente redução na produtividade final, de 20% a 50% (SILVA *et al.*, 2023).

2.3. Efeito das rizobactérias em plantas

As Rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCP) correspondem a um grupo de microrganismos benéficos às plantas (HUNGRIA, 2011), que colonizam raízes, rizosfera, filosfera e tecidos internos das plantas, e consequentemente podem impactar no comprimento, no número de raízes laterais, e, em determinadas plantas, nos nódulos dessas raízes, dentre outras propriedades (REIS *et al.*, 2022; HUNGRIA, 2011; PATRÍCIO, 2023).

As RPCP melhoram a nutrição das plantas e conseqüentemente seu crescimento, por diversas maneiras: através da melhoria na absorção de água, da fixação biológica de nitrogênio, mecanismos de solubilização de fosfato, produção de hormônios como auxinas, citocininas, e atuam como agente de controle biológico de patógenos, que aumentam o crescimento e o rendimento de várias culturas, resultando em maiores produções (REIS *et al.*, 2022; PATRÍCIO, 2023; HUNGRIA, 2011; MELO & AZEVEDO, 1998).

Dentre o grupo das rizobactérias capazes de promover o crescimento das plantas, é possível citar o BiomaPhos®, o qual é composto de *Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119 e possui como característica o aumento da eficiência na absorção do fósforo por microrganismos nas plantas, resultando em menores doses de fertilizantes e redução de energia na produção e transporte (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

A rizobactéria *Bacillus aryabhatai*, cujo nome comercial é Auras® é um bioinsumo que aumenta a capacidade de adaptação de plantas ao estresse hídrico. Esse produto tem capacidade de promover o crescimento das plantas mesmo em condições de seca (MAY *et al.*, 2021).

A espécie *Azospirillum brasilense* produz fitohormônios capazes de estimular o crescimento radicular de diversas espécies de plantas (HUNGRIA, 2011). Os fitohormônios responsáveis pelo estímulo do crescimento das raízes apontados por TIEN *et al.* (1979) foram o ácido indol-acético (AIA), giberelinas e citocininas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Instalação do experimento

O experimento foi instalado em casa de vegetação na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, localizada no município de Sete Lagoas, MG, Brasil. Foi utilizado o híbrido simples de milho NS 90 PRO2, sendo a semeadura realizada em vasos plásticos com capacidade de 20 kg contendo Latossolo Vermelho Distrófico Típico de textura média, devidamente adubado.

Foram semeadas cinco sementes por vaso, e após 15 dias da germinação foi realizado o desbaste segundo recomendação proposta por MENDES (1947), deixando duas plantas por vaso.

O delineamento experimental foi em blocos casualizado (DBC) com um fatorial 8 x 2, constituído por oito tratamentos com inoculantes em separado ou em coinoculação. O inoculantes foram BiomaPhos® comercial, Auras® comercial e cepas de *Azospirillum*

brasiliense cultivadas no Laboratório de Microbiologia da Embrapa Milho e Sorgo. Cada tratamento foi repetido 8 vezes (4 vezes sob irrigação plena e 4 sob irrigação com déficit).

3.2. Inoculação das sementes

Os cálculos para determinação da quantidade de inoculantes, seguindo recomendação dos fabricantes, foram feitos para a quantidade de 100 sementes por tratamento e obteve-se as seguintes combinações:

Tratamento 1: Controle (sem inoculação);

Tratamento 2: Auras® (0,083mL);

Tratamento 3: BiomaPhos® (0,083mL);

Tratamento 4: *Azospirillum* (0,415mL);

Tratamento 5: Auras® (0,0415mL) + *Azospirillum* (0,2075mL)

Tratamento 6: BiomaPhos® (0,0415mL) + *Azospirillum* (0,2075mL);

Tratamento 7: Auras® (0,0415mL) + BiomaPhos® (0,0415mL);

Tratamento 8: Auras® (0,0275) + BiomaPhos® (0,0275mL) + *Azospirillum* (0,138mL).

As sementes foram inoculadas com auxílio de uma pipeta, conforme a dose calculada para cada tratamento.

3.3. Imposição do déficit hídrico

Metade de cada tratamento (4 repetições) foi submetida ao déficit hídrico por 10 dias quando as plantas estavam no estágio vegetativo (V6). As plantas foram avaliadas nessa fase de crescimento devido ao estágio V6 apresentar o pendão acima do nível do solo e o colmo está no início do período de alongamento, além do sistema radicular estar em pleno desenvolvimento, demonstrando que nesse estágio as plantas estão na melhor fase desenvolvimento fisiológico (MAGALHÃES & DURÃES, 2006). Logo após o período de déficit hídrico foram realizadas as avaliações das características ecofisiológicas das plantas de milho: medição de diâmetro de colmo, altura de planta e teor relativo de clorofila. Na sequência, foi realizado o corte das plantas para medição da área foliar, massa seca das folhas e massa seca das raízes. A massa seca foi obtida utilizando estufa a 65 °C.

3.4. Análise dos dados

Os resultados obtidos, foram submetidos à análise de variância estatística e ao teste de comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$), utilizando o software estatístico SISVAR - Sistema de Análise de Variância (Ferreira 2010).

4. RESULTADOS

4.1. Diâmetro do colmo

De acordo com a Figura 1, apesar de não ter havido diferença significativa entre os tratamentos sob as diferentes condições hídricas, houve uma maior tendência de crescimento em diâmetro em cerca de 4% para o tratamento 8 (Auras® + BiomaPhos® + *Azospirillum*) quando comparado ao tratamento testemunha em plantas irrigadas.

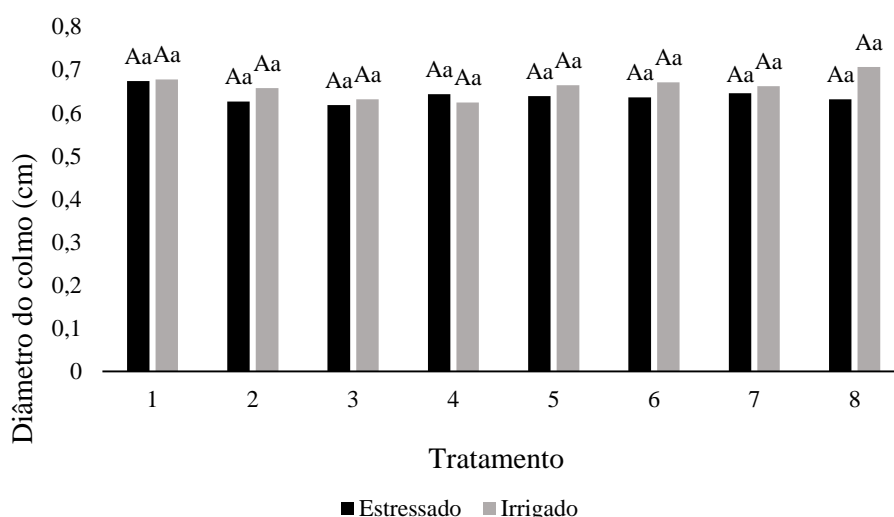


Figura 1 – Diâmetro do colmo das plantas de milho em todos os tratamentos sob condição irrigada e sob déficit hídrico. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$). Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de uma mesma condição. Letras maiúsculas comparam os mesmos tratamentos nas duas condições hídricas. Tratamento 1: Controle (sem inoculação); Tratamento 2: Auras® (0,083mL); Tratamento 3: BiomaPhos® (0,083mL); Tratamento 4: *Azospirillum* (0,415mL); Tratamento 5: Auras® (0,0415mL) + *Azospirillum* (0,2075mL); Tratamento 6: BiomaPhos® (0,0415mL) + *Azospirillum* (0,2075mL); Tratamento 7: Auras® (0,0415mL) + BiomaPhos® (0,0415mL); Tratamento 8: Auras® (0,0275) + BiomaPhos® (0,0275mL) + *Azospirillum* (0,138mL).

4.2. Massa seca da parte aérea

De acordo com a Figura 2, é possível observar que não houve diferença significativa entre os tratamentos em ambas as condições hídricas, entretanto foi observada uma leve tendência de uma maior massa seca da parte aérea no tratamento 8 (Auras® + BiomaPhos® + *Azospirillum*), em plantas irrigadas, com incremento de cerca de 7% quando comparado ao tratamento testemunha.

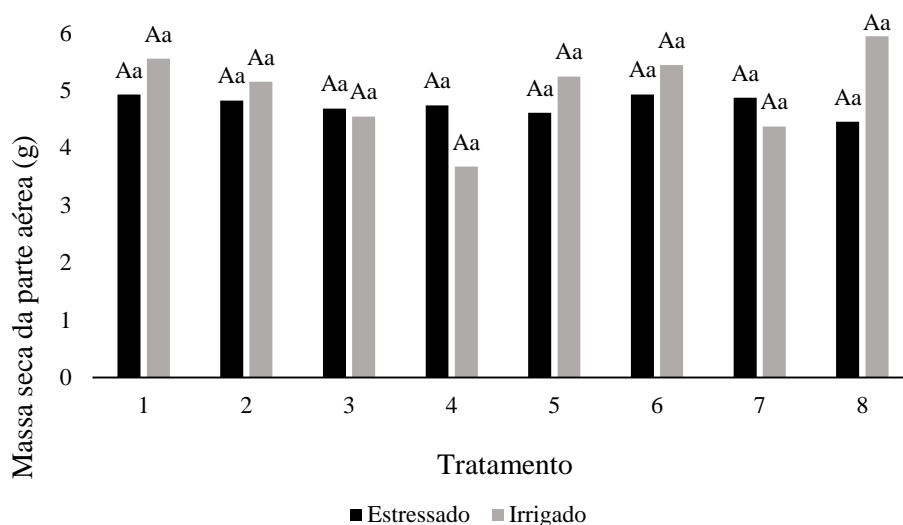


Figura 2 - Massa seca da parte aérea de plantas de milho em todos os tratamentos sob condição irrigada e sob déficit hídrico. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0.05$). Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de uma mesma condição. Letras maiúsculas comparam os mesmos tratamentos nas duas condições hídricas. Tratamento 1: Controle (sem inoculação); Tratamento 2: Auras® (0,083mL); Tratamento 3: BiomaPhos® (0,083mL); Tratamento 4: *Azospirillum* (0,415mL); Tratamento 5: Auras® (0,0415mL) + *Azospirillum* (0,2075mL); Tratamento 6: BiomaPhos® (0,0415mL) + *Azospirillum* (0,2075mL); Tratamento 7: Auras® (0,0415mL) + BiomaPhos® (0,0415mL); Tratamento 8: Auras® (0,0275) + BiomaPhos® (0,0275mL) + *Azospirillum* (0,138mL).

4.3. Massa seca da raiz

De acordo com a Figura 3 é possível observar que não houve diferença significativa entre os tratamentos nas condições hídricas em questão quando comparado com o controle (tratamento 1). Entretanto, foi possível notar que houve uma tendência de aumento na massa seca das raízes de plantas estressadas nos tratamentos 4 (*Azospirillum*), tratamento 5 (Auras® + *Azospirillum*), tratamento 6 (BiomaPhos® + *Azospirillum*), e tratamento 8 (Auras® + BiomaPhos® + *Azospirillum*), cujo incremento de massa em relação à testemunha foram respectivamente de aproximadamente 44%, 23%, 29% e 24%.

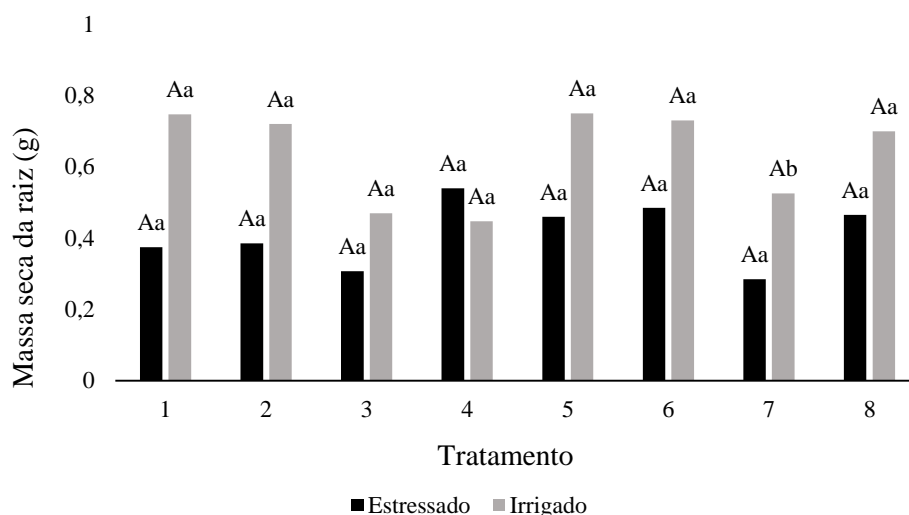


Figura 3 - Massa seca das raízes de plantas de milho em todos os tratamentos sob condição irrigada e sob déficit hídrico. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0.05$). Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de uma mesma condição. Letras maiúsculas comparam os mesmos tratamentos nas duas condições hídricas. Tratamento 1: Controle (sem inoculação); Tratamento 2: Auras® (0,083mL); Tratamento 3: BiomaPhos® (0,083mL); Tratamento 4: *Azospirillum* (0,415mL); Tratamento 5: Auras® (0,0415mL) + *Azospirillum* (0,2075mL); Tratamento 6: BiomaPhos® (0,0415mL) + *Azospirillum* (0,2075mL); Tratamento 7: Auras® (0,0415mL) + BiomaPhos® (0,0415mL); Tratamento 8: Auras® (0,0275) + BiomaPhos® (0,0275mL) + *Azospirillum* (0,138mL).

4.4. Área foliar

Verifica-se na Figura 4, que não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos na condição de estresse hídrico e de irrigação porém, é possível notar uma predisposição de aumento da área foliar quando comparado com a testemunha em cerca de 4% no tratamento 3 (BiomaPhos®) em plantas estressadas, enquanto que nas plantas irrigadas, um aumento de cerca de 19% na área foliar quanto utilizado o tratamento 8 (Auras® + BiomaPhos® + *Azospirillum*).

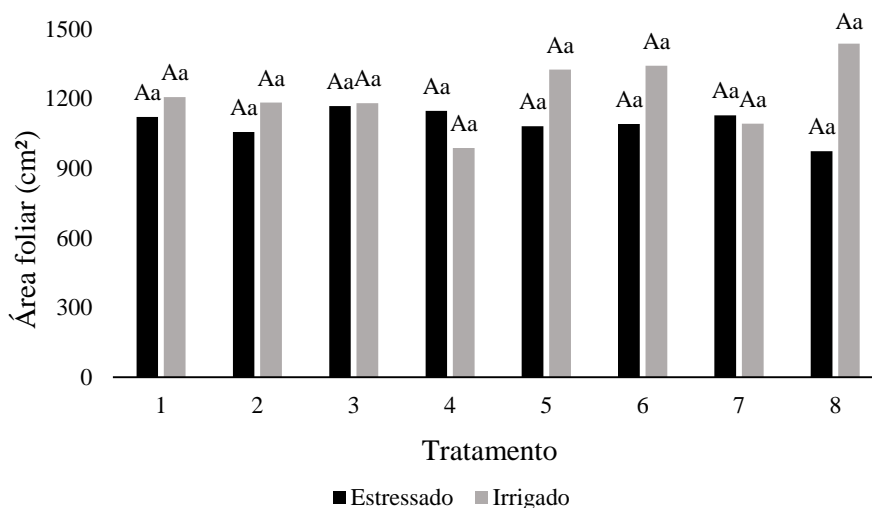


Figura 4 – Área foliar do milho em todos os tratamentos sob condição irrigada e sob déficit hídrico. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0.05$). Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de uma mesma condição. Letras maiúsculas comparam os mesmos tratamentos nas duas condições hídricas. Tratamento 1: Controle (sem inoculação); Tratamento 2: Auras® (0,083mL); Tratamento 3: BiomaPhos® (0,083mL); Tratamento 4: *Azospirillum* (0,415mL); Tratamento 5: Auras® (0,0415mL) + *Azospirillum* (0,2075mL); Tratamento 6: BiomaPhos® (0,0415mL) + *Azospirillum* (0,2075mL); Tratamento 7: Auras® (0,0415mL) + BiomaPhos® (0,0415mL); Tratamento 8: Auras® (0,0275) + BiomaPhos® (0,0275mL) + *Azospirillum* (0,138mL).

4.5. Altura da planta

Na Figura 5 verifica-se que a altura de planta na fase V6 demonstrou que o tratamento 6 (BiomaPhos® + *Azospirillum*) embora não estatisticamente significativa, apresentou tendência de maior altura sob estresse em relação ao controle, 4%.

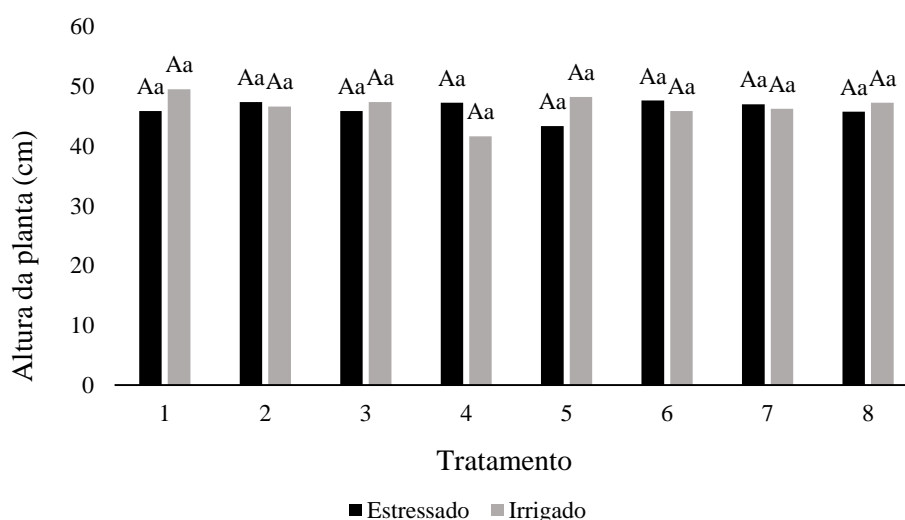


Figura 5 - Altura da planta de milho em todos os tratamentos sob condição irrigada e sob déficit hídrico. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0.05$). Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de uma mesma condição. Letras maiúsculas comparam os mesmos tratamentos nas duas condições hídricas. Tratamento 1: Controle (sem inoculação); Tratamento 2: Auras® (0,083mL); Tratamento 3: BiomaPhos® (0,083mL); Tratamento 4: *Azospirillum* (0,415mL); Tratamento 5: Auras® (0,0415mL) + *Azospirillum* (0,2075mL); Tratamento 6: BiomaPhos® (0,0415mL) + *Azospirillum* (0,2075mL); Tratamento 7: Auras® (0,0415mL) + BiomaPhos® (0,0415mL); Tratamento 8: Auras® (0,0275) + BiomaPhos® (0,0275mL) + *Azospirillum* (0,138mL).

4.6. Teor relativo de clorofila

De acordo com a Figura 6, para o teor relativo de clorofila, não houve diferença significativa entre os tratamentos quando comparado com a testemunha nas condições hídricas avaliadas, porém, há leve tendência de aumento em cerca de 3% nesse teor para plantas estressadas nos tratamentos 4 (*Azospirillum*) e 6 (BiomaPhos® + *Azospirillum*). Para plantas irrigadas, o tratamento 5 demonstra um incremento de cerca de 4% em relação ao tratamento de controle.

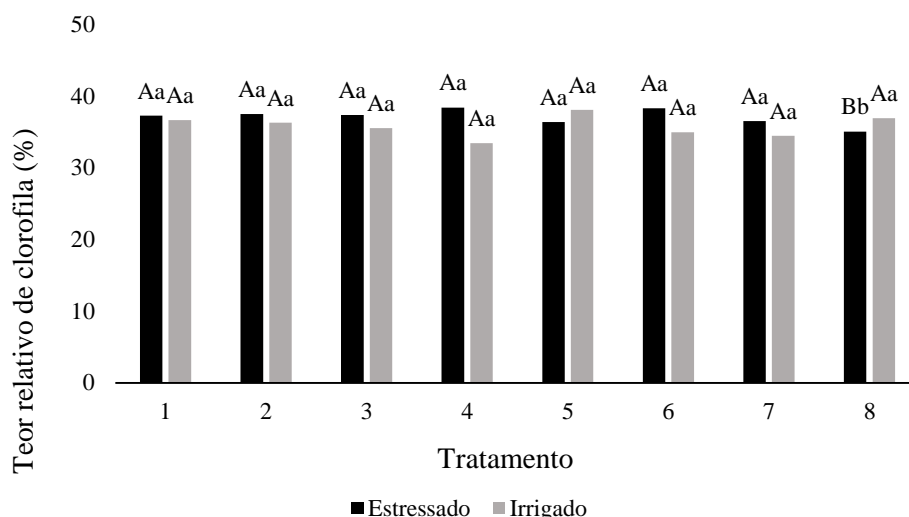


Figura 6 – Teor relativo de clorofila em todos os tratamentos sob condição irrigada e sob déficit hídrico. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0.05$). Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de uma mesma condição. Letras maiúsculas comparam os mesmos tratamentos nas duas condições hídricas. Tratamento 1: Controle (sem inoculação); Tratamento 2: Auras® (0,083mL); Tratamento 3: BiomaPhos® (0,083mL); Tratamento 4: *Azospirillum* (0,415mL); Tratamento 5: Auras® (0,0415mL) + *Azospirillum* (0,2075mL); Tratamento 6: BiomaPhos® (0,0415mL) + *Azospirillum* (0,2075mL); Tratamento 7: Auras® (0,0415mL) + BiomaPhos® (0,0415mL); Tratamento 8: Auras® (0,0275) + BiomaPhos® (0,0275mL) + *Azospirillum* (0,138mL)

5. DISCUSSÃO

O diâmetro do colmo do milho reflete a susceptibilidade ao acamamento e ao quebraamento das plantas (CRUZ *et al.*, 2021). Além disso, o colmo das plantas de milho funciona como órgão de reserva de sacarose, contendo uma considerável reserva de fotoassimilados, os quais podem ser translocados para a espiga para o enchimento dos grãos (MAGALHÃES *et al.*, 1996). No presente trabalho, não houve interação no crescimento em diâmetro de plantas de milho sob nenhum dos tratamentos, o que se difere do trabalho de DARTORA *et al.* (2013), o qual encontrou interação entre a utilização de *Azospirillum* associado a adubação nitrogenada e o crescimento em diâmetro do colmo do milho na fase vegetativa e reprodutiva quando submetido ao plantio não irrigado.

A massa seca da parte aérea é importante indicador do desenvolvimento das plantas, pois fornece informações sobre alocação de recursos e biomassa vegetal, desempenhando papel fundamental na compreensão da ecofisiologia das plantas e na avaliação dos fatores ambientais atrelados aos plantios (AVELINO *et al.*, 2021). No presente trabalho, na fase V6 não foi encontrada diferença significativa entre os tratamentos para a massa seca da parte aérea, indo de acordo com o apresentado por ARAUJO *et al.*, (2013), que demonstrou que não houve diferença estatística na massa seca da parte aérea no período 90 dias em plantas submetidas a inoculação com

Azospirillum sp. sem o uso de irrigação, os autores sugerem o uso da inoculação de *Azospirillum* acrescida de adubação nitrogenada no plantio e na cobertura.

A massa seca das raízes é importante medida para avaliar o crescimento e sanidade das plantas de milho, representando a massa das raízes após a remoção de água, estimando de forma precisa o tamanho e o desenvolvimento do sistema radicular (ALCANTARA *et al.*, 2021). Em oposição ao encontrado no trabalho em questão, MILLÉO *et al.*, (2016) os quais utilizaram o teste Duncan a 10% de significância encontraram interação entre o crescimento radicular de plantas de milho e o uso de *Azospirillum brasilense*, o qual promove o aumento do comprimento e da área superficial das raízes de plantas, aumentando a probabilidade de associações entre outros inoculantes em fase de colheita de plantas de milho.

A área foliar tem grande importância em culturas agrícolas pois tem alta correlação com as taxas fotossintéticas e respiratórias das plantas, refletindo na capacidade das mesmas em interceptar radiações e efetuar trocas gasosas com o ambiente, sendo indicativo de aumento na produtividade dos plantios agrícolas (GUIMARÃES *et al.*, 2002). No presente trabalho, a área foliar não obteve resultados significativos, assim como encontrado por MUMBACH *et al.*, (2017), os quais não obtiveram respostas significativas quando avaliada a área foliar com uso de *Azospirillum brasiliense* na fase de colheita dos grãos sem a utilização de irrigação, corroborando com os resultados encontrados no presente trabalho.

A altura das plantas de milho também desempenha um papel significativo em seu crescimento e desempenho agrícola, o crescimento em altura favorece a produção de biomassa devido a maior capacidade dessas plantas de realizarem a fotossíntese, além disso, o crescimento em altura favorece a eficiência na captura de luz pelas plantas, aumentando sua capacidade fotossintética, além de competirem com plantas daninhas, ou seja, plantas mais altas fornecem sombreamento as plantas daninhas, diminuindo sua capacidade de realização de metabolismo (MONDO *et al.*, 2012).

No presente trabalho não foi encontrada diferença significativa na altura de plantas de milho na fase de crescimento V6, corroborando com o trabalho de CAVALLET *et al.*, (2000), o qual também não encontrou diferença significativa no crescimento em altura de plantas de milho submetidas ao tratamento com *Azospirillum* spp. no período de colheita das plantas na ausência de adubação. MORENO *et al.*, (2021) não observaram efeito isolado do *Azospirillum* spp. no crescimento de altura em plantas de milho na fase de pendramento (VT) sem irrigação complementar.

O teor relativo de clorofila avalia a sanidade e eficiência da fotossíntese das plantas, fornecendo informações sobre a concentração de clorofila nas folhas, auxiliando nas tomadas de decisões relacionadas ao manejo agrícola (DANIEL *et al.*, 2016). Apesar de não ter encontrado diferença significativa no teor relativo de clorofila no presente trabalho, JORDÃO *et al.*, (2010) encontraram relação positiva entre o teor relativo de clorofila e aplicação de *Azospirillum* spp. em plantas no período de florescimento, cujas médias de todos os tratamentos que receberam a inoculação das sementes com *Azospirillum brasiliense* são maiores que os tratamentos não inoculados na ausência de irrigação.

Embora não se tenha verificado, na maioria das variáveis, uma diferença significativa, no tratamento 8, (coinoculação por Auras®, BiomaPhos® e *Azospirillum* em condição de estresse hídrico) as variáveis apresentaram uma ligeira tendência de aumento, sugerindo maior desenvolvimento das plantas, quando comparado ao controle.

Em função dos resultados é possível sugerir que, nesse estágio de desenvolvimento V6, o curto período de tempo entre inoculação e coleta de dados não permitiu a expressão plena da atividade dos inoculantes sob o desenvolvimento das plantas de milho. De acordo com JORDÃO *et al.*, (2010) faz se necessário ampliar os estudos para avaliação dos efeitos desses tratamentos em plantas de milho em estágio mais avançado e ou quando submetidas a maior período de estresse hídrico para avaliação mais assertiva das variáveis selecionadas para análise.

6. CONCLUSÃO

A utilização das rizobactérias visando verificar o efeito destas na mitigação do estresse hídrico em plantas de milho necessita ser avaliada em estágio mais avançado de desenvolvimento das plantas, superior ao analisado (V6). Os resultados mostraram que as plantas devem ser conduzidas até estádios mais avançados ou até mesmo a produção, para avaliação das características mensuradas neste estudo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHEMAD, M., & KIBRET, M. **Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective.** Journal of King saud University-science, 2013, 26(1), 1-20. Analysis, v.49, p.1239–1255, 2019.

ALCANTARA, R.M.C.M.; SOUSA, T.S.; PERES, T.L.; OLIVEIRA, A.K.S.; SILVA, E.A.S.; COSTA, P.M. **Parâmetros morfológicos e produtivos da cultura do milho inoculado com bactérias promotoras de crescimento vegetal em Teresina, PI.** Embrapa Meio-Norte, 2021. PDF (30 p.): il.; 16 cm x 22 cm. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Meio-Norte, ISSN 1413-1455; 131).

ARAUJO, E.O.; MERCANTE, F.M.; VITORINO, A.C.T.; NUNES, D.P.; PAIM, L.R.; MENDES, D.A.E. **Produtividade do milho em resposta a aplicação de nitrogênio e à inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae*.** XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 28 de julho a 2 de agosto de 2013. Florianópolis. SC.

ARTUZO, F. D.; FOGUESATTO, C. R.; MACHADO J. A. D.; OLIVEIRA L.; SOUZA, A. R. L. **O Potencial Produtivo Brasileiro: Uma Análise Histórica Da Produção De Milho.** Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v. 12, n. 2, p. 515-540, 2019. DOI: 10.17765/2176-9168.2019v12n2p515-540. 2019.

AVELINO, N.R.; SCHILING, A.C.; DALMOLIN, A.C.; SANTOS, M.S.; MIELKE, M.S. **Alocação de biomassa e indicadores de crescimento para a avaliação da qualidade de mudas de espécies florestais nativas.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 31, n. 4, p. 1733-1750, out./dez. 2021

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima.** Porto Alegre: Emater-RS: Ascar, 2014.

CAVALLET, L.E.; PESSOA, A.C.S.; HELMICH, J.J.; HELMICH, P.R.; OST, C.F. **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. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Brasil deve produzir maior safra histórica de grãos no ciclo 2022/2023, com 317,6 milhões de toneladas.** Brasília – DF. 2023.

CRISPIM FILHO A. J. **Estimativa de parâmetros genéticos e análise de trilha em uma população de milho com potencial para seleção recorrente.** Universidade Federal de Goiás; Escola de Agronomia. Goiânia, Goiás, 2018.

CRUZ, J.C.; FILHO, I.A.P.; FILHO, M.R.A. **Milho: Espaçamento e Densidade.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/plantio/espacamento-e-densidade>. 2021. Acesso em: 18 de julho de 2023.

CUADRA, S. V.; HEINEMANN, A. B.; MADARI, B. E.; ASSAD, E. D.; OLIVEIRA, P. P. A.; ANGELOTTI, F.; GIONGO, V.; VICTORIA, D. de C.; PEREIRA, L. G. R.;

GONDIM, R. S.; OLIVEIRA, A. F. de; HIGA, R. C. V. **Mudanças climáticas e a agropecuária brasileira.** Ação contra a mudança global do clima; capítulo 2. Embrapa Clima Temperado. 2018.

DANIEL, E.S.; AMARANTE, V.T.; MARTIN, M.S.; MIQUELLUTI, D.J.; CAMPOS, M.L. **Relação entre o teor absoluto e relativo de clorofila em folhas de vimeiro.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 307-312, jan.-mar., 2016.

DARTORA, J., GUIMARÃES, V. F., MARINI, D. E SANDER, G. **Adubação nitrogenada associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae* na cultura do milho.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 17, 1023-1029.

FERNANDES M. S. **Evolução da área plantada, produtividade e produção da cultura do milho no Brasil.** Unifimers. 2022.

GUIMARÃES, D. P.; SANS, L. M. A., MORAES, A.V. de C. **Estimativa da Área Foliar de Cultivares de Milho.** XXIV Congresso Nacional de Milho e Sorgo - 01 a 05 de setembro de 2002 - Florianópolis – SC. 2002.

HARIPRASANNA, K.; RAKSHIT, S. **Economic Importance of Sorghum.** In The Sorghum Genome. Compendium of Plant Genomes; Rakshit, S., Wang, Y.H., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2016; pp. 1–25, doi:10.1007/978-3-319-47789-3_1. 2016.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasiliense*: inovação em rendimento a baixo custo.** Londrina, Embrapa Soja, 36 p. - (Documentos / Embrapa Soja). 2011.

JALEEL CA, RIADH K, GOPI R, MANIVANNAN P, INÈS J, ET AL. **Antioxidant defense responses: physiological plasticity in higher plants under abiotic constraints.** Acta Physiol. Plant. 31:427–36. 2009.

JORDÃO, L.T.; LIMA, F.F.; LIMA, R.S.; MORETTI, P.A.E.; PEREIRA, H.V.; MUNIZ, A.S.; OLIVEIRA, M.C.N. **Teor relativo de clorofila em folhas de milho inoculado com *Azospirillum brasiliense* sob diferentes doses de nitrogênio e manejo com braquiária.** XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Guarapari – ES, Brasil, 13 a 17 de setembro de 2010.

LIN, Y.; WATTS, D.B.; KLOEPPER, J.W.; TOBERT, H.A. **Influence of plant growth promoting rhizobacteria on corn growth under different fertility sources.** Communications in Soil Science and Plant. 2018.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; CARNEIRO, N.P.; PAIVA, E. **Fisiologia do milho.** Embrapa, 2003.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M. **Fisiologia da Produção de Milho.** Circular Técnica, 76. Sete Lagoas, MG. Dezembro, 2006.

MANOCHIO C. **Produção de bioetanol de Cana-de-açúcar, milho e beterraba: uma comparação dos indicadores tecnológicos, ambientais e econômicos.** Universidade Federal de Alfenas, Campus Poços de Caldas. Poços de Caldas, MG, 2014.

MAY, A.; SANTOS, M. S. dos; SILVA, E. H. F. M. da; VIANA, R. S.; VIEIRA JUNIOR, N. A.; RAMOS, N. P.; MELO, I. S. de. **Effect of *Bacillus aryabhatai* on the initial establishment of pre-sprouted seedlings of sugarcane varieties**. Research, Society and Development, v. 10, n. 2, e11510212337, 2021.

MELO, I.S. DE; AZEVEDO, J. L. DE. **Ecologia microbiana**. Jaguariúna, SP: Embrapa-CNPMA,1998.

MENDES, C.T. **O desbaste na cultura de milho**. Revista de Agricultura. Catedrático da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” de Piracicaba. Universidade de São Paulo, 1947.

MENDONÇA, S., M. **Rizobactérias multifuncionais na mitigação do déficit hídrico e da brusone foliar em arroz de terras altas**. Universidade Federal De Goiás. Escola de Agronomia Programa de Pós-Graduação Em Agronomia. Fevereiro, 2021.

MILLÉO, R.; VINICIUS, M.; CRISTÓFOLI, I. **Avaliação da eficiência agrônômica da inoculação de *Azospirillum* sp. na cultura do milho**. Scientia Agraria, vol. 17, núm. 3, julio-diciembre, 2016, pp. 14-23 Universidade Federal do Paraná Curitiba, Brasil

MONDO, V.H.V.; CICERO, S.M.; DOURADO-NETO, D.; PUPIM, T.L.; DIAS, M.A.N. **Vigor de sementes e desempenho de plantas de milho**. Revista Brasileira de Sementes, vol. 34, nº 1 p. 143 - 155, 2012

MORENO, A.L.; KUSDRA, J.F.; PICAZEVICZ, A.A.C. **Rhizobacteria inoculation in maize associated with nitrogen and zinc fertilization at sowing**. Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.25, n.2, p.96-100, 2021.

MUMBACH, G.L.; KOTOWSKI, I.E.; SCHNEIDER, F.J.A.; MALLMANN, M.S.; BONFADA, E.B.; PORTELA, V.O.; BONFADA, E.B.; KAISER, D.R. **Resposta da inoculação com *Azospirillum brasilense* nas culturas de trigo e de milho safrinha**. REVISTA SCIENTIA AGRARIA. Versão On-line ISSN 1983-2443. Versão Impressa ISSN 1519-1125. SA vol. 18 nº. 2 Curitiba Abr/Jun. p. 97-103. 2017.

OLIVEIRA A. S. **Variabilidade genética e potencial produtivo em três populações semiexóticas de milho (*Zea mays* L.)**. Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí. Jataí, Goiás, 2013.

OLIVEIRA, P. de; NASCENTE, A.S.; KLUTHCOUSKI, J.; PORTES, T.A.; **Crescimento e produtividade de milho em função da cultura antecessora**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 43, p. 239-246, 2013.

OLIVEIRA,P. C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; SANTOS, F. C. dos; PINTO JUNIOR, A. S.; ALVES, V. M. C. **Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas culturas de milho e soja**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020.

OLIVEIRA, P. C.A.; BINI, D.; MARRIEL, I.E.; GOMES, E.A.; SANTOS, F.C.; COSTA, L.V.; SOUSA, S.M.; ALVES, V.M.C.; LANA, U.G.P.; SOUZA, F.F. **Inoculante à base de bactérias solubilizadoras de fosfato nas culturas de milho e da soja (Biomaphos): dúvidas frequentes e boas práticas de inoculação.** Comunicado Técnico 252. Sete Lagoas, MG. 2021.

PAIVA, A.P.L.de; MAGALHÃES, P.C.; CARVALHO, L.P.de.; JALES, H.F.; JÚNIOR, C.C.G.; LANA, U.G.P.; MARRIEL, L.E. **Azospirillum brasilense para mitigação do estresse hídrico no sorgo BRS 332 submetido a diferentes doses de nitrogênio.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo,36 p.: il. -- (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo ISSN 1679-0154; 224). 2021.

RATZ, R.J.; PALÁCIO, S.M.; ESPINOZA-QUIÑONES, F.R.; VICENTINO, R.C.; MICHELIM, H.J.; & RICHTER, L.M. **Potencial biotecnológico de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas no cultivo de milho e soja.** Engevista ,19 (4), 890-905. 2017.

RIBEIRO, V. P.; MARRIEL, I. E.; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; MATTOS, B. B.; PAIVA, C. A. O.; GOMES, E. A. **Endophytic Bacillus strains enhance pearl millet growth and nutrient uptake under low-P.** Brazilian Journal of Microbiology, v. 49S, p. 40-46, 2018.

SANTOS S. C. **Características nutricionais e físicas do milho com diferentes texturas e tempos de armazenamento.** Universidade federal de Goiás, Escola Veterinária e Zootecnia, Programa de pós-Graduação. Goiânia, 2015.

SILVA, BARROS E., P.; DE JESUS S. Y. C.; FEITOZA A. **Mitigação do déficit hídrico em plantas de milho por Bacillus sp. isolados de plantas endêmicas da caatinga.** Scientific Electronic Archives, v. 16, n. 6, 2023.

TIEN, T.M.; GASKINS, M.H.; HUBBELL, D.H. **Plant growth substances produced by Azospirillum brasilense and their effect on the growth of pearl millet (Pennisetum americanum L.).** Applied and Environmental Microbiology, v.37, p.1016-1024, 1979.

USDA. United States Department of Agriculture. **Corn 2023 - World Production.** Disponível em: <https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=0440000> . Acesso em: 30 de setembro de 2023.

ZHU, H.; WU, J.; JIANG, Y.; JIN, J.; ZHOU, W.; WANG, Y.; HAN, G.; ZHAO, Y.; CHENG, B. **Genomewide analysis of MATE-type gene family in maize reveals microsynteny and their expression patterns under aluminum treatment.** J Genet. 2016 Sep;95(3):691-704. doi: 10.1007/s12041-016-0686-2. PMID: 27659341.,