

UNIPINHAL
CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA "MANOEL CARLOS GONÇALVES"

**EFICÁCIA DA APLICAÇÃO FOLIAR DE *Methylobacterium symbioticum*
NA FIXAÇÃO DE NITROGÊNIO NO REBROTE DO SORGO (*Sorghum bicolor* L.
Moench)**

GEISON JOSÉ DE MELO

Espírito Santo do Pinhal – SP
Dezembro de 2024

UNIPINHAL
CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA “MANOEL CARLOS GONÇALVES”

**EFICÁCIA DA APLICAÇÃO FOLIAR DE *Methylobacterium symbioticum*
NA FIXAÇÃO DE NITROGÊNIO NO REBROTE DO SORGO (*Sorghum bicolor* L.
Moench)**

Acadêmico: Geison José de Melo

Orientador: Prof. Eng. Agrônomo M.Sc. José Aparecido Sartori

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como parte das exigências
para obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo no Curso de Engenharia
Agrônoma “Manoel Carlos Gonçalves”,
UNIPINHAL.

Espírito Santo do Pinhal – SP
Dezembro de 2024

Melo, Geison José de

M528e

Eficácia da aplicação foliar de *Methylobacterium symbioticum* na fixação de nitrogênio no rebrote do sorgo (*Sorghum bicolor* L. *moench*) / Geison José de Melo. – Espírito Santo do Pinhal, 2024.

27 f.

Orientador: Prof. Me. José Aparecido Sartori.

Trabalho de Conclusão de curso – Agronomia – Faculdade Regional de Espírito Santo do Pinhal.

1. Fixação biológica de nitrogênio (FBN). 2. Agricultura sustentável. 3. Nitrogênio assimilável. I. Sartori, José Aparecido . II. Faculdade Regional de Espírito Santo do Pinhal. III. Título.

CDD 633.62

FOLHA DE APROVAÇÃO

A Comissão Supervisora do Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Agrônômica do UniPinhal, julga aprovado o trabalho apresentado pelo aluno **Geison José de Melo** com o título: Eficácia da aplicação foliar de *Methylobacterium symbioticum* na fixação de nitrogênio no rebrote do sorgo em 04 de abril de 2024.

Orientador(a)

Professor: José Aparecido Sartori

Membros da banca

Professora: Nilva Teresinha Teixeira

Professora: Thatiane Padilha de Menezes

Espírito Santo do Pinhal, 19 de novembro de 2024.

DEDICATÓRIA

*À minha família, meu alicerce.
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida.

Aos meus pais, por acreditarem em mim.

Aos meus colegas e amigos, pela convivência durante todos estes anos.

Aos meus professores, pelo conhecimento e paciência.

EPIGRAFE

*"A terra é um legado precioso que recebemos de nossos antepassados e que devemos transmitir, em condições melhores, aos nossos descendentes."
George Washington*

SUMÁRIO

FOLHA DE ROSTO.....	ii
FOLHA DE APROVAÇÃO.....	iii
DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
EPÍGRAFE.....	vi
SUMÁRIO	vii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMO	x
1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 Sorgo: origem e aspectos econômicos.....	12
2.2 Fixação biológica de nitrogênio: conceitos e importância.....	13
2.3 Bactérias fixadoras de nitrogênio em culturas agrícolas.....	14
2.4 Características e funcionamento da nitrogenase.....	15
2.5 <i>Methlobacterium symbioticum</i> bactéria utilizada na fixação do nitrogênio ...	16
2.6 Aplicação de <i>Methlobacterium symbioticum</i> na cultura do sorgo.....	17
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	26
REFERÊNCIAS.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Teores de Nitrogênio, em g /kg ⁻¹ , no tecido foliar do sorgo.....	24
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área sem tratamento com BlueN®.....	21
Figura 2 – Área com tratamento BlueN®.....	22
Figura 3 – Imagem comparativa (A) área sem tratamento (B) área tratada com BlueN®.....	23
Figura 4 – Avaliação de N no tecido foliar: (esq.) folha não tratada (dir.) folha tratada com BlueN®.....	24

RESUMO

Título: Eficácia da aplicação foliar de *Methylobacterium symbioticum* na fixação de nitrogênio no rebrote do sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench)

Autor: Geison José de Melo

Orientador: Professor José Aparecido Sartori

A agricultura moderna busca aumentar a produtividade com menor impacto ambiental e custos reduzidos. O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), por sua versatilidade e resistência, é cultivado em regiões semiáridas e tropicais, mas sua produção é limitada pela disponibilidade de nitrogênio no solo, essencial para o crescimento das plantas. A fixação biológica de nitrogênio é um processo natural realizado por microrganismos que convertem o nitrogênio atmosférico em formas utilizáveis pelas plantas, como o amônio. Este processo oferece uma alternativa sustentável, diminuindo a necessidade de fertilizantes químicos e seus impactos ambientais. Nesse contexto, a bactéria *Methylobacterium symbioticum* tem se destacado na fixação biológica de nitrogênio. O objetivo foi avaliar o percentual de nitrogênio reciclado pelo produto BlueN®, um formulado comercial com *Methylobacterium symbioticum*, durante o ciclo de rebrote do sorgo Podium (*Sorghum bicolor* L. Moench). O experimento demonstrativo foi conduzido na Fazenda Recanto dos Avestruzes Espírito Santo do Pinhal, SP, de março a julho de 2024, com duas áreas de tratamento: uma área de 60 ha tratada com o produto BlueN® e uma área controle de 3 ha sem a aplicação do produto. Cada área foi subdividida em quatro repetições para garantir a precisão dos resultados. Em 24 de abril de 2024, foi realizada a aplicação foliar do produto BlueN® juntamente com outros produtos agrícolas. Após a aplicação do BlueN®, foram realizadas coletas semanais de folhas para análise de nitrogênio, iniciando em 29 de abril de 2024 e ocorrendo até o final do ensaio, aos 80 dias após rebrote. A primeira análise mostrou um incremento de 12,36% na concentração. Os resultados obtidos indicaram que as plantas na área tratada com BlueN® apresentaram maior crescimento e desenvolvimento de panículas, enquanto as plantas na área de controle mostraram pouco ou nenhum desenvolvimento. Os resultados de análise do tecido foliar indicaram que o produto aplicado promoveu aumentos de concentração de nitrogênio. Assim os resultados deste estudo mostraram que aplicação do BlueN® não só aumentou a produtividade do sorgo, mas também demonstrou potencial para reduzir a dependência de fertilizante nitrogenado, o que proporciona uma agricultura mais sustentável.

Palavras-chave: Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN). Agricultura sustentável. Nitrogênio assimilável.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura moderna enfrenta o desafio constante de aumentar a produtividade das culturas com redução de impacto ambiental e custos de produção. Entre as culturas de grande importância, o sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) se destaca por sua versatilidade e tolerância a condições adversas, sendo amplamente cultivado em regiões semiáridas e tropicais. No entanto, a disponibilidade de nitrogênio no solo é um fator limitante e crucial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, impactando diretamente a produção agrícola.

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é um processo natural realizado por microrganismos capazes de converter o nitrogênio atmosférico (N_2) em formas assimiláveis pelas plantas, como o amônio (NH_4^+). Este processo é de extrema importância, pois representa uma fonte sustentável e ecologicamente correta de nitrogênio, reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos e, conseqüentemente, os custos e os impactos ambientais associados ao seu uso.

Dentro deste contexto, a bactéria *Methylobacterium symbioticum* tem se mostrado uma promissora aliada na fixação biológica do nitrogênio em culturas agrícolas. Esta bactéria possui a enzima nitrogenase, responsável pela conversão eficiente do nitrogênio atmosférico em nitrogênio amoniacal nos tecidos vegetais. Além disso, *M. symbioticum* utiliza o metanol, um resíduo da planta, como fonte de energia para sua multiplicação, o que não representa um gasto energético adicional para as plantas e não impacta negativamente o rendimento da cultura.

O objetivo deste estudo foi avaliar o percentual de nitrogênio que o produto BlueN® recicla, formulado comercial com *Methylobacterium symbioticum* durante o ciclo de rebrote do sorgo Podium (*Sorghum bicolor* L. Moench).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sorgo: origem e aspectos econômicos

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é uma planta originária da África, onde foi domesticado há mais de 5.000 anos. É uma das principais culturas alimentares em regiões áridas e semiáridas devido à sua notável resistência à seca. Ao longo dos séculos, o sorgo se espalhou para outras regiões do mundo, incluindo a Ásia, as Américas e a Europa, onde foi adaptado a diferentes condições climáticas e de solo. No Brasil, o sorgo foi introduzido por volta da década de 1950, e desde então, tem ganhado importância crescente como cultura agrícola, tanto para a produção de grãos quanto para forragem e silagem (SÁ et al., 2024).

O sorgo é uma gramínea anual que apresenta grande variabilidade genética, o que se reflete em sua ampla diversidade de formas e adaptações. O sistema radicular do sorgo é fibroso e profundo, o que contribui para sua eficiência na extração de água e nutrientes do solo, tornando-o uma planta altamente tolerante à seca (DA SILVA CAVALCANTE et al., 2021). As folhas do sorgo são lineares e alongadas, semelhantes às do milho, mas em menor número. Elas possuem uma cutícula cerosa, que ajuda a reduzir a perda de água por transpiração. A inflorescência do sorgo é uma panícula terminal, onde se desenvolvem os grãos que são pequenos, esféricos e geralmente de cor branca, amarela, vermelha ou marrom, ricos em carboidratos e possuem uma composição nutricional que os torna uma importante fonte de alimento (SOUZA et al., 2024).

No Brasil, o sorgo tem se consolidado como uma cultura de grande relevância econômica, especialmente em regiões do Cerrado, onde a condição climática favorece seu cultivo. O sorgo é utilizado principalmente para produção de grãos, forragem, silagem e produção de bioenergia (MARTINS, 2019).

De acordo com o Boletim de Safra de Grãos da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2024), a safra 2023/24 está projetada para atingir 1.738,8 mil toneladas, representando um aumento significativo de 8,2% em relação à temporada anterior. Conab estima um crescimento de 10,4% na área cultivada, passando de 452,9 mil hectares na safra 2022/23 para 500,1 mil hectares na safra 2023/24.

2.2 Fixação biológica de nitrogênio

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é um processo microbiológico vital para a sustentabilidade dos ecossistemas terrestres. Trata-se da conversão do nitrogênio atmosférico (N_2) ou azoto, que é inerte e não pode ser utilizado diretamente pelas plantas, em amônio (NH_4^+), uma forma assimilável. Este processo é mediado por um grupo específico de procariontes, incluindo bactérias e arqueias, que possuem a enzima nitrogenase, a qual catalisa a redução do nitrogênio molecular a amônio (MARENCO, 2009).

A importância da FBN é ressaltada pelo seu papel fundamental na manutenção da fertilidade do solo, especialmente em sistemas agrícolas onde o aporte de fertilizantes químicos é limitado ou inviável. Em tais contextos, a FBN pode reduzir a dependência de fertilizantes nitrogenados sintéticos, cujos processos de fabricação são intensivos em energia e contribuem para a emissão de gases de efeito estufa (VAN RAIJ, 2011).

Os sistemas simbióticos de FBN, tais como a associação de leguminosas com bactérias do gênero *Rhizobium*, são bem documentados e amplamente utilizados na agricultura para melhorar a fixação de nitrogênio no solo (SÁ et al., 2024). No entanto, a exploração de associações com outros microrganismos fixadores de nitrogênio, como a *Methylobacterium symbioticum*, em culturas não leguminosas, representa uma fronteira promissora na pesquisa agrícola. Esses sistemas podem ampliar o espectro de culturas beneficiadas pela FBN, contribuindo para uma agricultura mais diversificada e sustentável (DUARTE, 2024).

Adicionalmente, a FBN tem implicações significativas na ecologia e na evolução das plantas. As plantas que desenvolveram simbioses eficazes com microrganismos fixadores de nitrogênio têm uma vantagem competitiva em ambientes pobres em nutrientes, o que pode influenciar a dinâmica das comunidades vegetais e a estrutura dos ecossistemas (DUARTE, 2024). Estudos sobre a coevolução entre plantas e microrganismos fixadores de nitrogênio continuam a revelar os mecanismos complexos que sustentam essas interações benéficas (SÁ et al., 2024).

A capacidade de certos microrganismos de fixar nitrogênio pode ser explorada para promover práticas agrícolas que se alinhem com objetivos de sustentabilidade ambiental, tais como a redução de emissões de gases de efeito estufa e a sequestro de carbono no solo. Assim, o avanço na compreensão e aplicação da FBN não só

beneficia a agricultura, mas também contribui para a saúde do planeta como um todo (VAN RAIJ, 2011).

2.3 Bactérias fixadoras de nitrogênio em culturas agrícolas

Bactérias fixadoras de nitrogênio desempenham um papel crítico na produtividade agrícola, especialmente em sistemas de cultivo que dependem de recursos naturais e práticas sustentáveis. Entre as bactérias mais estudadas estão aquelas pertencentes aos gêneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azospirillum* e *Methylobacterium*, que formam associações simbióticas com plantas leguminosas e não leguminosas, promovendo a fixação de nitrogênio diretamente nas raízes das plantas hospedeiras (MOREIRA; SIQUEIRA, 2010).

As bactérias do gênero *Rhizobium* são bem conhecidas por formar nódulos radiculares em leguminosas, onde ocorre a fixação de nitrogênio. Este processo simbiótico é altamente específico e envolve uma série de sinais químicos entre a planta e a bactéria. A planta hospedeira fornece nutrientes e um ambiente anaeróbico necessário para a atividade da nitrogenase, enquanto a bactéria fixa nitrogênio e o converte em formas utilizáveis pela planta. Este mutualismo é essencial para o crescimento das leguminosas em solos pobres em nitrogênio (SANTOS et al., 2023).

Por outro lado, bactérias do gênero *Azospirillum* estabelecem associações mais generalistas com uma variedade de gramíneas e outras plantas. Embora não formem nódulos radiculares, essas bactérias colonizam a rizosfera e o interior das raízes, contribuindo para a fixação de nitrogênio e promovendo o crescimento das plantas através da produção de fito hormônios e outros compostos benéficos (SANTOS et al., 2023). Estudos têm demonstrado que a inoculação de *Azospirillum* em culturas como sorgo, milho e trigo pode resultar em aumentos significativos na produtividade (MORTATE et al., 2020).

Recentemente, a pesquisa tem se voltado para a exploração de outras espécies de bactérias fixadoras de nitrogênio, como a *Methylobacterium symbioticum*, que possui características únicas em comparação com as bactérias tradicionais. Esta bactéria utiliza o metanol como fonte de energia, um subproduto natural das plantas, o que a torna especialmente interessante do ponto de vista energético e ambiental. A *M. symbioticum* representa um potencial inovação na FBN para culturas não

leguminosas, como o sorgo, que não formam nódulos radiculares tradicionais (PASCUAL et al., 2020).

A aplicação de bactérias fixadoras de nitrogênio em sistemas agrícolas requer uma compreensão detalhada das interações planta-microrganismo, bem como das condições ambientais que favorecem essas associações. Fatores como pH do solo, disponibilidade de nutrientes, e a presença de outras comunidades microbianas podem influenciar significativamente a eficácia da FBN. Assim, o desenvolvimento de inoculantes bacterianos eficazes depende tanto de avanços científicos quanto de práticas de manejo agrícola adaptadas às condições locais (MARTINS, 2019).

2.4 Características e funcionamento da nitrogenase

A nitrogenase é a enzima chave responsável pela fixação biológica de nitrogênio, catalisando a conversão de nitrogênio molecular (N_2) em amônio (NH_4^+). Esta enzima é altamente conservada entre diferentes espécies de microrganismos fixadores de nitrogênio, refletindo sua importância evolutiva. A nitrogenase é composta por dois componentes principais: a dinitrogenase redutase (proteína Fe) e a dinitrogenase (proteína MoFe), que trabalham em conjunto para realizar a redução do nitrogênio molecular (MOREIRA; SIQUEIRA, 2010).

A reação catalisada pela nitrogenase é energeticamente dispendiosa, exigindo cerca de 16 moléculas de ATP para reduzir uma molécula de N_2 a NH_4^+ . Este processo também envolve a transferência de elétrons, que são fornecidos por fontes de energia metabólica da célula bacteriana. A complexidade da reação é aumentada pela sensibilidade da nitrogenase ao oxigênio, que pode inativar a enzima. Portanto, microrganismos fixadores de nitrogênio desenvolveram mecanismos para proteger a nitrogenase de ambientes oxigenados, como a formação de nódulos radiculares ou a respiração adaptada (MOREIRA; SIQUEIRA, 2010).

A nitrogenase redutase é responsável pela transferência inicial de elétrons, que são passados para a nitrogenase onde a redução do nitrogênio ocorre. A proteína Fe possui centros de ferro-enxofre que facilitam a transferência de elétrons, enquanto a proteína MoFe contém um cofator metaloenzimático, frequentemente composto de molibdênio e ferro, onde a redução do N_2 a NH_4^+ é realizada (MOREIRA; SIQUEIRA, 2010).

O gene NIF, que codifica para a nitrogenase, é altamente regulado e sua expressão é controlada por uma combinação de fatores ambientais e internos. A presença de amônio no ambiente, por exemplo, pode reprimir a expressão dos genes *nif*, um fenômeno conhecido como repressão por amônio. Adicionalmente, o fornecimento adequado de metais como ferro e molibdênio é essencial para a atividade da nitrogenase, influenciando diretamente a eficiência da FBN em diferentes condições de solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2010).

Pesquisas recentes têm explorado a engenharia genética de plantas para incorporar genes NIF, com o objetivo de conferir a capacidade de fixar nitrogênio a culturas que normalmente não possuem esta habilidade (FERREIRA et al., 2020). Embora este campo esteja em estágios iniciais, os avanços podem revolucionar a agricultura, permitindo que uma gama mais ampla de plantas cultive em solos pobres em nitrogênio sem a necessidade de fertilizantes químicos. A compreensão detalhada da estrutura e função da nitrogenase é, portanto, fundamental para o desenvolvimento de tais tecnologias inovadoras (MOREIRA; SIQUEIRA, 2010).

2.5 *Methylobacterium symbioticum*

O gênero *Methylobacterium*, classe Alfa-proteobacteria, ordem Rhizobiales e família Methylobacteriaceae (DONOVAN; MCDONALD; WOOD, 2014). é constituído por 32 espécies já descritas. E caracterizam por metabolizar o metanol na ausência da biotina como cofator (GREEN; ARDLEY, 2018), e por desenvolver associações endofíticas ou epifíticas com diversas espécies de plantas (ARAÚJO et al., 2015; DOURADO et al., 2015). Estas associações, geralmente, beneficiam as plantas, promovendo incremento de desenvolvimento causado pela maior produção de fito hormônios (citocininas e auxinas), disponibilizando nutrientes, inibindo patógenos e regulando os níveis de etileno (hormônio do estresse) (KUMAR et al., 2016).

Methylobacterium symbioticum é uma bactéria fixadora de nitrogênio que tem atraído atenção devido às suas características únicas e potencial aplicação em culturas não leguminosas. Morfologicamente, esta bactéria é gram-negativa, com forma de bacilo, e possui capacidade de formar biofilmes na superfície das raízes das plantas (PASCUAL et al., 2020). A presença de biofilmes é vantajosa, pois facilita a colonização e interação íntima com a planta hospedeira, promovendo a fixação de nitrogênio diretamente nos tecidos vegetais (DOURADO, 2010).

Fisiologicamente, a *M. symbioticum* utiliza metanol como fonte primária de carbono e energia. O metanol é um subproduto natural do metabolismo das plantas, especialmente durante a fotossíntese e a respiração (DOURADO, 2010). Esta característica é particularmente interessante do ponto de vista ecológico, pois a bactéria não compete com a planta por fontes de carbono, minimizando qualquer impacto negativo no crescimento e rendimento da cultura. A utilização de metanol também sugere que a *M. symbioticum* pode ser eficiente em ambientes onde outras fontes de carbono são limitadas (PRIMO, 2023).

A presença da enzima nitrogenase na *M. symbioticum* permite a conversão eficiente do nitrogênio atmosférico em amônio, que é assimilado pelas plantas (DOURADO, 2010). Estudos demonstram que a bactéria pode formar associações benéficas com diversas espécies de plantas, incluindo o sorgo. A interação planta-bactéria é mediada por uma série de sinais químicos, incluindo exsudatos radiculares que promovem a colonização bacteriana e a expressão dos genes relacionados à fixação de nitrogênio (PASCUAL et al., 2020).

Ecologicamente, a *M. symbioticum* é adaptada a uma ampla gama de condições ambientais, incluindo diferentes pH de solo, temperaturas e níveis de umidade. Esta versatilidade ecológica torna a bactéria uma candidata promissora para aplicações em diferentes sistemas agrícolas, especialmente em regiões onde as condições do solo são subótimas para outras bactérias fixadoras de nitrogênio (DOURADO, 2010). A capacidade da *M. symbioticum* de formar associações eficazes em diversos contextos ambientais pode contribuir para a resiliência e sustentabilidade das práticas agrícolas (PRIMO, 2023).

2.6 Aplicação da *Methylobacterium symbioticum* na cultura do sorgo

A aplicação da *Methylobacterium symbioticum* na cultura do sorgo representa uma inovação potencialmente revolucionária na agricultura sustentável. O sorgo, uma cultura amplamente cultivados em regiões semiáridas e tropicais, é uma planta de importância econômica significativa devido à sua tolerância a condições adversas e sua versatilidade em usos, que vão desde a alimentação humana e animal até a produção de bioenergia. No entanto, como muitas outras culturas, o sorgo é limitado pela disponibilidade de nitrogênio no solo (SANTOS et al., 2023)

A inoculação do sorgo com *M. symbioticum* pode aumentar a disponibilidade de nitrogênio através da fixação biológica, reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos. Os estudos de Dourado et al (2015), Kumar et al. (2016), Pascual et al. (2020) e Santos et al. (2023) indicam que a associação entre *M. symbioticum* e algumas forrageiras e grãos não só melhora a fixação de nitrogênio, mas também pode promover o crescimento da planta e aumentar o rendimento da colheita. Este efeito positivo é atribuído à capacidade da bactéria de utilizar metanol como fonte de energia, não competindo com a planta por nutrientes essenciais.

Além dos benefícios diretos na nutrição das plantas, a *M. symbioticum* pode contribuir para a melhoria da estrutura do solo e a saúde geral do ecossistema agrícola (VAN RAIJ, 2011). A implementação prática da inoculação com *M. symbioticum* requer o desenvolvimento de inoculantes eficazes e protocolos de aplicação adaptados às condições locais. Estudos são necessários para avaliar a eficácia da bactéria em diferentes ambientes de cultivo e para otimizar as técnicas de inoculação. A integração desta tecnologia em sistemas agrícolas existentes deve considerar fatores como o manejo do solo, a rotação de culturas e as práticas de irrigação.

A aplicação da *M. symbioticum* na cultura do sorgo pode ter implicações significativas para a sustentabilidade agrícola e a segurança alimentar. Ao reduzir a dependência de fertilizantes químicos, os agricultores podem diminuir os custos de produção e o impacto ambiental da agricultura intensiva. A promoção de práticas agrícolas que utilizam recursos naturais de forma eficiente é essencial para enfrentar os desafios globais de segurança alimentar e mudanças climáticas, tornando a *M. symbioticum* uma ferramenta valiosa no desenvolvimento de uma agricultura mais resiliente e sustentável (SOUZA et al., 2024).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O material de estudo consistiu em sementes de sorgo fornecidas pela empresa Biomatrix. Especificamente, buscou-se determinar o impacto da aplicação foliar do produto BlueN® (Corteva Agriscience) pó molhável (WP), 1 kg, SB23 3x107 UFC/g, na concentração de nitrogênio foliar, crescimento da planta e produtividade.

O produto BlueN® contém a bactéria endofítica *Methylobacterium symbioticum*, que possui a enzima nitrogenase, responsável por converter o nitrogênio atmosférico em nitrogênio amoniacal de maneira eficiente, diretamente nos tecidos vegetais. Essa bactéria utiliza o metanol, um resíduo natural da planta, como fonte de energia para se multiplicar, sem gerar gasto energético adicional para a planta, ou seja, sem impactar negativamente o rendimento da cultura. O BlueN® fixa nitrogênio de forma natural e controlada, com a absorção regulada pela própria planta, de acordo com a concentração de glutamina, garantindo sempre níveis ideais de nitrogênio.

O experimento demonstrativo foi conduzido na Fazenda Recanto dos Avestruzes na cidade de Espírito Santo do Pinhal, SP, coordenadas geográficas 22° 11' 27" S, 46° 44' 27" O, de março a julho de 2024, com duas áreas de tratamento: uma área de 60 ha tratada com o produto BlueN® e uma área controle de 3 ha sem a aplicação do produto. Cada área foi subdividida em quatro repetições para garantir a precisão dos resultados.

As sementes de sorgo forrageiro Podium (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) foram plantadas em solo previamente preparado com aração e gradagem. O corte inicial das plantas foi realizado em 15 de março de 2024 para iniciar o ciclo de rebrote. Entre 7 a 10 dias após o corte inicial, foi realizada a primeira pulverização para controle de ervas daninhas e pragas. Sete dias após essa aplicação, foi feita uma nova pulverização utilizando produtos nutricionais e inseticidas para garantir a saúde e nutrição das plantas.

Devido à seca, não foi possível realizar a aplicação de adubação convencional planejada (25-00-00). Em 24 de abril de 2024, foi realizada a aplicação foliar do produto BlueN® juntamente com outros produtos agrícolas. Esta aplicação foi crucial para avaliar a eficácia do BlueN® como fonte alternativa de nitrogênio.

Após a aplicação do BlueN®, foram realizadas coletas semanais de folhas para análise de nitrogênio. A primeira coleta ocorreu em 29 de abril de 2024, com fotos

documentando o estado das plantas. A primeira análise mostrou um incremento de 12,36% na concentração de nitrogênio foliar nas áreas tratadas com BlueN® em comparação com a área controle.

As avaliações semanais continuaram até o final do ciclo do sorgo, que foi antecipado de 120 para 80 dias devido à seca. Durante essas avaliações, foi constatado que as plantas na área tratada com BlueN® apresentaram maior crescimento e desenvolvimento de panículas, enquanto as plantas na área de controle mostraram pouco ou nenhum desenvolvimento.

Uma última análise foliar foi realizada para comparar a concentração de nitrogênio nas plantas ao final do ciclo. Os resultados indicaram um aumento para 29,95% de nitrogênio foliar na área tratada com BlueN®, enquanto a área controle não apresentou tal incremento. Além disso, foi feita uma estimativa de produtividade que revelou uma produção significativamente maior na área tratada com BlueN®. A figura 1 mostra as características do produto.

Devido à seca, a adubação a lanço planejada não pôde ser realizada, tornando o BlueN® a única fonte de nitrogênio aplicada durante o experimento. Este fato destacou ainda mais a importância do produto BlueN® na reciclagem de nitrogênio e seu impacto positivo na produtividade do sorgo em condições adversas.

EXISTE ALGUMA ALTERNATIVA PARA FORNECER MAIS NITROGÊNIO PARA A PLANTA COM SEGURANÇA E EFICIÊNCIA?

BlueN®
A EVOLUÇÃO ESTÁ NO AR.

Composição: **Partículas finas e granulares** | **Capa: SDC** | **Definição ideal de BioNas: Oxidantes de Nitrogênio** | **Concentração: 3 x 20% (30%)** (Tratado) (Composto de Carbono)

Manejo Inovador

Aplicação de **BlueN** | Aplicação de **BlueN** | **BlueN** | **BlueN**

Principais benefícios

- ✓ **Aumento no fornecimento de Nitrogênio.**
- ✓ **Flexibilidade na aplicação:** aplicação a partir do estágio V4 até V8.
- ✓ **Proporciona uma nutrição equilibrada.**
- ✓ **Estabilidade e eficiência no fornecimento de N** (Necessidade de N de planta).
- ✓ **Mecanismo de ação exclusivo:** Fixação do N via foliar.
- ✓ **Manejo Integrado ao programa de adubação do produtor:** fonte suplementar de Nitrogênio (eficiência X adubação com N).
- ✓ **Zero resíduo:** sem restrições para culturas que serão destinadas à exportação.
- ✓ **Sustentabilidade:** não possui risco de lixiviação nos lençóis freáticos ou contribuir com gases de efeito estufa adicionais.

Figura 1 – Características do produto empregado no estudo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no experimento indicam uma diferença significativa na produtividade entre as áreas tratadas com o produto BlueN® e as áreas controle. Na área onde foi utilizado o produto BlueN®, a produção foi de 31.280 kg por hectare, enquanto na área sem o produto a produção foi de apenas 4.680 kg por hectare. As figuras 1, 2 e 3 mostram aspectos das áreas tratadas e da testemunha.

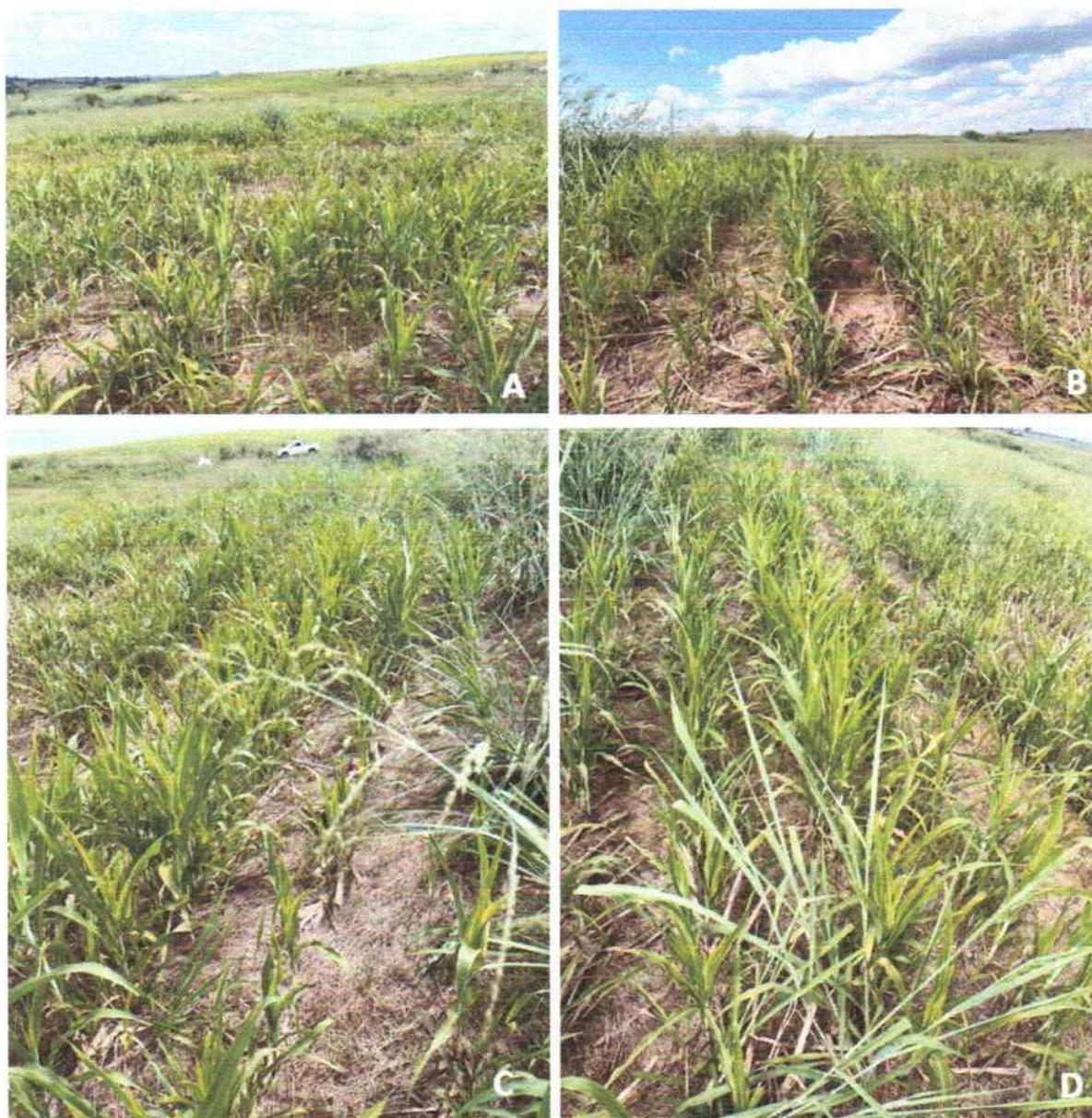


Figura 1 – Área sem tratamento com BlueN®.

Fonte: Acervo do autor (2024).

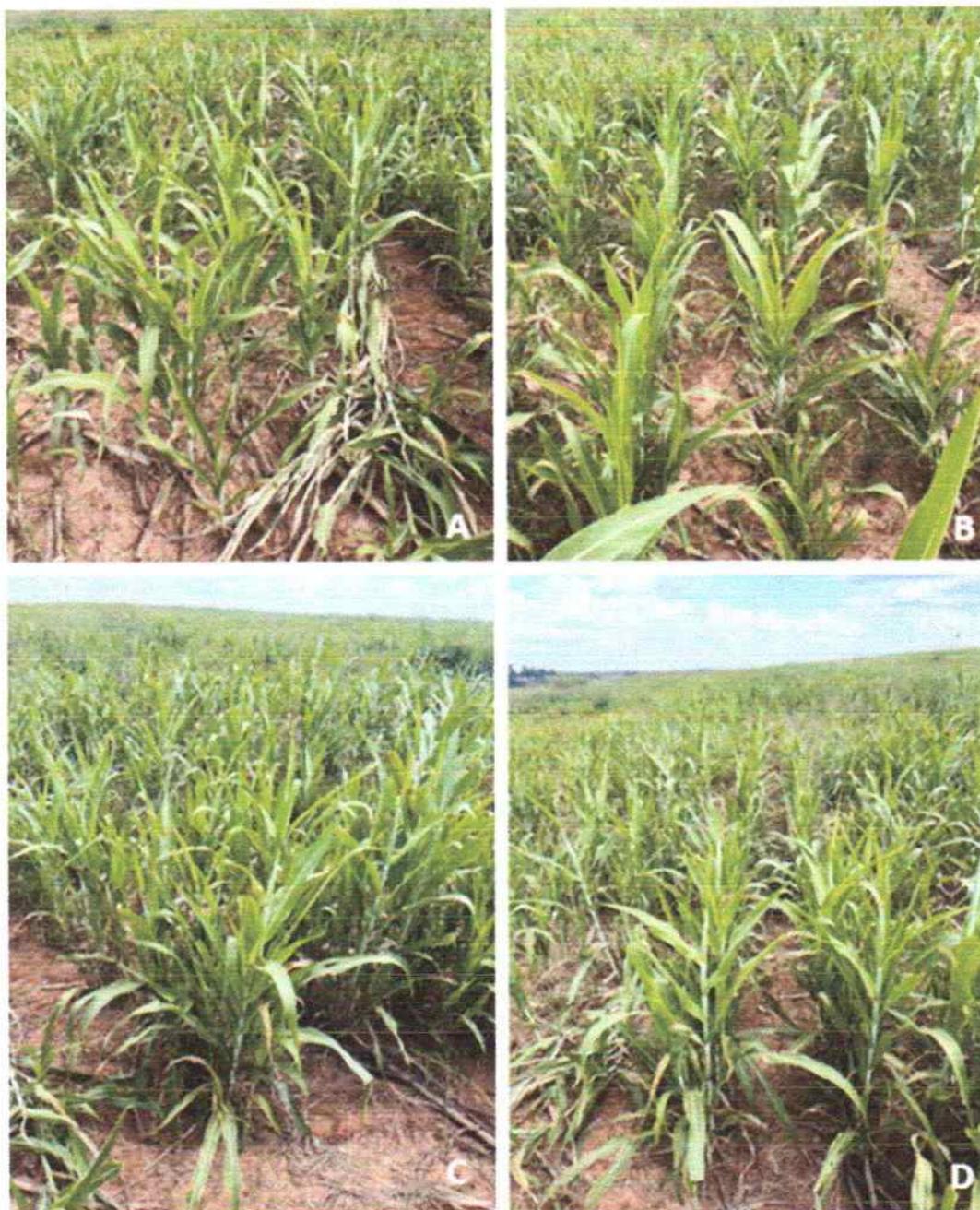


Figura 2 – Área tratada com BlueN®.

Fonte: Acervo do autor (2024).



Figura 3 – Imagem comparativa (A) área sem tratamento (B) área tratada com BlueN®.

Fonte: Acervo do autor (2024).

O aumento na produtividade observado no experimento pode ser explicado pela maior disponibilidade de nitrogênio no solo, resultante da aplicação do BlueN®. A *Methylobacterium symbioticum*, presente no BlueN®, utiliza o metanol como fonte de energia, um resíduo da planta, o que evita a competição por nutrientes e maximiza a eficiência da fixação de nitrogênio. Este mecanismo está bem documentado na literatura, que destaca a eficiência das bactérias metilotróficas na FBN sem causar impacto negativo no crescimento das plantas.

Além disso, a fixação biológica de nitrogênio pela *M. symbioticum* pode melhorar a saúde do solo a longo prazo, aumentando a matéria orgânica e promovendo a atividade de outros microrganismos benéficos. Esta sinergia microbiológica é fundamental para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, especialmente em solos pobres e sujeitos a estresse hídrico.

A aplicação do produto BlueN® resultou em um incremento substancial na concentração de nitrogênio foliar, conforme Tabela 1, e evidenciado pela análise inicial que mostrou um aumento de 12,36% na área tratada em comparação com a área

controle. Figura 5 mostra folhas de plantas tratadas e das que não receberam *Methylobacterium symbioticum*. Ao final do ciclo, a concentração de nitrogênio foliar na área tratada aumentou para 29,95%, enquanto na área controle não houve incremento significativo. Estes resultados corroboram os estudos prévios sobre a eficácia de produtos à base de metilotrofos, como a *Methylobacterium symbioticum*, na fixação biológica de nitrogênio (FBN) em sorgo.

Tabela 1 – Teores de Nitrogênio, em g kg⁻¹, no tecido foliar do sorgo

Tratamentos	30/04/2024	03/062024
Testemunha	19,42	15,96
Com <i>Methylobacterium symbioticum</i>	21,82	20,74
% de incremento	12,36	29,5



Figura 4 – Avaliação de N no tecido foliar: (esq.) folha não tratada (dir.) folha tratada com BlueN®.

Fonte: Acervo do autor (2024).

A seca prolongada durante o período experimental impediu a aplicação da adubação convencional planejada (25-00-00). No entanto, a aplicação do *Methylobacterium symbioticum* (BlueN®) demonstrou ser uma alternativa eficaz, compensando a falta de nitrogênio que teria sido fornecido pela adubação. A resiliência do sorgo tratado com BlueN® frente à seca destaca a importância de soluções biológicas para a nutrição de plantas em condições climáticas adversas. Estudos anteriores indicam que a fixação biológica de nitrogênio pode ser uma estratégia eficaz para manter a produtividade agrícola em situações de estresse hídrico.

O crescimento e desenvolvimento das plantas na área tratada com BlueN® foram visivelmente superiores em comparação com a área controle. As plantas tratadas apresentaram maior altura, diâmetro de colmo e desenvolvimento de panículas, refletindo a influência positiva do nitrogênio adicional fornecido pelo BlueN®. Estes achados estão alinhados com a literatura que descreve a importância do nitrogênio na promoção do crescimento vegetativo e reprodutivo das plantas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Embora os estudos sobre a utilização de *M. symbioticum* na cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) ainda sejam recentes e escassos, é possível concluir que a aplicação de *Methylobacterium symbioticum*, produto BlueN® resultou em um incremento de 29,95% na concentração de nitrogênio durante o ciclo do sorgo, comparado à área controle. Na estimativa de produção final, a diferença foi evidente, com um aumento de mais de 26 toneladas de matéria verde por hectare na área tratada.
- Os resultados deste estudo demonstram claramente os benefícios da aplicação foliar *Methylobacterium symbioticum*, produto BlueN® na cultura do sorgo durante o rebrote, particularmente em condições de seca. Aumentos significativos na concentração de nitrogênio foliar e na produtividade das plantas tratadas com BlueN® destacam o potencial desta tecnologia para melhorar a eficiência do uso de nitrogênio e promover práticas agrícolas mais sustentáveis. Estes achados reforçam a importância da fixação biológica de nitrogênio como uma estratégia viável para a nutrição de plantas em condições adversas, contribuindo para a segurança alimentar e a sustentabilidade ambiental.
- A aplicação do BlueN® não só aumentou a produtividade do sorgo, mas também demonstrou potencial para reduzir a dependência de fertilizante nitrogenado químico, que proporciona uma agricultura mais sustentável. O uso de tecnologias de fixação biológica de nitrogênio pode contribuir significativamente para a redução dos custos de produção e do impacto ambiental associado ao uso excessivo de fertilizantes nitrogenados.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, W.L.; SANTOS, D.S.; DINI-ANDREOTE, F.; SALGUEIRO-LONDOÑO, J.K.; CAMARGO-NEVES, A.A.; ANDREOTE, F.D.; DOURADO, M.N. Genes related to antioxidant metabolism are involved in *Methylobacterium mesophilicum*-soybean interaction. *Antonie van Leeuwenhoek*, **International Journal of General and Molecular Microbiology**, v. 108, n. 4, p. 951–963, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10482-015-0548-6>. Acesso em: 21 jul. 2024.

CARVALHO, F. H. **Aplicações de NPK em sorgo granífero nas condições de cerrado**. 2020. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, GO. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/1450>. Acesso em: 20 jul. 2024.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 11, safra 2023/24, n. 11, agosto 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 10 ago. 2024.

CORTEVA AGRISCIENCE – **BlueN® (*Methylobacterium symbioticum*)**. Disponível em: <https://www.corteva.pt/produtos-e-solucoes/protecao-de-cultivos/bluen.html#t2>. Acesso em: 14 jul. 2024.

DA SILVA CAVALCANTE, W.S.; SILVA, N.F.; TEIXEIRA, M.B.; CABRAL FILHO, F.R.; CORRÊA, F.R.; CUNHA, F.N. Comportamento de diferentes doses de bioestimulantes na cultura do sorgo. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 11, p. 45-54, 2021. Disponível em: <https://www.sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/6774>. Acesso em: 20 jul. 2024.

DARE AGRO. **Microbiologia do Solo** [eBook Kindle]. 21 P. 2022. Disponível em: <https://www.amazon.com.br/MICROBIOLOGIA-Microorganismos-presentes-rea%C3%A7%C3%B5es-quimicas-ebook/dp/B09SB7JF6B>. Acesso em: 29 jul. 2024.

DONOVAN, P. K.; MCDONALD, A. P.; WOOD, A. P. The Family *Methylobacteriaceae*. In: *The Prokaryotes: Alphaproteobacteria and Betaproteobacteria*. **Springer-Verlag Berlin Heidelberg**, 2014. p. 313

DOURADO, M.N.; NEVES, A.A.C.; SANTOS, D.S.; ARAÚJO, W.L. Biotechnological and Agronomic Potential of Endophytic Pink Pigmented Methylophilic *Methylobacterium* spp. **BioMed Research International**, v. 2015, 2015. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1155/2015/909016>. Acesso em: 24 jul. 2024.

DOURADO, M.N. **Ecologia de *Methylobacterium* spp. na planta hospedeira**. Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Genética e Melhoramento de Plantas. Universidade de São Paulo,

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2010. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/111137/tde-21062010-152920/en.php>. Acesso em: 30 jul. 2024.

FAGUNDES, Thalles Fagundes. **Métodos de aplicação da adubação nitrogenada no sorgo cultivado em terras baixas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Pampa, Curso de Engenharia Agrícola, Alegrete, 2023. 42p. Disponível em: <https://dspace.unipampa.edu.br/handle/rii/8809>. Acesso em: 24 jul. 2024.

FERREIRA, B.C.; RAMOS, L.A.; NICCHIO, B.; SANTOS, G.A.; PEREIRA, H.S.; KORNDÖRFER, G.H.; ARRIETA, R.G. Dosis y época de aplicación de nitrógeno en el rendimiento del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). **MAGISTRA**, v. 31, p. 450-459, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufrb.edu.br/index.php/magistra/article/view/4275>. Acesso em: 30 jul. 2024.

FERREIRA, L.L.; DE SOUZA, B.R.; PEREIRA, A.I.A. Bioestimulante e nitrogênio de liberação gradual no desempenho do sorgo. **Nativa**, v. 7, n. 4, p. 330-335, 2019. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/6656>. Acesso em: 24 jul. 2024.

GREEN, P. N.; ARDLEY, J. K. Review of the genus *Methylobacterium* and closely related organisms: A proposal that some *Methylobacterium* species be reclassified into a new genus, *Methylorubrum* gen. nov. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 68, n. 9, p. 2727–2748, 2018. Disponível em: <https://www.microbiologyresearch.org/content/journal/ijsem/10.1099/ijsem.0.002856>. Acesso em: 30 jul. 2024.

KUMAR, M.; TOMAR, R.S.; LADE, H.; PAUL, D. Methylo trophic bacteria in sustainable agriculture. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 32, n. 7, p. 1–9, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11274-016-2074-8>. Acesso em: 30 jul. 2024.

LOPES, Erika Manuela Goncalves. **Perspectivas de uso de formulação de *Azospirillum brasilense* via foliar em linhagens de sorgo**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal. 2019, 27p. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/ICAS-BCUQCB>. Acesso em: 30 jul. 2024.

MARENCO, R.A.; LOPES, N.F. **Fisiologia Vegetal**. 3ªed. UFV. 486 p. 2009.

MARTINS, Anne Silva. **Eficiência de adubação nitrogenada em diferentes estádios fenológicos da cultura do sorgo**. 2019. 35 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Unidade Ipameri, Universidade Estadual de Goiás, Ipameri-GO. Disponível em: <http://200.137.241.33/handle/tede/566>. Acesso em: 30 jul. 2024.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. UFLA. 1ª ed. 726 p. 2010.

MORTATE, R.K.; NUNES, B.M.; COSTA, E.M.; ROCHA, E.M.F.; VENTURA, M.V.A.; PEREIRA, L.V. Resposta de sorgo inoculado com *Azospirillum brasilense* a doses de nitrogênio em cobertura. **Revista Ciência Agrícola**, v. 18, n. 1, p. 65-72, 2020. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/revistacienciaagricola/article/view/7388>. Acesso em: 24 jul. 2024.

PAIVA, A.P.L.; MAGALHAES, P.C.; CARVALHO, L.P.; JALES, H.F.; GOMES JÚNIOR, C.G. ***Azospirillum brasilense* para mitigação do estresse hídrico no sorgo BRS 332 submetido a diferentes doses de nitrogênio**. 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1131684>. Acesso em: 24 jul. 2024.

PASCUAL, J.; ROS, M.; MARTINEZ, J.; CARMONA, F.; BERNABÉ, A.; TORRES, R.; LUCENA, T.; AZNAR, R.; RAHAL, D.; FERNÁNDEZ, F. *Methylobacterium symbioticum* sp. nov., a new species isolated from spores of *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum*. **Curr Microbiol** 77, 2031–2041, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00284-020-02101-4>. Acesso em: 30 jul. 2024.

SÁ, T.A.L.; CASTRO, M.N.; JESUS, R.P. **Análise agrônômica da cultura do sorgo forrageiro em função de diferentes doses de nitrogênio**. Trabalho de Conclusão de curso de graduação em Agronomia, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, PUC-Goiás, 17p. 2024. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/8078>. Acesso em: 30 jul. 2024.

SANTOS, J.S.; DE SOUZA GOIS, L.; MENDONÇA, J.J.; DE OLIVEIRA, P.R.; MARINO, R.H. Potencial sinérgico da adubação nitrogenada e micro-organismos endofíticos no crescimento inicial de *Sorghum bicolor*. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 16, n. 4, 2023. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/11742>. Acesso em: 22 jul. 2024.

SOUZA, Lais Elias de et al. **Desempenho agrônômico do sorgo granífero em função de inoculação com *Azospirillum brasilense* e doses de nitrogênio em cobertura**. Trabalho de Conclusão de curso de graduação em Agronomia, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, PUC-Goiás, 2024, 19p. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/8076> Acesso em: 24 jul. 2024.

VAN RAIJ, Bernardo. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Editora: IPNI, 1ª ed. 420 p. 2011.