



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA - POSGRAP**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**  
**DOUTORADO EM ASSOCIAÇÃO PLENA EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**



**JÉSSICA FERNANDA DA SILVA**

**CULTIVO DE MILHO VERDE EM SISTEMAS DE MANEJO CONVENCIONAL  
E CONSERVACIONISTAS EM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO**

**SÃO CRISTÓVÃO /SE**  
**2022**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA - POSGRAP**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**  
**DOUTORADO EM ASSOCIAÇÃO PLENA EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**



**JÉSSICA FERNANDA DA SILVA**

**CULTIVO DE MILHO VERDE EM SISTEMAS DE MANEJO CONVENCIONAL  
E CONSERVACIONISTAS EM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO**

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe, como requisito necessário para obtenção do título de Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

**Orientador:** Prof. Dr. Alceu Pedrotti

**Coorientador:** Pesq. Dr. Paulo Ivan Fernandes Júnior

**SÃO CRISTÓVÃO /SE**  
**2022**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

S586c Silva, Jéssica Fernanda da.  
Cultivo de milho verde em sistemas de manejo convencional e conservacionista em experimento de longa duração / Jéssica Fernanda da Silva ; orientador Alceu Pedrotti. – São Cristóvão, SE, 2022.  
138 f.; il.

Tese (doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) –  
Universidade Federal de Sergipe, 2022.

1. Milho - Sergipe. 2. Solos - Manejo. 3. Cultivos agrícolas. 4. Milho - Indústria. 5. Milho - Solos. I. Pedrotti, Alceu, orient. II. Título.

CDU 633.15(813.7)

**JÉSSICA FERNANDA DA SILVA**

**CULTIVO DE MILHO VERDE EM SISTEMAS DE MANEJO CONVENCIONAL  
E CONSERVACIONISTAS EM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO**

Aprovada em 29/04/2022

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente,  
como exigência para obtenção do título de Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. ALCEU PEDROTTI  
Universidade Federal de Sergipe/UFS- Departamento de Engenharia Agrônômica  
Orientador

---

Pesq. Dr. PAULO IVAN FERNANDES JÚNIOR  
EMBRAPA SEMIÁRIDO  
Coorientador

---

Prof.<sup>a</sup>. Dr. ADAUTO DE SOUZA RIBEIRO  
Universidade Federal de Sergipe/UFS- Departamento de Ecologia  
1º Examinador interno

---

Prof.<sup>a</sup>. Dra. ANA PAULA S. VILLWOCK  
Universidade Federal de Sergipe/UFS-Departamento de Engenharia Agrônômica  
2º Examinador externo

---

Prof. Dr. FRANCISCO SANDRO RODRIGUES HOLANDA  
Universidade Federal de Sergipe/UFS- Departamento de Engenharia Agrônômica  
3º Examinador externo

---

Prof. Dr. DJAIL SANTOS  
Universidade Federal da Paraíba/CCA-Campus Areia/PB.  
4º Examinador externo

**SÃO CRISTÓVÃO /SE**  
**2022**

*À minha tia Cremilda (in memoriam), que era minha segunda mãe e avó, lutou muito pela vida, mas perdeu a guerra contra covid-19*

*Dedico!*

## Agradecimentos

Agradeço primeiramente a força divina que me guia todos os dias, e me fez ter, discernimento, força e coragem suficiente para enfrentar todos os desafios que tive durante os quatro anos de Doutorado. Nunca poderia ter sido fácil, mas tudo se tornou mais difícil ao me deparar que estava vivendo um sonho dentro de um pesadelo que todo o mundo precisou enfrentar, uma pandemia. Gostaria de deixar registrado aqui meus sentimentos aos familiares incluindo os meus, que perderam seus entes queridos vitimados pela covid-19. Agradeço imensamente aos cientistas que arduamente trabalharam para o desenvolvimento das vacinas que estão salvando vidas, mas sei que sem Deus nada seria possível. Agradeço por estar viva e podendo concluir mais uma etapa em meio as atribulações que vivemos.

Ao meu orientador Alceu Pedrotti, por antes de ser um orientador ser um amigo que aconselha e ensina o caminho que devemos seguir para obter êxito nos nossos objetivos, tão sábio em seus ensinamentos por vezes duros que eu custava a compreender, mas acabava entendendo e tirando melhor proveito para me superar pela motivação que me passava, obrigada por ser um exemplo de disciplina e responsabilidade, a sua voz da experiência me ensinou a amadurecer e buscar caminhar de forma mais independente na pesquisa.

Ao meu coorientador Paulo Ivan Fernandes Júnior, agradeço por me ensinar a ter base na pesquisa científica quando me orientou no mestrado, obrigada por me apresentar o mundo da das bactérias promotoras de crescimento vegetal, os frutos dessa pesquisa são também resultados dos conhecimentos adquiridos e motivados pelas suas experiências compartilhadas.

À professora Renata Mann, sempre muito solícita me acolheu e vem me mostrando sempre as melhores formas para conduzir os artigos científicos, obrigada pelo apoio nos momentos que eu me senti perdida no projeto e me auxiliou a enxergar valor no meu trabalho;

A todos os demais professores e funcionários do departamento de Engenharia agrônômica que disponibilizaram, insumos, equipamentos, laboratórios e auxílio sempre que precisei;

Aos funcionários do Campus Rural, aos técnicos Richard, Ézio, Gilvan, Júlio e todos os demais funcionários que trabalham executando dia a dia as atividades mais pesadas e foram imprescindíveis na execução dos experimentos de campo;

A todos estagiários que passaram pelo LAFITO ao longo desses anos, Thaís, Thaíse, Louise, Mikael, Ingrid, Edla, Romário, Lucas, Jeferson, Tauan, Noylio, Jamile, Gicélia e Thales que fazem parte desse projeto e todos os resultados aqui obtidos não seriam possíveis sem todo o suporte e esforço desses alunos;

À Brisa, por compartilhar o dia a dia da vivência das atividades do Lafito, e na troca de experiências e auxílio na condução dos experimentos;

À Fernanda Caparelli, que inicialmente me acolheu no Lafito e me auxiliou mesmo a distância quando eu era única entre os pós-graduandos no Lafito para conduzir o experimento do milho;

Aos amigos do PRODEMA, minha amiga Marília que antes mesmo de nos conhecermos pessoalmente sempre foi muito prestativa, obrigada pelas nossas trocas nos momentos de angústias e alegrias, à amiga Iasmine, que foi a primeira pessoa que me acolheu em Aracaju com suas filhas lindas e tanto amor familiar para compartilhar e a todos os demais amigos da

turma pelos momentos de vivências e discussões “prodemianas” que foram sempre motivadoras na nossa caminhada;

A todos os professores do PRODEMA por me apresentar o mundo dos conhecimentos interdisciplinares;

Aos secretários Cícero e Luzia sempre dispostos a nos auxiliarem nas burocracias do Programa;

À Rede PRODEMA em geral por ser um programa que acolhe tantas áreas distintas do conhecimento, nos fazendo emergir em cada uma delas, compartilhando as experiências essenciais para nossa formação;

À Universidade Federal de Sergipe pela oportunidade de cursar o Doutorado nesta instituição;

À CAPES, pelo apoio financeiro com a bolsa durante os quatro anos. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradeço a minha família por todo amor e compreensão nos momentos que estive ausente, aos meus pais Carlos e Auxiliadora, que sempre me ensinaram com muito amor a crescer como pessoa digna na vida, buscando as oportunidades que eles não puderam ter e as minhas irmãs Carla e Priscila, meus exemplos de educadoras desde a infância, que me ensinaram a ler brincando em casa e como amigas crescemos juntas, obrigada por me motivarem todos os dias a conseguir realizar este grande sonho;

Ao meu namorado Joel por toda parceria, amor e compreensão que foram essenciais para equilibrar toda a carga do Doutorado que sozinha não conseguiria carregar, obrigada por me motivar todos os dias e estar sempre presente;

Aos amigos de longa data Camila, Angélica, Larissa, Carola, Mikaele, Rafael, Jonnathan, Hemilayne pela amizade duradoura, pelo apoio e pelos momentos de descontração quando precisei;

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para execução desse trabalho;

Muito obrigada!

*“O correr da vida embrulha tudo.  
A vida é assim: esquenta e esfria,  
aperta e daí afrouxa,  
sossega e depois desinquieta.  
O que ela quer da gente é coragem”.*

(Guimarães Rosa)

## Resumo

O cultivo de milho é uma prática de grande crescimento econômico e desenvolvimento rural em Sergipe, pois oportuniza mercados e negócios aos agricultores familiares onde o clima e solo são favoráveis à cultura. A utilização de diferentes sistemas de manejo do solo associados ao uso de culturas antecedentes pode representar uma alternativa sustentável, aprimorada com a combinação das técnicas para o favorecimento econômico da produção vegetal na cultura do milho. O presente trabalho tem como problemática que as práticas incorretas de manejo do solo, levam a baixa produtividade da exploração do milho no estado de Sergipe. Objetivou-se analisar a viabilidade da associação de diferentes sistemas de cultivo, culturas antecedentes e inoculação de bactérias para o cultivo do milho verde em experimento de longa duração no Estado de Sergipe. Avaliou-se as variáveis de um experimento de campo de longa duração do cultivo do milho verde, implantado na Fazenda Experimental da UFS desde 2001. As avaliações correspondem ao 19º, 20º e 21º anos de cultivos. O delineamento experimental adotado foi o de faixas experimentais com parcelas subdivididas, onde implantou-se nas faixas os sistemas de cultivo: convencional, mínimo e plantio direto, e nas parcelas subdivididas as culturas antecedentes: crotalária, caupi, guandu e milheto. As sementes de milho foram inoculadas com o inoculante bacteriano de *Herbaspirillum seropedicae* na safra 2019 e com *Azospirillum brasilense* nas safras 2020 e 2021 e receberam diferentes doses de complementação de N. Os parâmetros de avaliação da produtividade do milho consistiram em: número e peso de espigas comerciais, peso da massa seca das plantas, teor de clorofila total das plantas e altura das plantas. Também se avaliou os parâmetros químicos do solo (parâmetros de fertilidade do solo) com amostras deformadas e físicos de solo (densidade do solo e resistência mecânica à penetração do solo) com amostras indeformadas e a campo, respectivamente. Para análise econômica foi utilizada a estrutura do custo operacional total de produção usada pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA). Como principais resultados obteve-se que a associação entre o uso de sistemas de cultivo, adoção de culturas antecedentes e inoculação de *Herbaspirillum seropedicae* ou *Azospirillum brasilense* favorecem a produtividade do milho verde. Sendo os resultados mais significativos associados aos sistemas de cultivo mínimo e Plantio direto, as culturas antecedentes crotalária e milheto e a inoculação de *Azospirillum brasilense*. A inoculação de *Azospirillum brasilense* proporciona maior rentabilidade econômica associado ao cultivo mínimo e uso de caupi como cultura antecedente. Há a necessidade da complementação da inoculação com a fertilização de N, mas as condições nutricionais do solo nos sistemas conservacionistas juntamente com os benefícios proporcionados pelas culturas antecedentes contribuem na redução do uso de fertilizantes químicos proporcionando benefícios econômicos e ambientais.

Palavras-chave: *Zea mays L.*, *Azospirillum brasilense*, *Herbaspirillum seropedicae*, cultivo mínimo, plantio direto, culturas antecedentes.

## Abstract

Corn cultivation is a practice of great economic growth and rural development in Sergipe, as it provides markets and businesses for family farmers where the climate and soil are favorable to the crop. The use of different soil management systems associated with the use of previous crops can represent a sustainable alternative, improved by the combination of techniques for the economic favoring of vegetable production in corn. The present work has as a problem that incorrect soil management practices lead to low productivity of corn exploration in the state of Sergipe. The objective was to analyze the feasibility of associating different cultivation systems, antecedent cultures and inoculation of bacteria for the cultivation of green corn in a long-term experiment in the State of Sergipe. The variables of a, long duration, field experiment of the cultivation of green corn, implanted in the Experimental Farm of the UFS since 2001, were evaluated. The evaluations correspond to the 19th, 20th and 21st years of cultivation. The experimental design adopted was that of experimental strips with subdivided plots, where the cultivation systems were implanted in the strips: conventional, minimum and no-tillage, and in the subdivided plots the previous crops: sunn hemp, cowpea, pigeon pea and millet. Corn seeds were inoculated with the bacterial inoculants *Herbaspirillum seropedicae* in the 2019 harvest and with *Azospirillum brasilense* in the 2020 and 2021 harvests and received different doses of N complementation. Corn productivity was evaluated by quantity and weight of commercial cobs, plant dry weight, total plantchlorophyll content and plant height. Soil chemical parameters (soil fertility parameters) were also evaluated with deformed and physical soil samples (soil density and mechanical resistance to soil penetration) with undisturbed and field samples, respectively. For economic analysis, the structure of the total operational cost of production used by the Institute of Agricultural Economics (IEA) was used. As main results it was obtained that the association between the use of cropping systems, adoption of antecedent cultures and inoculation of *Herbaspirillum seropedicae* or *Azospirillum brasilense* favor the productivity of green corn. The most significant results were associated with the minimum tillage and no-tillage systems, the antecedent cultures of sunn hemp and Millet and the inoculation of *Azospirillum brasilense*. The inoculation of *Azospirillum brasilense* provides greater economic profitability associated with minimal cultivation and use of cowpea as a background crop. There is need to complement the inoculation with N fertilization, but the nutritional conditions of the soil in conservation systems together with the benefits provided by the antecedent cultures contribute to the reduction of chemical fertilizers usage, providing economic and environmental benefits.

**Keywords:** *Zea mays L.*, *Azospirillum brasilense*, *Herbaspirillum seropedicae*, minimum tillage, no-till, antecedent crops.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	13
2. OBJETIVOS .....	19
2.1. Objetivo Geral.....	19
2.2 Objetivos Específicos .....	19
<b>CAPÍTULO I- A IMPORTÂNCIA DE TECNOLOGIAS ESTRATÉGICAS PARA O CULTIVO DO MILHO VERDE EM SERGIPE .....</b>	<b>20</b>
<b>1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>21</b>
1.1 Agricultura e o Desenvolvimento sustentável.....	21
1.2 Os benefícios socioeconômicos das tecnologias sustentáveis.....	23
1.3 A produção de milho em Sergipe.....	26
1.4 Sistemas de Cultivo .....	31
1.5 Culturas antecedentes.....	32
1.6 Inoculantes e sua contribuição para a produção agrícola.....	34
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>40</b>
<b>CAPÍTULO II- EFICIÊNCIA DO USO DE INOCULANTES E PRÁTICAS .....</b>	<b>51</b>
<b>DE CULTIVO PARA PRODUTIVIDADE DO MILHO VERDE .....</b>	<b>51</b>
Diferentes sistemas de cultivo, culturas antecedentes e inoculação de <i>Herbaspirillum seropedicae</i> na produtividade do milho verde em experimento de longa duração .....	52
Resumo .....	52
1. INTRODUÇÃO .....	53
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	56
2.1 Implantação e delineamento experimental.....	56
2.2 Coleta e análise de dados.....	57
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	58
5. CONCLUSÕES.....	66
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>66</b>
Eficiência do uso de sistemas de cultivo, culturas antecedentes e inoculação de <i>Azospirillum brasilense</i> com diferentes doses de nitrogênio para produtividade do milho verde em experimento de longa duração.....	71
Resumo .....	71
1. INTRODUÇÃO .....	72
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	75
2.1 Implantação e delineamento experimental.....	75

2.2 Coleta e análise de dados.....	77
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	77
4. CONCLUSÕES .....	86
REFERÊNCIAS .....	87
CAPÍTULO III-ANÁLISE DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS .....	91
DO ARGISSOLO CULTIVADO COM MILHO VERDE .....	91
Atributos químicos e físicos do Argissolo cultivado com milho verde em sistema de manejo convencional e conservacionista em experimento de longa duração no Estado de Sergipe .....	92
Resumo .....	92
1. INTRODUÇÃO .....	93
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	95
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	97
4. CONCLUSÕES .....	110
CAPÍTULO IV- ANÁLISE ECONÔMICA DA PRODUTIVIDADE DE MILHO VERDE .....	114
Análise econômica da associação de sistemas de manejo convencional e conservacionistas, culturas antecedentes e inoculação de <i>Azospirillum brasilense</i> para produtividade de milho verde em experimento de longa duração.....	115
Resumo .....	115
1. INTRODUÇÃO .....	116
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	119
2.1 Implantação e delineamento experimental.....	119
2.2 Análise econômica.....	121
2.3 Coleta e análise de dados.....	121
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	122
CONCLUSÕES.....	133
REFERÊNCIAS .....	134
CONCLUSÕES GERAIS .....	139

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Reduzir a fome e desenvolver a agricultura sustentável é um dos desafios propostos pela Organização das Nações Unidas entre os objetivos para o desenvolvimento sustentável no Brasil. Estes objetivos estão relacionados a uma Agenda mundial que foi estabelecida, a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável (ONU, 2022), onde diferentes estratégias precisam ser desenvolvidas para que os objetivos sejam alcançados até 2030 (Mendoza-fern *et al.*, 2021) entre eles, o de suprir a crescente demanda de alimentos.

A agricultura é considerada uma das atividades econômicas que mais faz uso de recursos naturais, devido a isso, é fundamental o desenvolvimento de tecnologias que propiciem o uso racional desses recursos (Loureiro *et al.*, 2020). Para proporcionar a redução dos impactos ambientais pelo uso racional dos recursos naturais é necessário garantir o abastecimento de alimentos pela agricultura, com a adoção de práticas agrícolas em maiores níveis de sustentabilidade. O uso de práticas agrícolas conservacionistas pode mitigar as emissões de gases do efeito estufa, resultantes do uso excessivo de fertilizantes nitrogenados, por meio da adoção de medidas apropriadas a redução da emissão de carbono e melhor uso dos recursos naturais (Abbas *et al.*, 2021).

Ao levantar a discussão sobre o uso de recursos naturais, é importante ressaltar que a análise de recursos naturais deve sempre combinar os aspectos naturais e sociais de uma forma contextualizada, levando em conta que a renovabilidade dos recursos pode se relacionar tanto às suas propriedades naturais, quanto às condições de manejo ou ambos (Venturini, 2020), na busca pelo uso sustentável. A sustentabilidade é classicamente conceituada como uma nova postura de vida para as civilizações, de modo a representar estratégia de sobrevivência em longo prazo, na intenção de preservar os recursos para as gerações futuras, manter relação de equilíbrio com o meio ambiente e a conservação da biodiversidade (Sachs, 2000).

Ao se pensar na sustentabilidade de práticas agrícolas, destaca-se a agricultura familiar como uma forma de agricultura mais sustentável do ponto de vista ambiental (Wuepper, Wimmer e Sauer, 2020). A agricultura familiar é uma categorial social entendida como aquela em que a família, ao mesmo tempo em que é proprietária dos meios de produção, assume o trabalho no estabelecimento produtivo (Wanderley, 1996) mas, a herança histórica de que a agricultura familiar é basicamente uma agricultura de subsistência vem sendo desmistificada (EMBRAPA, 2020). A agricultura familiar é responsável por grande parte da produção de milho verde na região de Sergipe dada a importância cultural e econômica desta cultura para região Nordeste do Brasil.

Atualmente a agricultura familiar responde por mais de 80% dos alimentos produzidos no país (Borges, 2020), o que representa o desenvolvimento rural a partir do fortalecimento dos agricultores familiares. A modernização implica o uso de insumos, processos, máquinas e equipamentos apropriados ao segmento e às condições dos agricultores familiares, permitindo ganhos significativos em produtividade (EMBRAPA, 2020). A facilidade no acesso dos agricultores familiares as novas tecnologias também é um aspecto relevante que ressalta a participação destes no cenário econômico do país.

Entre as culturas de importância agrícola, o cultivo de milho para produção de grãos é uma prática de grande crescimento econômico, tornando-se fonte de mercado em Sergipe e com oportunidades de negócios para agricultores familiares onde o clima e solo são mais favoráveis à cultura (Almeida *et al.*, 2018). É importante ressaltar que, a agricultura familiar é fundamental para o desenvolvimento econômico sustentável do espaço rural como oportunidade de favorecimento da segurança alimentar, dos meios de subsistência, melhor gerenciamento dos recursos naturais e proteção do meio ambiente (Fuller *et al.*, 2021).

A agricultura sustentável se relaciona com os sistemas de manejo utilizados, é uma atividade agrícola que requer além da baixa utilização de insumos, a manutenção da saúde do solo sem comprometer o rendimento econômico (Haq, Boz e Shahbaz, 2020). Dados do Censo agropecuário 2017 apontam que os produtores de milho do nordeste apresentam reduzida utilização de práticas conservacionistas assim como escassa infraestrutura produtiva e baixo estoque de capital nos pequenos sítios da agricultura familiar nordestina (Aquino, Alves e Vidal, 2020).

O consumo do milho na forma de espiga de milho verde, vem aumentando de forma significativa em função da sua lucratividade econômica, por conta da possibilidade de sua oferta escalonada ao mercado (Almeida *et al.*, 2018). O valor de comercialização do milho verde é maior comparado ao na forma de grãos secos (Oliveira *et al.*, 2020). O milho verde é uma das atividades produtivas mais corriqueiras nos estabelecimentos rurais brasileiros, adotada principalmente por agricultores familiares que destinam a produção ao consumo doméstico (Neves *et al.*, 2021) tradicionalmente o milho em espiga é consumido em diferentes pratos típicos do Nordeste durante os festejos juninos.

Alguns fatores podem interferir na produtividade do milho, entre as condições edafoclimáticas que envolvem tanto os índices de precipitação das chuvas como a estruturação e fertilidade dos solos cultivados. O manejo inadequado do solo no Estado de Sergipe, tem gerado um cenário de erosão, declínio da estrutura e perda da fertilidade natural dos solos cultivados, diminuindo a sua capacidade produtiva. Como consequência, aumenta-se a

dependência dos produtores por fertilizantes, o que onera os custos de produção e diminui a sustentabilidade das explorações nesse sistema de produção (Oliveira *et al.*, 2017). Diante da alta demanda alimentar que pressiona os sistemas produtivos, as práticas incorretas de manejo que levam a baixos níveis de sustentabilidade na exploração do milho se apresentam como uma problemática, presente no estado de Sergipe especialmente nas regiões de cultivo agrícola intenso.

Entre as tecnologias recentemente desenvolvidas, a inoculação de bactérias fixadoras de nitrogênio (N) já é elucidada como alternativa sustentável e promissora ao favorecimento da promoção do crescimento de plantas incluindo Poaceae como o milho (Fukami *et al.*, 2016), e para a diminuição da utilização de fertilizantes nitrogenados que além de serem economicamente desfavoráveis, acabam poluindo o meio ambiente.

A estirpe de bactéria de *Herbaspirillum seropedicae* é recomendada a inoculação em um produto que vem sendo desenvolvido a partir de diferentes estudos que indicam respostas positivas para a cultura do milho, além disso, essa bactéria é estudada pela associação com outras gramíneas como cana de açúcar, arroz e trigo, bem como a coinoculação dessa espécie com *Azospirillum* brasilense que também é uma espécie recomendada potencializando a promoção do crescimento das plantas (Breda, Alves e Reis, 2016; Hungria, 2011).

A utilização de culturas antecedentes associadas com os diferentes sistemas de manejo do solo também é uma prática complementar e de efeitos sinérgicos nos sistemas de manejo conservacionistas. Os Sistemas de Cultivo Mínimo e Plantio direto se mostram promissores em comparação ao Sistema de Cultivo Convencional para produtividade do milho na região de Sergipe (Oliveira *et al.*, 2017). A presença de resíduos culturais (de plantas vivas ou mortas) é uma das principais estratégias de manejo para a proteção e manutenção da sustentabilidade do solo (Pedrotti *et al.*, 2018).

O conjunto associado da inoculação de bactérias diazotróficas, culturas antecedentes e sistemas de cultivo conservacionistas podem representar uma alternativa sustentável, aprimorada ao manejo do cultivo do milho, com a combinação das técnicas para o favorecimento da produtividade e conseqüentemente com efeitos econômicos positivos na produção vegetal desta cultura, atrelado a benefícios amplos como do fortalecimento da agricultura familiar pelo acesso a essas tecnologias em Sergipe e em outras lavouras de importância agrícola do Nordeste.

Há 21 anos um experimento de campo de longa duração vem sendo desenvolvido no Campus Rural da Fazenda Experimental da Universidade Federal de Sergipe, este experimento consiste no cultivo de milho para obtenção de espigas comerciais de milho verde, sob diferentes

sistemas de cultivo e adoção do uso de culturas antecedentes, sendo grande fonte promissora de conhecimento, gerado com o desenvolvimento de estudos e formação de Graduados, Mestres, Doutores e Pós Doutores, especialmente na temática de Desenvolvimento e Meio Ambiente.

O experimento de longa duração do milho foi o objeto de estudo e desenvolvimento desta pesquisa com a inserção do uso de inoculantes associado as práticas que já vinham sendo estudadas, com seu efeito histórico acumulado de forma significativa. Embora não tenha se tratado de tecnologias novas quando pensadas de forma isolada, o ambiente experimental se apresentou como um laboratório natural e com efeitos a longo prazo nas condições de lavoura, aspecto inédito no Estado e na região Nordeste, que são ao mesmo tempo, cenários desafiadores e potencializadoras para a determinação do sucesso de aplicação destas tecnologias.

Partindo do questionamento: A associação de sistemas de manejo convencional e conservacionistas favorecem a produtividade do milho verde em Sergipe? O presente trabalho objetivou analisar a viabilidade da associação entre diferentes sistemas de manejo, uso de culturas antecedentes e inoculação de bactérias com diferentes doses de N, para o cultivo do milho verde em experimento de longa duração no Estado de Sergipe. A estrutura organizacional desta pesquisa foi elaborada em quatro capítulos que consistem no embasamento teórico, procedimentos metodológicos e resultados em formato de artigos científicos:

No primeiro capítulo, apresentou-se a abordagem teórica sobre a temática norteadora e seus respectivos subtemas envolventes, onde objetivou-se analisar o cenário, a importância e os efeitos de diferentes tecnologias para o cultivo do milho verde em Sergipe.

No segundo capítulo, buscou-se identificar a eficiência do uso de inoculantes e práticas de cultivos, para produtividade do milho verde em longa duração.

No terceiro capítulo, analisou-se os parâmetros químicos e físicos do solo cultivado com milho verde sob diferentes sistemas de cultivo e uso de culturas antecedentes, procedendo-se a análise das relações entre as características do solo e a sua repercussão na produtividade do milho.

No quarto e último capítulo, a partir dos resultados mais promissores, objetivou-se analisar a viabilidade econômica das tecnologias avaliadas, para exploração do milho verde em Sergipe e recomendação das melhores combinações destas tecnologias, visando-se o contexto integrado entre resultados técnicos e econômicos.

## **REFERÊNCIAS**

ABBAS, A.; ZHAO, C.; ULLAH, W.; AHMAD, R.; WASEEM, M.; ZHU, J. Towards

- sustainable farm production system: A case study of corn farming. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 16, p. 1–12, 2021.
- ALMEIDA, M.; GALVÃO, D.; BATISTA, N.; SILVA, A.; CARVALHO, H. **Relatório de Avaliação dos Impactos das Tecnologias Geradas pela Embrapa Zoneamento do milho em Sergipe Embrapa Tabuleiros Costeiros-Documents (INFOTECA-E)**. Aracaju, SE, 2018.
- AQUINO, J. R. DE; ALVES, M. O.; VIDAL, M. DE F. Agricultura Familiar No Nordeste Do Brasil : Um Retrato Atualizado a Partir Dos Dados Do Censo Agropecuário 2017. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 51, n. suplemento especial, p. 31–54, 2020.
- BORGES, I.M.S; ALMEIDA, R.L.J; FERNANDES, A.C.G; SILVA, S.E; SILVA, M.L.A; BARROS, U.I.G; LIMA, C.A.O; REINALDO, L.R. L.R; GOMES, R.M. FREIRE, J. G. T. B. Agricultura familiar: análise de sustentabilidade através de indicadores sociais econômicos e ambientais. v. 2507, n. 1, p. 1–9, 2020.
- EMBRAPA. Estratégias para a Agricultura Familiar Visão de futuro rumo à inovação Agricultura familiar , desafios e oportunidades rumo à inovação. 2020.
- FUKAMI, J.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Accessing inoculation methods of maize and wheat with *Azospirillum brasilense*. **AMB Express**, v. 6, n. 1, p. 1–13, 2016.
- FULLER, A. M.; XU, S.; SUTHERLAND, L. A.; ESCHER, F. Land to the tiller: The sustainability of family farms. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 20, p. 1–24, 2021.
- HAQ, S. UL; BOZ, I.; SHAHBAZ, P. Sustainability Assessment of Different Land Tenure Farming Systems in Tea Farming: The Effect of Decisional and Structural Variables. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v. 17, n. 4, p. 814–834, 2020.
- LOUREIRO, J.P.B; SANTOS, M.A.S; RODRIGUES, H.E; SOUZA, C.CF; REBELLO, F. K. Avaliação de sistemas de manejo de recursos naturais com base em indicadores de sustentabilidade: Uma revisão sistemática da literatura sobre o uso do método MESMIS. v. 2507, n. 1, p. 1–9, 2020.
- MENDOZA-FERN, A. J.; PEÑA-FERN, A.; MOLINA, L.; AGUILERA, P. A. The Role of Technology in Greenhouse Agriculture : Towards a Sustainable Intensification in Campo de Dal í a s ( Almer í a , Spain ). p. 1–14, 2021.
- NEVES, J. F.; NEVES, S. M. A. DA S.; SEABRA JÚNIOR, S.; SCHEUER, J. M.; BOTTI, N. S. Milho Verde Na Agricultura Familiar Em Cáceres-Mt: Desafios E Perspectivas Para O Desenvolvimento Rural. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 17, n. 3, p. 438–451, 2021.

OLIVEIRA, F. C. C.; PEDROTTI, A.; FELIX, A. G. S.; SOUZA, J. L. S.; HOLANDA, F. S. R.; MELLO, A. V. Chemical characteristics of Ultisols and the corn yield at Costal Plains of Sergipe, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 3, p. 354–360, 2017.

OLIVEIRA, F. DE A.; SILVA, J. C.; SANTOS, D. P. DOS; BARRETO, J. A. S.; SILVA, C. B. DA; SANTOS, M. A. L. DOS; SANTOS, V. R. DOS. Níveis crescentes de irrigação e maior densidade de plantas aumentam a produtividade do milho verde. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 43371–43381, 2020.

VENTURINI, L. A. B. The New Concept of Natural Resource and Its Derivations Keywords : Natural resource , Renewable , Reproducible , Durable , Exhaustible , inexhaustible , naturally recyclable . Water Management and Diplomacy 1 ( 20. **Water Management and Diplomacy**, v. 1, 2020.

WANDERLEY, M. Raízes históricas do campesinato brasileiro. **XX Encontro anual da ANPOCS. GT 17. Processo sociais agrários.**, p. 18, 1996.

WUEPPER, D.; WIMMER, S.; SAUER, J. Is small family farming more environmentally sustainable? Evidence from a spatial regression discontinuity design in Germany. **Land Use Policy**, v. 90, n. January 2019, p. 104360, 2020.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Analisar a viabilidade da associação entre diferentes sistemas de manejo, uso de culturas antecedentes e inoculação de bactérias com diferentes doses de N, para o cultivo do milho verde em experimento de longa duração no Estado de Sergipe.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Analisar diferentes tecnologias estratégicas para o cultivo do milho verde em Sergipe;
- Identificar a eficiência da associação de diferentes sistemas de cultivo, culturas antecedentes, e inoculação de bactérias promotoras do crescimento de plantas para produtividade do milho verde em experimento de longa duração;
- Avaliar parâmetros químicos e físicos do solo cultivado com milho verde sob diferentes sistemas de manejo;
- Analisar a viabilidade econômica das tecnologias avaliadas para exploração do milho verde em Sergipe.

**CAPÍTULO I- A IMPORTÂNCIA DE TECNOLOGIAS ESTRATÉGICAS PARA O  
CULTIVO DO MILHO VERDE EM SERGIPE**

## **1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **1.1 Agricultura e o Desenvolvimento sustentável**

Ao analisar a busca da agricultura em equilíbrio com a exploração dos recursos naturais, entende-se que é fundamental que os agricultores tomem conhecimento da sua responsabilidade no desenvolvimento, pois suas práticas afetam diretamente o meio ambiente, de modo que suas ações devem estar fundamentadas nos princípios da sustentabilidade, buscando-se alcançar o desenvolvimento sustentável (Oliveira e Bertolini, 2022).

As discussões e opiniões sobre o conceito de sustentabilidade não convergem entre todos os pesquisadores mas, a sustentabilidade pode ser baseada em três pilares comuns para sua existência (Catapan, 2020): O pilar ambiental que diz respeito à dimensão ambiental e ecológica da sustentabilidade, abrangendo os impactos ambientais, a preservação e consumo de recursos naturais, uso considerável e com o progresso da capacidade de carga do planeta, através da grandiosidade de recursos potenciais dentro de uma gama de ecossistemas; O pilar social que trata da responsabilidade social corporativa, melhoria dos direitos e das condições da população em geral; e o pilar econômico que refere-se aos aspectos econômicos envolvidos na implementação de medidas e estratégias sustentáveis, proporciona a disposição e gerenciamento de recursos através de um fluxo regular de todos os investimentos públicos e privados (Elkington, 2001; Sachs, 1993).

A sustentabilidade consiste em uma nova postura de vida para as civilizações, de modo a representar estratégia de sobrevivência em longo prazo, na intenção de preservar os recursos para as gerações futuras, manter relação de equilíbrio com o meio ambiente e a conservação da biodiversidade (Sachs, 2000).

Além dos três pilares da sustentabilidade, Sachs (2002) ampliou seu conceito de sustentabilidade como conceito multidimensional, pois aborda não somente a dimensão ambiental, no que concerne a restauração de características naturais, mas também, sustentabilidade social, que traz a ideia de equidade social e acesso aos recursos e serviços sociais; cultural, que diz respeito ao equilíbrio da tradição e inovação; econômica, essencial, porém não é condição previa as anteriores; territorial a respeito das configurações urbana e rural; ecológica a respeito da preservação da natureza e sustentabilidade política (nacional e internacional) relacionada à capacidade e eficiência do Estado (Loureiro *et al.*, 2020).

A busca pelo desenvolvimento sustentável no Brasil se baseia nos 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS). Estes objetivos foram propostos a agenda 2030 durante a

Rio+20 em 2012, baseados nos objetivos de Desenvolvimento do Milênio. Segundo a ONU os ODS abrangem diversas ações para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade. Entre os ODS o objetivo 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável) busca erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável. Dobrar a produtividade agrícola e a renda dos pequenos produtores de alimentos, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, estão entre as ações recomendadas pela Organização das Nações Unidas para alcançar este objetivo (Mendoza-fern *et al.*, 2021).

Atualmente, a produção de alimentos depende muito de insumos externos, como água de irrigação e produtos agroquímicos (Wang, 2022). O manejo inadequado do solo, tem gerado consequências como a erosão, declínio da estrutura e perda da fertilidade natural dos solos cultivados. Aumentando-se assim, a dependência dos produtores por fertilizantes, elevando os custos e diminuindo a sustentabilidade desse sistema de produção (Oliveira *et al.*, 2017). O sistema de cultivo convencional pode aumentar as pegadas de emissões de gases do efeito estufa no processo de fabricação de fertilizantes e pelo aumento da aplicação em campo para satisfazer as necessidades nutricionais da cultura (Galindo, Strock e Pagliari, 2022).

Diante do cenário atual das explorações antrópicas dos recursos naturais e a demanda alimentar crescente, para desenvolver as ações que garantam o alcance do desenvolvimento sustentável, é necessário traçar estratégias de busca do equilíbrio entre consumo e explorações de recursos naturais (Wang, 2022), para isso, a ciência e tecnologia cumprem um papel importante na utilização racional dos recursos naturais, buscando desenvolver tecnologias ambientalmente equilibradas, que favoreçam a sociedade nos âmbitos social, econômico e ambiental. A incorporação eficaz entre sustentabilidade econômica, ecológica e social são prioridades no contexto da Agricultura sustentável (Sarkar *et al.*, 2022).

A agricultura é a atividade econômica que mais faz uso de recursos naturais, sendo fundamental o desenvolvimento de tecnologias que propiciem o uso mais racional dos recursos naturais, para que este seja disponível às gerações futuras e não somente pensar nos benefícios de curto prazo de uma exploração descontrolada (Loureiro *et al.*, 2020). Avaliar e monitorar os impactos dos sistemas agrícolas na qualidade do solo, são essenciais ao estabelecimento de melhores práticas de gestão e uso sustentável da terra para mitigar mudanças climáticas, conservar a biodiversidade e garantir segurança alimentar (Luz, da *et al.*, 2019).

O conhecimento dos produtores sobre o meio ambiente é um fator indispensável para o desenvolvimento do cultivo sustentável, garantindo a subsistência alimentar, o favorecimento

econômico e a exploração adequada dos recursos naturais (García *et al.*, 2020). É importante destacar também que a capacidade de observação e análise das informações disponíveis sobre o ambiente, sobre as cultivares e das suas respostas aos diversos fatores do sistema de produção utilizado, são importantes para comercialização, levando em consideração o custo de produção, para que essa atividade agrícola seja lucrativa. Sendo estes fatores de produção citados, analisados de forma sistêmica, para que as tecnologias disponíveis sejam aplicadas de forma compatível entre elas e coerente com os recursos naturais disponíveis (Pacheco *et al.*, 2017).

## **1.2 Os benefícios socioeconômicos das tecnologias sustentáveis**

A agricultura familiar possui bases históricas no campesinato que pode ser entendido como civilização ou cultura, e pode ser visto como uma forma social particular de organização da produção com uma agricultura camponesa, cuja base é dada pela unidade de produção gerida pela família (Wanderley, 2003). A agricultura familiar é definida como o conjunto das unidades produtivas agropecuárias com exploração em regime de economia familiar, compreendendo aquelas atividades realizadas em pequenas e médias propriedades, com mão de obra da própria família (Soares, Melo e Chaves, 2009).

Esta categorial social é entendida como aquela em que a família, ao mesmo tempo em que é proprietária dos meios de produção, assume o trabalho no estabelecimento produtivo (Wanderley, 1996) entretanto, é necessário desmistificar a herança histórica de que a agricultura familiar é basicamente uma agricultura de subsistência e quebrar as barreiras que impedem ou dificultam a transformação de um agricultor familiar em um empreendedor rural (EMBRAPA, 2020).

De acordo com a Lei da Agricultura Familiar (11.326/6) é considerado agricultor familiar aquele que pratica atividades no meio rural quando não detenha, a qualquer título, área maior do que 4 módulos fiscais; utilize predominantemente mão de obra da própria família nas atividades econômicas do estabelecimento; na forma definida pelo Poder Executivo; e dirija o estabelecimento com a família (Brasil, 2006; Oliveira e Bertolini, 2022).

Em 1996 foi implementado o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf), este programa resultou das lutas dos movimentos sociais e sindicais do campo, fez com que a identificação e quantificação dos estabelecimentos agrícolas familiares adquirissem relevância concreta para orientar a intervenção governamental, particularmente no que diz respeito ao financiamento com juros subsidiados, assistência técnica, seguro rural e formas diferenciadas de garantia de compra da produção (Aquino, Alves e Vidal, 2020). Para os agricultores familiares, as políticas públicas ajudam a melhorar sua qualidade de vida e

estabelecer conexões com outros atores econômicos, melhorando os ciclos produtivos, insumos, matérias-primas e produtos finais (Zahaikevitch *et al.*, 2022).

A agricultura familiar é fundamental para o desenvolvimento econômico sustentável do espaço rural. A produção familiar é a principal atividade econômica de diversas regiões brasileiras e precisa ser fortalecida, pois o potencial dos agricultores familiares na geração de empregos e renda é importante (Soares, Melo e Chaves, 2009), oferece uma oportunidade única para garantir a segurança alimentar, melhorar os meios de subsistência, gerenciar melhor os recursos naturais, proteger o meio ambiente e alcançar desenvolvimento, especialmente nas zonas rurais (Fuller *et al.*, 2021).

Segundo o Censo agropecuário 2017 em relação as práticas agropecuárias e conservacionistas adotadas pelos agricultores familiares nordestinos, sobre manejo de solo, adubação e uso de defensivos agrícolas, 57,1% adotam algum sistema de preparo de solo, 23,6% realizam cultivo mínimo, 2,6% realizam o plantio direto na palhada, 13% aplicam rotação de culturas, 9,5% adubação química e 23,6% usam agrotóxicos (IBGE, 2019).

Em relação a posse de capital físico e acesso a tecnologias produtivas pelos agricultores familiares nordestinos, 0,3% possuem semeadeiras/plantadeiras, 1,3% possuem trator, 0,1% colheitadeiras, 0,1% adubadeiras, 0,4% caminhões, 1,9% automóveis, 17,7% motos, 19,5% poços convencionais, 12,9 poços profundos, 43,2% cisternas, 1,8% armazéns, 1,1% silo e 1,2% utilitários (IBGE, 2019).

Quanto a participação da agricultura familiar nos principais produtos da agropecuária nordestina, 12,7% respondeu a produção de milho no Nordeste, ressaltando que as plantações em 2017 estavam fortemente concentradas nas grandes propriedades patronais localizadas no sul do Maranhão, sul do Piauí e oeste da Bahia e, também, em áreas do Estado de Sergipe (IBGE,2019; Aquino, Alves e Vidal, 2020).

A agricultura familiar representa a maioria dos estabelecimentos rurais nordestinos, gera ocupação para mais de 4,7 milhões de pessoas, responde por parcela importante da oferta local de alimentos e contribui diretamente para o dinamismo da economia dos municípios da Região, movimentando mais de R\$ 32 bilhões em 2017 (Aquino, Alves e Vidal, 2020).

A modernização da agricultura associando os aspectos tradicionais de cultivos e as necessidades de mercado atuais pela lógica capitalista de produção, demanda estratégias de gestão dos recursos naturais pelo aumento das explorações que diferem da lógica camponesa. Atualmente a agricultura familiar responde por mais de 80% dos alimentos produzidos no país (Borges *et al.*, 2020; Oliveira e Bertolini, 2022), abrangendo cerca de 500 milhões de produtores rurais e correspondendo a aproximadamente 90% das propriedades agrícolas mundiais

(Zahaikevitch *et al.*, 2022), a modernização implica o uso de insumos, processos, máquinas e equipamentos apropriados ao segmento e às condições dos agricultores familiares, permitindo ganhos significativos em produtividade (EMBRAPA, 2020).

O crescimento das áreas do cultivo do milho na região de Sergipe se deu ao longo dos anos, marcadamente do atual século. Comparando o desempenho das culturas do milho a mandioca e feijão, no Estado de Sergipe foi observado no período entre 1990-2014 que a produtividade de milho foi superior em 18% pelo efeito rendimento e área, além disso o valor bruto de produção VBP do milho (16,6%) apresenta quase que o dobro do crescimento médio anual do VBP total da agricultura na região (9,8%), contribuindo dessa forma para o aumento da geração de renda (Cuenca, Dompieri e Santos, 2016).

A diminuição do emprego de insumos químicos para a produção agrícola ao tempo que minimiza impactos de poluição ambiental e custos de produção a pequenos e grandes produtores é o foco para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis. Há uma necessidade de manejo de sistemas agrícolas, em que os mais diversos sistemas de produção estejam equilibrados para serem produtivos, competitivos e sustentáveis ao longo do tempo (Lima Filho *et al.*, 2014; Wang, 2022).

Por ser o nutriente que mais onera o custo da produção de milho, o manejo do nitrogênio precisa ser bem gerenciado para que se possa garantir sucesso na atividade agrícola. Assim, tecnologias que visam o maior aproveitamento da adubação nitrogenada, como a fixação biológica de nitrogênio, estão sendo desenvolvidas (Kaneko *et al.*, 2015).

O aumento de 20% no aproveitamento do N dos fertilizantes minerais pelos cereais, representaria mundialmente, uma economia de mais de US\$ 4,7 bilhões por ano (Silva *et al.*, 2009). O uso de culturas antecedentes tem indicado grande potencial de proteção e recuperação da capacidade produtiva dos diferentes solos agrícolas, marcadamente os de condição química natural mais pobres. No entanto, um desafio aos produtores é a definição de esquemas compatíveis de uso das diferentes espécies, com os sistemas de produção específicos de cada região ou ainda nos limites de cada propriedade, considerando os aspectos relacionados a clima, solo, infraestrutura e condições socioeconômicas do agricultor (Lima Filho *et al.*, 2014).

A importância do milho também está relacionada ao aspecto social, pois grande parte dos produtores não é altamente tecnicizada, não possui grandes extensões de terras, mas depende dessa produção para viver, o que em muitos casos há a monocultura do mesmo na propriedade, sendo isso observado pela grande quantidade de produtores que consomem o milho em grão, na propriedade (Cruz *et al.*, 2011).

A integração de práticas ordenadamente sistematizadas, que privilegiem o aumento de níveis de matéria orgânica e da biodiversidade do solo, tem potencial de provocar avanços não apenas na agricultura como um todo, como também nas condições socioeconômicas dos produtores rurais (Lima Filho *et al.*, 2014), gerando consequências positivas.

A permanência na atividade agrícola e o seu fortalecimento da agricultura familiar são de grande importância, não só pelo respeito ao grupo social, mas também pelo apoio à segurança alimentar, à produção de matérias-primas, ao desenvolvimento local e regional e à conservação da natureza (Borges, 2020). A agricultura sustentável familiar se baseia no manejo dos ecossistemas agrícolas para manter e ampliar a sua produtividade, a qualidade do ambiente, a diversidade biológica e a qualidade de vida das pessoas envolvidas, agora e no futuro, com funções ecológicas, econômicas e sociais do meio rural (Oliveira e Bertolini, 2022).

### **1.3 A produção de milho em Sergipe**

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta da família Poaceae (antiga gramínea) proveniente da América Central ou México, é um cereal de grande importância na indústria, tanto no consumo humano como animal (Contini *et al.*, 2019). Esta cultura tem grande capacidade de adaptação a diversos climas, permitindo que seu cultivo seja realizado em todas as partes do mundo (Sabri *et al.*, 2020). É o grão de maior relevância nacional dada sua importância econômica e social, com intenso efeito multiplicador na geração de renda, congrega uma gama de produtores com níveis tecnológicos completamente diversos (Pacheco *et al.*, 2017).

A principal limitação, com maior frequência e intensidade que afeta o rendimento da cultura do milho é a disponibilidade de água e o uso da irrigação durante a estação seca no Nordeste brasileiro é uma alternativa para amenizar os efeitos da má distribuição das chuvas e aumentar a produtividade das culturas (Silva, C. B. *et al.*, 2020).

A máxima produtividade do milho ocorre quando o consumo de água durante o ciclo está entre 500 e 800 mm bem distribuídos. São exigidos pela cultura 350-500 mm de água para a fase da produção. A temperatura ideal para o desenvolvimento do milho, da emergência à floração, está compreendida entre 24 e 30°C e é desejável uma profundidade efetiva do solo maior que 50 cm devido ao sistema radicular do milho com grande potencial de desenvolvimento (Embrapa, 2010).

Nas regiões brasileiras o cultivo do milho para produção de grãos, com exceção do Nordeste ocorre em duas épocas, uma é a safra de verão como sendo a principal e a safrinha, que ocorre entre o ciclo das culturas de verão e inverno, de menor destaque em termos de produção. No Nordeste em especial em Sergipe só há uma safra desse grão, sendo que o mesmo

é plantado entre os meses de abril a junho, período indicado pela regularidade de chuvas e sua relação com clima, sua colheita acontece entre os meses de outubro a janeiro (CONAB, 2019), a colheita é mais dependente das condições de mercado que de clima, por conta da época de seca após a conclusão do ciclo da cultura. Já para o cultivo do milho visando a produção comercial de espigas de milho verde, recentemente a produção tem aumentado significativamente, especialmente na Região Nordeste do Brasil, as cultivares específicas podem ser cultivadas praticamente o milho é plantado o ano todo principalmente quando se disponibiliza de irrigação na área e de forma escalonada para colheitas semanais e oferta contínua ao mercado (Arruda *et al.*, 2022).

A região dos Tabuleiros Costeiros (faixa litorânea onde ocorre pouca deficiência no regime hídrico) além de significativa ocupação apresenta o uso do solo como fonte de emprego e renda pelo cultivo de várias espécies anuais, culturas perenes e criação de animais (Pedrotti *et al.*, 2018). Já para a cultura do milho visando a forma de grão sua exploração compreende uma área plantada de 175.000 ha com produtividade média de 3 t ha<sup>-1</sup> no estado de Sergipe, representando uma das principais culturas desta região (IBGE, 2017).

A região dos Tabuleiros Costeiros se destaca pela crescente na produção de milho nos últimos anos, se aproximando da produtividade média do Nordeste, porém distante da produtividade nacional. O avanço e a difusão de novas tecnologias são cruciais ao crescimento e dinamismo econômico neste local (Pacheco *et al.*, 2017). Nesta região o cultivo de milho torna-se uma fonte de mercado significativa e com grande oportunidade de negócio para agricultores familiares onde o clima e o solo são mais favoráveis a cultura, além do expressivo contingente populacional como potencial consumidor do produto.

A cadeia produtiva da cultura do milho além de grande expressão econômica, apresenta expressivo caráter social na geração de emprego e renda para a agricultura familiar do estado, como também exerce uma grande influência em outras cadeias produtivas, a exemplo da bovinocultura, avicultura e outras, pela importância para a alimentação animal (Almeida *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2019).

Analisando a produção do milho entre os anos de 2009 e 2018 foi observada uma produção média de 72.264.277 t no Brasil, 5.054.013 t no Nordeste e 527.570 em Sergipe (EMDAGRO, 2020).

É possível observar a evolução da produção do milho em grãos em Sergipe, entre 2009-2018 apresentada no Quadro 1., que se apresenta muito variável devido, marcadamente por conta de anos com maior restrição do regime hídrico, motivado pelas características naturais do ecossistema.

Quadro 1. Evolução da produção anual de milho em grãos, no período de 2009 a 2018 (ton), em Sergipe.

2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
703.2	750.7	480.4	290.5	700.9	762.4	495.7	140.9	843.7	106.8

Fonte: Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - LSPA-2009 a 2018 /EMDAGRO.

Em Sergipe, o crescimento da área plantada e da produtividade se destacam em relação à média do Nordeste e mantém relação estreita com a introdução de tecnologias no setor produtivo e de crédito, a exemplo do Zoneamento de Risco Climático para a cultura (Oliveira *et al.*, 2019).

A importância dada a cultura do milho em Sergipe vem sendo resultado da sua rentabilidade econômica, ainda que este tenha sido muito cultivado como uma cultura de subsistência. O Estado vem apresentando incremento considerável na produção, devido à intensificação no uso de tecnologia, o aumento da área foi menor em relação a produtividade do milho nessa região. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e estatística- IBGE (2017) Sergipe apresentou o segundo melhor rendimento em produção no Nordeste na safra 2017 sendo superado apenas pela Bahia.

Em 2018 houve uma queda na produção do milho em decorrência da estiagem quando comparada com a safra de 2019 (Quadro 1) onde o clima foi favorável em todo ciclo da cultura, a produção aumentou cerca de 300% onde Sergipe registrou a maior safra de milho do Nordeste em relação à safra de 2018 (IBGE, 2019). A produção de milho no Brasil atingiu valores em queda entre as safras 2020/2021 devido ao atraso das chuvas que afetou mais as regiões de primeira safra. Em Sergipe os prejuízos foram minimizados pelas chuvas ocorridas no período de julho a agosto chegando a uma produtividade de 4.180 kg/há (Conab, 2021).

Além da produção de milho em grãos, o consumo do milho em espiga popularmente conhecido como milho verde, produzido na agricultura familiar, vem aumentando de forma significativa no Nordeste em função da sua lucratividade nos últimos anos. O valor de comercialização do milho verde é maior comparado ao milho na forma de grãos secos (Oliveira *et al.*, 2020). Não há registro oficial de milho verde no país; no entanto, sabe-se que em 2018, 9,1 milhões de toneladas foram produzidas no mundo, com média produtividade de 8,1 Mg/ha (Nunes *et al.*, 2022).

O milho destinado ao consumo de milho verde em espigas, se caracteriza por cultivares que apresentam grãos dentados amarelos, espigas grandes e cilíndricas, bem empalhadas, sabugo branco, boa granação e pericarpo fino com longo período de colheita. Apresenta um

tempo de permanência de aproximadamente 90 dias, sendo necessário que o local de produção esteja situado o mais próximo possível dos centros consumidores. São colhidos com 70 a 80% de umidade, antes que os açúcares sejam totalmente convertidos em amido e, portanto, são considerados hortaliças (Pereira, 2008; Silveira *et al.*, 2021)

O cultivo do milho verde é uma das atividades produtivas mais corriqueiras nos estabelecimentos rurais brasileiros, adotada principalmente por agricultores familiares que destinam a produção ao consumo doméstico, comercializada in natura próximo dos grandes centros consumidores, e às indústrias processadoras de alimentos (Neves *et al.*, 2021; Pereira Filho, 2022). O uso de cultivares específicas para o milho verde, produtivas e adaptadas às condições de cada região, combinado com uma população adequada, pode, portanto, ser uma ação importante para aumentar o rendimento da colheita (Arruda *et al.*, 2022).

Embora seja uma alternativa promissora para os agricultores familiares, o cultivo de diferentes variedades da espécie de Poaceae como o milho requer grandes quantidades de fertilizantes químicos como o nitrogênio para garantir uma boa produtividade (Baghdadi *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2022) marcadamente em solos tropicais intemperizados, situação típica na região dos Tabuleiros Costeiros (Silva *et al.*, 2019). O consumo desses insumos além de elevar os custos de produção acaba prejudicando o meio ambiente pela degradação do solo e outros recursos naturais (Nascimento *et al.*, 2021; Shahzad *et al.*, 2013). Além disso, apesar de a expansão da cultura do milho ser crescente nos municípios de Sergipe, resulta na expansão do sistema convencional exigindo mais insumos externos como fertilizantes químicos para garantir a produção (Oliveira *et al.*, 2019).

A necessidade nutricional de macronutrientes pela cultura do milho se relaciona a extração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio do solo e aumenta linearmente com o aumento na produtividade, onde a maior exigência do milho refere-se a nitrogênio e potássio, seguindo-se cálcio, magnésio e fósforo (Coelho, 2006). A adubação deve ser realizada de acordo com a recomendação nutricional da cultura. O milho necessita ter as suas exigências nutricionais plenamente satisfeitas para atingir alta produtividade (Mendes *et al.*, 2021).

O nitrogênio é essencial ao cultivo do milho para garantia de produtividade e por ser um dos nutrientes mais requeridos em maiores quantidades pela cultura, contribui para que os produtores apliquem dosagens excessivas aumentando os custos de produção, onde pode ocorrer um retorno não significativo na produtividade (Máximo *et al.*, 2019). Este nutriente está diretamente relacionado com o crescimento, já que plantas deficientes em N podem apresentar redução de altura e menores áreas foliares e, assim, comprometer a fotossíntese, por menor

interceptação da radiação solar traduzindo-se em redução da sua produtividade (Silva, C. B. *et al.*, 2020).

Os fertilizantes nitrogenados, além de elevarem os custos de produção, podem poluir o meio ambiente. Cerca de 50% do fertilizante nitrogenado adicionado às culturas não é assimilado, e as diferentes perdas resultam em poluição do solo e corpos de água, causando impacto negativo à saúde animal e humana pela eutrofização (Clavijo *et al.*, 2012). O nitrogênio além de ser um dos nutrientes mais caros, com baixa absorção pelas plantas, pode acarretar problemas em condições de campo por perdas ao subsolo e poluição ambiental no abastecimento de água, além do aquecimento pela conversão dos fertilizantes nitrogenados e emissão de gases poluentes (Breda, Alves e Reis, 2016; Zhang *et al.*, 2022).

Para a adubação correta em função das necessidades específicas da cultura do milho uma série de fatores devem ser considerados. Assim, o agricultor precisa levar em consideração diferentes aspectos que envolvem a diagnose adequada dos problemas a partir da análise do solo e histórico de calagem e adubação, identificando quais os nutrientes necessários aos casos particulares, as quantidades de N, P e K necessários na semeadura. Estes devem estarem de acordo com a, quantidade (dose por hectare) de N, quantidade e momento de aplicação que se baseia na produtividade desejada e quais os problemas que podem ocorrer aos nutrientes em determinados tipos de solos (Coelho, 2006).

Grânulos de fertilizante não revestidos ou puros, são fertilizantes sólidos comuns que têm a limitação de liberação de nutrientes dos grânulos relativamente rápida e, portanto, vulnerável a perdas por volatilização, lixiviação e escoamento superficial (Irfan *et al.*, 2018). A aplicação de fertilizantes é comumente obtida transmitindo nutrientes para a superfície do solo sem incorporação. Uma fonte de nitrogênio (N) comumente usada é a ureia e, se não for incorporada, pode sustentar as perdas de N por meio da volatilização da amônia e diminuir os rendimentos das culturas (Oyebiyi *et al.*, 2019).

Em relação aos micronutrientes como ferro, manganês, zinco, boro, cobre e molibdênio apesar destes serem menos requeridos em quantidades, são indispensáveis e a deficiência de algum deles pode ocasionar a desorganização de processos metabólicos, reduzindo a produtividade assim como a deficiência de nitrogênio (Coelho, 2006). Situação agravada em solos arenosos e pobres quimicamente como ocorre na situação típica da região dos Tabuleiros costeiros.

#### 1.4 Sistemas de Cultivo

O solo pode ser degradado por duas fontes estas podem ser de origem agrícola pela ausência de tecnologias ou exploração acima da capacidade dos recursos do solo; e fonte de origem não agrícola ocasionada pelas atividades antrópicas desrespeitando a capacidade de reestruturação dos solos (Pedrotti e Mello Junior, 2009).

O manejo inadequado do solo e a diminuição da cobertura vegetal provocam alterações nas suas características físicas, modificando sua capacidade produtiva. Dentre as características físicas do solo, estão sempre em estudo, a compactação, ocasionada especialmente pelo tráfego de máquinas pesadas nas lavouras e pisoteio de gado (Xiong *et al.*, 2020). A intensa mecanização agrícola e operações de campo na mesma profundidade e direção, em condição de umidade elevada são as principais causas da compactação do solo comprometendo a qualidade do solo e a sustentabilidade do sistema devido à pressão excessiva dos implementos agrícolas (Andognini *et al.*, 2020).

Na região Centro-oeste de Sergipe o sistema convencional de produção do milho em grão é predominante, com a exploração elevada dos solos e uso intensivo de outros recursos naturais. Em contrapartida, entre as práticas conservacionistas do solo, predominantemente adotadas nas principais regiões agrícolas do país, estão os sistemas de plantio direto (PD) e o Cultivo mínimo do solo (CM). Estes sistemas adotados como práticas conservacionistas tem gerado resultados positivos na produtividade da cultura do milho principalmente quando associados as culturas antecedentes (Oliveira *et al.*, 2017).

A adoção do Plantio direto tem gerado resultados positivos na produtividade da cultura do milho pela maior eficiência de produção de espigas por plantas (Nunes *et al.*, 2022; Silveira *et al.*, 2021). O cultivo mínimo é um método que reduz o revolvimento do solo necessário para a produção das culturas, minimizando a destruição da estrutura do solo, e reduzindo muito sua propensão a erosão eólica e hídrica do solo (He *et al.*, 2021).

O Plantio direto tem sido usado como método de gestão para aumentar ou manter altos níveis de uso sustentável do solo. Essa gestão interfere de modo favorável no níveis dos aspectos físicos, químicos e conseqüentemente nas propriedades microbiológicas do solo sendo estes fatores determinantes na obtenção de níveis elevados de produtividade das culturas (Pedrotti *et al.*, 2018).

Os sistemas de Plantio direto e cultivo mínimo, proporcionam a retenção de mais água no solo, favorecem a manutenção da estrutura, porosidade e aeração do solo, dentre outras condições desejáveis para o crescimento e desenvolvimento das espécies (Telles *et al.*, 2020).

Conseqüentemente, se tornam rentáveis economicamente, por exemplo, em virtude do não revolvimento do solo e da manutenção de cobertura morta em sua superfície.

O Plantio Direto foi introduzido no Brasil na década de 1970, na região sul do país. Os problemas erosivos oriundos do cultivo convencional geraram grandes quantidades de sedimentos e níveis elevados de poluição dos recursos hídricos (Possamai *et al.*, 2022). Inicialmente o Plantio Direto foi disseminado em estados da região Sul e ao longo dos anos essa prática vem sendo expandida nas importantes regiões agrícolas do país, atualmente o Brasil se encontra com uma superfície de quase 33 milhões de hectares sob plantio direto, sendo desenvolvidas formas diversas do mesmo, como o seu uso específico para olerícolas (Loss *et al.*, 2017; Salomão *et al.*, 2020).

No plantio direto a palha deixada por culturas de cobertura sobre a superfície do solo, somada aos resíduos das culturas comerciais, cria um ambiente extremamente favorável ao crescimento vegetal, contribuindo para a estabilização da produção e para a recuperação ou manutenção das características e propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, de tal modo que a sua qualidade seja melhorada (Alvarenga, Cruz e Novotny, 2002; Nascimento *et al.*, 2021).

No plantio direto a presença da cobertura vegetal determina a redução da mobilização de nutrientes, favorece a entrada da matéria orgânica e a sua velocidade é reduzida de mineralização e minimização da erosão do solo criando um ambiente adequado para o processo de reestruturação do solo, que é indispensável à sustentabilidade e produtividade dos sistemas explorados (Pedrotti *et al.*, 2018; Telles *et al.*, 2020).

O Plantio direto apresenta inúmeros benefícios sendo uma alternativa de produção econômica e sustentável, porém, a deficiência de informações complementares em relação às técnicas de plantio acaba por gerar períodos de instabilidade na propagação do PD, principalmente nas novas fronteiras agrícolas do Brasil, onde há importantes expansões das culturas agrícolas como o milho uma vez que as lavouras podem ficar abandonadas após três a quatro anos da adoção do sistema devido à ausência de informações do manejo do plantio direto na palha (Salomão *et al.*, 2020).

### **1.5 Culturas antecedentes**

Na busca da viabilização do manejo sustentável e a preservação da fertilidade natural dos solos, a presença de resíduos culturais é uma das principais estratégias de manejo para a proteção e manutenção da sustentabilidade do solo, sendo necessário que as culturas

anteriores, de rotação ou sucessão sejam espécies adaptadas as condições edafoclimáticas locais e com boa produção de fitomassa (Nascimento *et al.*, 2021; Pedrotti *et al.*, 2018).

O emprego de culturas anteriores se caracteriza pela utilização de plantas para melhoria das condições físicas, químicas e conseqüentemente dos parâmetros biológicos do solo. Entre as espécies utilizadas destacam-se as Fabaceae (antigas leguminosas) que estabelecem associação com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico, tornando disponível para as plantas e apresentam baixa relação C/N além de estimular a população de fungos micorrízicos, micro-organismos que aumentam a absorção de água e nutrientes pelas raízes (Lázaro *et al.*, 2013).

Os resultados da adoção de culturas anteriores prática versátil e aplicável à várias situações agrícolas devem ser avaliados em conjunto do sistema produtivo, a médio e longo prazo, com base no uso frequente e com flexibilidade para permitir alterações na escolha das culturas em decorrência de oscilações climáticas e de mercado (Lima Filho *et al.*, 2014).

O uso de culturas anteriores, em substituição a fertilizantes nitrogenados, é importante para a melhoria da qualidade do ambiente, pelo fato da produção industrial de N consumir grande quantidade de energia obtida a partir da queima de combustíveis fósseis (Lázaro *et al.*, 2013). Quantidades significativas de nitrogênio podem ser incorporadas aos sistemas de produção a partir da introdução de Fabaceae em sistemas de consórcio ou de rotação de culturas (Embrapa, 2011).

Embora as espécies da família Fabaceae sejam mais utilizadas ao que antes era denominado adubo verde, em função da simbiose com bactérias fixadoras de N atmosférico, possibilitando a redução ou a não utilização de adubação nitrogenada mineral, diversas outras espécies como as Poaceae são eficientes igualmente a essa prática agrícola denominadas plantas de cobertura do solo (Lima Filho *et al.*, 2014), por proporcionarem ao solo não somente melhorias em características químicas mas também nas características físicas e conseqüentemente elevação dos níveis de atividade biológica do solo, portanto um conceito muito mais abrangente. A cobertura vegetal tem a capacidade de propiciar diversas vantagens, entre elas, minimização do impacto das chuvas nas lavouras, redução da evaporação da água no solo e aumento da capacidade de retenção de água no mesmo (Salomão *et al.*, 2020).

O Plantio direto apresenta também benefícios como proteção do solo e redução de temperatura, melhorias das suas condições químicas, físicas e biológicas e controle de plantas espontâneas (Massad *et al.*, 2014). Efeitos benéficos resultantes da cobertura vegetal viva ou morta, incorporada ou não ao solo, e dependentes de condições locais e da frequência do uso, além de benefícios técnicos, econômicos e sociais (Lima Filho *et al.*, 2014).

As formas de emprego das culturas antecedentes são em pré-cultivo ou rotação de culturas quando aplicados antes ou depois de uma cultura para melhorar o solo para a cultura que será plantada em seguida. Podendo o cultivo ser organizado em faixas, consórcio ou plantio no final do ciclo da cultura (Embrapa, 2011) algumas espécies são utilizadas para supressão de ervas daninhas, pelo aproveitamento de seus efeitos alelopáticos (Baraibar *et al.*, 2018).

De modo geral, o uso de culturas antecedentes, desempenham papel fundamental na ciclagem de nutrientes, tanto daqueles adicionados por meio de fertilizantes minerais e não aproveitados pelas culturas comerciais; quanto daqueles provenientes da mineralização da matéria orgânica do solo (Lázaro *et al.*, 2013). Permite ainda o aporte de quantidades expressivas de fitomassa, possibilitando uma elevação no teor de matéria orgânica do solo ao longo dos anos. Como consequência, obtém-se aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, o que traz maior retenção de nutrientes junto às partículas do solo, reduzindo perdas por lixiviação (Espíndola; Guerra; Almeida, 1997). Em solos compactados as plantas de cobertura melhoram a eficiência do sistema, promovendo a estabilização e conservação do solo, reestruturação e restauração da matéria orgânica e o aumento produtivo agrícola pela liberação de nutrientes nas camadas mais profundas do solo, que modificam suas características para níveis mais desejáveis (Salomão, 2020).

Usando plantas Fabaceae e não Fabaceae como culturas antecedentes, podemos maximizar o fornecimento de serviços ecossistêmicos, aumentando a disponibilidade de nutrientes vegetais para a safra seguinte e criando um ambiente positivo para produção de biomassa e crescimento de raízes (Nascimento *et al.*, 2021).

As regiões tropicais possuem peculiaridades específicas que podem limitar a produção agrícola. A interação genótipo e ambiente é de extrema relevância na busca por sistemas produtivos sustentáveis pois, o sucesso da produção agrícola depende de fatores genéticos e de condições ambientais como clima, tipo de solo, manejo adequado e a busca pela escolha correta de cultivares para determinada região, se aproveitando de benefícios sinérgicos e altamente aplicáveis, aspecto importante para solos naturalmente pobres quimicamente, cuja situação é típica nos solos dos Tabuleiros Costeiros de Sergipe (Santos *et al.*, 2019).

## **1.6 Inoculantes e sua contribuição para a produção agrícola**

A agricultura e a produção agrícola são diretamente afetadas por estresses abióticos, e são favorecidas pelas estratégias de adaptação da diversidade microbiana (Kumar *et al.*, 2019). Os micro-organismos utilizados são capazes de lidar com as duras condições ambientais,

desenvolvendo respostas de estresse fisiológico e molecular específico, o que lhes permite prosperar sob condições normalmente desfavoráveis (Soussi *et al.*, 2016).

Na região Nordeste, em especial nos Tabuleiros Costeiros há um bioma marcado pela natural irregularidade das precipitações pluviométricas, com variações espaciais e temporais, o que lhe confere características muito peculiares, notadamente no que diz respeito ao binômio solos/vegetação (Amaral *et al.*, 2021). Sendo assim, a compreensão dos processos biológicos é de fundamental importância para subsidiar o planejamento do uso dos recursos naturais, com investigações voltadas para caracterizar os recursos naturais locais e determinar alternativas que podem minimizar as dificuldades enfrentadas (Nunes *et al.*, 2015).

Entre as estratégias para um manejo sustentável do solo uma das alternativas à diminuição da dependência da agricultura brasileira por fertilizantes minerais e por agroquímicos é a ampliação da oferta de insumos biológicos de alta eficiência (Oliveira *et al.*, 2014), sendo atualmente disposto no decreto Nº 10.375/2020, o Programa Nacional de Bioinsumos, destinado entre algumas finalidades, ao uso na produção, no armazenamento e no beneficiamento de produtos agropecuários (Brasil, 2020).

Os micro-organismos podem desempenhar um papel significativo para superar as limitações de produção vegetal, se explorarmos suas propriedades como a tolerância à salinidade, diversidade genética, síntese de solutos compatíveis, produção de hormônios promotores de crescimento das plantas, potencial de bio-controle e sua interação com plantas cultivadas (Shrivastava e Kumar, 2015; Soussi *et al.*, 2016). O solo é um ecossistema de enorme riqueza microbiana sendo considerado uma fonte potencial para alternativas sustentáveis (Silva, 2017).

A rizosfera representa um dos ecossistemas mais complexos do planeta sendo considerado como principal fonte de mecanismo para resolução de problemas agrícolas e sustentabilidade florestal, favorecendo em diferentes aspectos a conservação da biodiversidade, de recursos hídricos e diminuição das alterações climáticas pelas suas características químicas, físicas e biológicas únicas. A interação entre plantas e diferentes micro-organismos é uma estratégia natural para enfrentar o intervalo de estresses bióticos e abióticos, podendo aumentar a capacidade da planta de absorver nutrientes e sua eficiência no uso da água (Jones e Hinsinger, 2008; Trabelsi e Mhamdi, 2013; Malgioglio *et al.*, 2022).

Diante da atual necessidade por novas tecnologias, os micro-organismos associados à promoção de crescimento vegetal, demonstram ser uma excelente alternativa para aumentar a agricultura de maneira sustentável. Rizobactérias promotoras de crescimento vegetal e bactérias simbióticas fixadoras de nitrogênio são alternativas que visam atender a essas necessidades,

melhorando a fertilidade do solo e reduzindo os impactos negativos (Babalola, 2010; Gupta, Panwar e Jha, 2013; Mareque *et al.*, 2015).

Diversas estirpes de bactérias têm evidenciado o seu potencial para uso como biofertilizantes pelas suas propriedades envolvidas na promoção de crescimento vegetal, resistência a condições adversas e antagônicas (Soussi *et al.*, 2016). Os inoculantes utilizam micro-organismos vivos, capazes de promover o crescimento vegetal de forma direta ou indireta, por meio de diferentes mecanismos, tais como: fixação biológica de nitrogênio, produção de fitohormônios, solubilização de fosfato, bio-controle, entre outros (Barrios e Baldani, 2021).

Os produtos para inoculação de plantas são desenvolvidos com base nos estudos de diversidade e caracterização de isolados aliados com a biotecnologia que reduzem o uso de fertilizantes nitrogenados e plantio direto de produção por serem formulados com bactérias diazotróficas que fixam o nitrogênio atmosférico e disponibilizam as plantas (Hungria, 2011).

Uma das alternativas para manutenção do rendimento do milho com redução no consumo de fertilizantes nitrogenados é a inoculação das sementes com bactérias diazotróficas, ou seja, que possuem a capacidade de fixação de N atmosférico no solo, deixando-o disponível às plantas (Pandolfo *et al.*, 2014). O nitrogênio representa um nutriente essencial à promoção do crescimento de plantas. Contudo, embora esteja presente na atmosfera de forma livre, não é sempre biodisponibilizado ao solo, sendo encontrado grande parte presente como N<sup>2</sup> em formas não assimiláveis (Kakabouki *et al.*, 2020; Moreira *et al.*, 2010).

A soja é um dos principais exemplos de cultura beneficiada pela FBN, onde a obtenção de todo nitrogênio necessário se dá pela interação rizóbio-leguminosa, o processo de FBN é bem esclarecido para Fabaceae e levou o Brasil, segundo maior produtor de soja do mundo, a ter um produto mais competitivo no mercado internacional devido ao baixo custo de produção tendo a soja como um dos principais produtos de exportação do país (Baldani *et al.*, 1997; Barbosa *et al.*, 2021; Freitas *et al.*, 2022).

As bactérias diazotróficas podem facilitar a nutrição nitrogenada a partir da fixação biológica do nitrogênio atmosférico em um processo de redução em amônia (NH<sup>3</sup>) fornecendo as plantas associadas um suprimento parcial da demanda de N da cultura (Bouffaud *et al.*, 2016).

Apesar de a FBN ser mais comumente associada às plantas Fabácea que estabelecem relação simbiótica com micro-organismos nodulantes, uma variedade de plantas Poaceae também pode desenvolver-se em ambientes naturais com baixo teor de N, devido às associações com micro-organismos promotores de crescimento vegetal e fixadores de N. As bactérias

diazotróficas que colonizam o interior dos tecidos vegetais denominadas endofíticas atuam no processo de fixação biológica do nitrogênio e apesar da especificidade da associação das bactérias endofíticas com seus hospedeiros ser baixa essa é mais frequente em Poaceae (Baldani *et al.*, 1997; Bouffaud *et al.*, 2016; Calzavara *et al.*, 2018; Doty *et al.*, 2016).

O processo de redução do nitrogênio atmosférico a  $\text{NH}_3$  é catalisado pelo complexo enzimático nitrogenase em um complexo ativo redox constituído de duas proteínas, a dinitrogenase e a dinitrogenase redutase interagindo cooperativamente na FBN, a reação ocorre acoplada a produção de  $\text{H}_2$ . O local ativo da redução é a subunidade dinitrogenase I ou Mo-Fe proteína, que pode ser encontrada em alguns organismos diazotróficos com o Mo substituído por V ou Fe. A dinitrogenase redutase ou Fe-proteína é a subunidade responsável pela transferência de elétrons para que ocorra a redução do  $\text{N}_2$  sendo mais sensível ao  $\text{O}_2$  (Reis, V.M; Teixeira, 2006; Silva, 2017).

As diferentes práticas agrícolas devem diversificar as técnicas de cultura, buscando reproduzir os ecossistemas naturais. Estimar a contribuição da FBN é uma forma crucial de análise do uso de nutrientes e impacto humano sobre o ciclo do N sistemas agrícolas (Austin *et al.*, 2000; Silva, 2017).

A tecnologia de inoculação de bactérias diazotróficas vem sendo largamente difundida para Poaceae com produtos recomendados para culturas como o milho pela inoculação da bactéria *Azospirillum brasilense* (Hungria, 2011), e apresentando respostas positivas com a inoculação de *Herbaspirillum seropedicae* para diferentes culturas incluindo milho, além da coinoculação dessas duas espécies potencializando a promoção do crescimento das plantas (Breda, Alves e Reis, 2016; Gavilanes *et al.*, 2020).

Com base nos estudos de Mariangela Hungria (2011), pioneira nos estudos de diversidade e eficiência de bactérias diazotróficas, um inoculante comercial foi desenvolvido em virtude das respostas positivas da inoculação de estirpes de *Azospirillum brasilense* no cultivo de milho em diferentes ensaios de campo, embora esses resultados representem um avanço à produção vegetal sustentável pela diminuição da aplicação de fertilizantes nitrogenados, a inoculação não supre a necessidade total da demanda nutricional da cultura sendo ainda necessário um aporte de adição parcial de fertilizante nitrogenado.

As bactérias diazotróficas associativas ou simbióticas podem associar o processo de fixação biológica do nitrogênio a outras estratégias como os mecanismos para a promoção do crescimento de plantas (Zuluaga *et al.*, 2020). Algumas espécies de bactérias promotoras de crescimento oferecem principalmente benefícios diretamente ligados a esses mecanismos (Gavilanes *et al.*, 2020a; Pedraza *et al.*, 2020). Os microrganismos compatíveis competem com

outros componentes da microbiota do solo para colonizar pelo menos um dos microambientes ou tecidos disponibilizados pela própria planta (Calzavara *et al.*, 2018).

São comuns espécies de bactérias associativas, não simbióticas, beneficiarem o crescimento vegetal por meio de mecanismos como a produção de compostos indólicos (Fornah, Anderson e Habiger, 2021). Dentre esses compostos, as bactérias podem sintetizar o AIA (ácido-indol-acético) que é uma auxina natural que atua no transporte polar em plantas regulando quase todos os aspectos como divisão celular, alongamento, desenvolvimento de frutos e senescência (Babalola, 2010; Sugawara *et al.*, 2015).

O AIA é um fitormônio importante para a estimulação do crescimento radicular com o aumento em número e comprimento de raízes favorecendo a absorção de nutrientes e estimulando a colonização bacteriana (Shao *et al.*, 2015). Este fitormônio pode atuar como molécula sinalizadora importante à resposta ao estresse, favorecendo as plantas hospedeiras para superação de estresses abióticos (Ouyang, Pei e Xu, 2017), bem como na fitorremediação de metais pesados (Rolón-Cárdenas *et al.*, 2022).

Diversos estudos de caracterização de bactérias isoladas de plantas de Fabaceae e de Poaceae já caracterizaram bactérias associativas ou simbióticas de plantas com capacidade promotora de crescimento vegetal associada à produção de AIA. Estes micro-organismos podem produzir quantidades significativas desses compostos indólicos como um dos principais mecanismos para promoção do crescimento de plantas juntamente com a fixação biológica de nitrogênio (Abd-alla e Rasmey, 2013; Bergamaschi *et al.*, 2007; Felestrino *et al.*, 2017; Fernandes-Júnior *et al.*, 2015; Sharma *et al.*, 2013; Silva, da *et al.*, 2018).

A solubilização de fosfato também é um mecanismo para a promoção do crescimento de plantas oferecido pelas bactérias. Assim como a importância do aporte nutricional de nitrogênio, é ressaltada a relevância do fósforo como nutriente mineral essencial para o rendimento vegetal. Esse nutriente apresenta disponibilidade limitada pela ocorrência em formas insolúveis (Sharma *et al.*, 2013; Silva, 2017; Simpson *et al.*, 2011).

Os mecanismos utilizados por bactérias solubilizadoras de fosfato compreendem ácidos orgânicos que são liberados pelos micro-organismos e agem como quelantes de cátions divalente juntamente com a liberação de fosfatos a partir de compostos fosfatados insolúveis, tornando as formas insolúveis em solúveis. A liberação do fosfato pode também ocorrer pela formação de complexos insolúveis entre ácidos orgânicos e íons metálicos associados ao fósforo insolúvel (Sashidhar e Podile, 2010).

A deficiência de ferro é um grande problema agrícola global. Os sideróforos podem ajudar os organismos a absorver o ferro na forma de sideróforos. Os sideróforos são agentes

quelantes de baixo peso molecular produzidos por bactérias, fungos e plantas para facilitar absorção de ferro (Fe), são compostos que podem ser produzidos por bactérias promotoras de crescimento de plantas como mecanismo para beneficiar também a ação fitorremediadora de proteção contra toxicidade de metais pesados (Chen *et al.*, 2015; Sun *et al.*, 2022).

O mecanismo de produção de sideróforos desempenha papel fundamental na solubilização extracelular de minerais de Fe tornando-os disponíveis. Sideróforos são removedores de ferro de baixo peso molecular, estes compostos apresentam diferentes estruturas químicas, formando uma família de pelo menos 500 compostos diferentes (Roskova, Skarohlid e McGachy, 2022; Wang *et al.*, 2014).

A fitorremediação é uma tecnologia emergente tendo a rizosfera e os micro-organismos simbiotes um importante papel devido ao benefício oferecido pelas bactérias incluindo as diazotróficas através da conversão de metais pesados em formas biodisponíveis pelos processos de metilação, quelação, lixiviação e reações redox, e na produção de sideróforos (Kaminsky *et al.*, 2019; Ullah *et al.*, 2015).

O sucesso da FBN observado em diferentes culturas de Fabáceae, ocorre através das interações simbióticas entre as plantas e os micro-organismos, principalmente pelas bactérias de diversos gêneros, onde por meio da formação de nódulos desenvolvem estruturas favoráveis e necessárias ao processo de fixação de N<sub>2</sub>, sendo um grande desafio compreender a extensão da FBN para plantas Poaceae (Dobereiner, 1997).

Quando se aborda o processo de FBN em plantas não leguminosas, é observada a influência exercida pelo genótipo da planta no processo de interação entre gramíneas e bactérias potenciais fixadoras de N<sub>2</sub>, além dos fatores abióticos do meio e da competitividade com os demais micro-organismos locais, levando-se em consideração principalmente as características genéticas do hospedeiro onde a variação de rendimento de culturas é demonstrada em diferentes genótipos (Baldani *et al.*, 1997; Bergamaschi *et al.*, 2007; Ballesteros *et al.*, 2021).

Diferentes gramíneas de importância agrícola como cana-de-açúcar, trigo, sorgo e milho se associam com numerosas bactérias diazotróficas, tais como *Gluconacetobacter* sp., *Herbaspirillum* sp., *Azospirillum* sp., dentre outros, porém a capacidade de fixação de nitrogênio é variada nas associações com plantas de Fabaceae (Prakamhang *et al.*, 2009).

É destacado ainda que Poaceae são capazes de estabelecer uma relação associativa com diferentes bactérias promotoras de crescimento vegetal do gênero *Azospirillum*, sendo demonstrado os benefícios da inoculação com *Azospirillum* sobre o crescimento e a produção de diversas culturas (García de Salamone *et al.*, 2012), havendo inclusive bactérias de *Azospirillum brasilense* recomendadas oficialmente para as culturas do milho, trigo e arroz no

Brasil (Hungria *et al.*, 2010). As espécies de *Azospirillum* são as bactérias promotoras de crescimento vegetal mais estudadas tanto pela capacidade de fixar nitrogênio em Poáceas como por outros mecanismos de promoção do crescimento (Cortés-Patiño *et al.*, 2021).

*Herbaspirillum* sp., é uma bactéria diazotrófica gram-negativa, está comumente presente em raízes de plantas, rizosferas e solos oligotróficos. Foi isolado a partir de cereais e é associado à promoção do crescimento de plantas que incluem várias culturas economicamente importantes (Praburaman *et al.*, 2017). Esta bactéria foi considerada uma diazotrófica endofítica e, portanto, importante para promoção do crescimento de plantas, abrindo uma nova perspectiva para estudos sobre a associação de microrganismos e plantas com uma espécie que requer uma planta viva para sobreviver (Alves *et al.*, 2021).

Entre as culturas comerciais associadas a colonização por *Herbaspirillum* sp. como arroz, sorgo, cana-de açúcar, milho e trigo é destacado que a colonização de *Herbaspirillum seropedicae* coloniza a superfície da raiz de *Zea mays* L. em 30 min após a inoculação e invade os tecidos internos após 24h (Monteiro *et al.*, 2008). *Herbaspirillum seropedicae* é considerada uma espécie adaptada aos solos tropicais brasileiros (Alves *et al.*, 2021).

*Azospirillum brasilense* representa uma prática de inoculação economicamente rentável com a aplicação de doses controladas de nitrogênio (Kaneko *et al.*, 2015)

A viabilidade de um processo produtivo é integrada ao agricultor com o desenvolvimento de tecnologias adaptadas as condições locais, e o seu repasse por assistência técnica eficiente. Para isto, devem ser consideradas as condições ambientais, técnicas, estratégias econômicas e sociais de forma conjunta e equilibrada na busca por efeitos a longo prazo que além do crescimento levem ao desenvolvimento atingindo condições de sustentabilidade das explorações agrícolas (Assunção, 2019; Santana, 2019).

Os sistemas de cultivos, as culturas antecedentes e o uso da inoculação complementada com nitrogênio potencializam a exploração do milho contribuindo para a produção e viabilidade de uma tecnologia aplicável a agricultura familiar, pelo aproveitamento de seus efeitos integrados e sinérgicos. Trazendo benefícios significativos para agricultores de Sergipe por se ter um cenário altamente favorável, com destacada necessidade de seu uso e importância de seus efeitos amplos abordados sob os diferentes aspectos relatados acima.

## REFERÊNCIAS

ABD-ALLA, M. H.; RASMEY, A. M. Indole-3-acetic acid (IAA) production by *Streptomyces atrovirens* isolated from rhizospheric soil in Egypt. **Journal of Biology and Earth Sciences**, v. 3, n. 2, p. B182-B193–B193, 2013.

- AGENCIA DE INFORMAÇÕES EMBRAPA. Destaques do Governo. n. 61, p. 70770, 2010.
- ALMEIDA, M.; GALVÃO, D.; BATISTA, N.; SILVA, A.; CARVALHO, H. **Relatório de Avaliação dos Impactos das Tecnologias Geradas pela Embrapa Zoneamento do milho em Sergipe** Embrapa Tabuleiros Costeiros-Documents (INFOTECA-E). Aracaju, SE, 2018.
- ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C.; NOVOTNY, E. H. Cultivo do Milho: Plantas de cobertura de solo. p. 1–3, 2002.
- ALVES, G. C.; SANTOS, C. L. R. DOS; ZILLI, J. E.; REIS JUNIOR, F. B. DOS; MARRIEL, I. E.; FARLEY, F. A.; BODDEY, R. M.; REIS, V. M. Agronomic evaluation of *Herbaspirillum seropedicae* strain ZAE94 as an inoculant to improve maize yield in Brazil. **Pedosphere**, v. 31, n. 4, p. 583–595, 2021.
- AMARAL, A. J.; SANTOS, J. C. P.; NETO, L. DE F. DA S.; RANGEL, J. H. DE A.; BARROS, A. H. C.; ZONTA, J. H. POTENCIALIDADES DA ZONA DA MATA E DO AGRESTE NORDESTINOS PARA A IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA- PECUÁRIA-FLORESTA. *In: Solos Sustentáveis para a Agricultura no Nordeste*. 1. ed. Brasília, DF: [s.n.]. p. 595.
- ANDOGNINI, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; WARMLING, M. I.; TELES, J. S.; SILVA, G. B. DA. Soil compaction effect on black oat yield in Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 44, p. 1–16, 2020.
- AQUINO, J. R. DE; ALVES, M. O.; VIDAL, M. DE F. Agricultura Familiar No Nordeste Do Brasil : Um Retrato Atualizado a Partir Dos Dados Do Censo Agropecuário 2017. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 51, n. suplemento especial, p. 31–54, 2020.
- ARRUDA, F. P. D. E.; HEIDY, M.; MATOS, M.; FARIAS, E. R. PRODUCTION INDICATORS OF GREEN CORN CULTIVARS AT DIFFERENT. v. 2125, p. 331–339, 2022.
- ASSUNÇÃO, S. **Sustentabilidade do uso de tecnologias para o cultivo de milho verde nos Tabuleiros Costeiros em Sergipe**. [s.l.] Universidade Federal de Sergipe, 2019.
- AUSTIN, A. T.; BUSTAMANTE, M. M. C.; NARDOTO, G. B.; MITRE, S. K.; PÉREZ, T.; OMETTO, J. P. H. B.; ASCARRUNZ, N. L.; FORTI, M. C.; LONGO, K.; GAVITO, M. E.; MARTINELLI, L. A. Latin America's Nitrogen Challenge. **SCIENCE**, p. 8, 2000.
- BABALOLA, O. O. Beneficial bacteria of agricultural importance. **Biotechnology Letters**, v. 32, n. 11, p. 1559–1570, 2010.
- BAGHDADI, A.; HALIM, R. A.; GHASEMZADEH, A.; RAMLAN, M. F.; SAKIMIN, S. Z. Impact of organic and inorganic fertilizers on the yield and quality of silage corn intercropped with soybean. **PeerJ**, v. 2018, n. 10, 2018.
- BALDANI, J. I.; CARUSO, L.; BALDANI, V. L. D.; GOI, S. R.; DOBEREINER, J. Recent advances in BNF with non-legume plants. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, n. 5–6, p. 911–922, 1997.
- BALLESTEROS, H. G. F.; ROSMAN, A. C.; CARVALHO, T. L. G.; GRATIVOL, C.; HEMERLY, A. S. Cell wall formation pathways are differentially regulated in sugarcane contrasting genotypes associated with endophytic diazotrophic bacteria. **Planta**, v. 254, n. 6, p. 1–21, 2021.

BARAIBAR, B.; MORTENSEN, D. A.; HUNTER, M. C.; BARBERCHECK, M. E.; KAYE, J. P.; FINNEY, D. M.; CURRAN, W. S.; BUNCHEK, J.; WHITE, C. M. Growing degree days and cover crop type explain weed biomass in winter cover crops. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 38, n. 6, 2018.

BARBOSA, M. A.; CASSIM, B. M. A. R.; ESPER NETO, M.; MINATO, E. A.; CAMPAROTO, R. DE O.; INOUE, T. T.; BATISTA, M. A. Nitrogen Fertilization in Soybean: Influence on Nutritional Status, Yield Components and Yield. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 52, n. 21, p. 2715–2723, 2021.

BARRIOS, S. C. L.; BALDANI, J. I. Avaliação da resposta de cultivares de Brachiaria brizantha a inoculação com bactérias diazotróficas para caracteres de produção de forragem e valor nutritivo. **Embrapa Gado de Corte**, n. 48, 2021.

BERGAMASCHI, C.; ROESCH, L. F. W.; QUADROS, P. D.; CAMARGO, F. A. O. Ocorrência de bactérias diazotróficas associadas a cultivares de sorgo forrageiro. **Ciência Rural**, v. 37, n. 3, p. 727–733, 2007.

BORGES, I.M.S; ALMEIDA, R.L.J; FERNANDES, A.C.G; SILVA, S.E; SILVA, M.L.A; BARROS, U.I.G; LIMA, C.A.O; REINALDO, L.R. L.R; GOMES, R.M. FREIRE, J. G. T. B. Agricultura familiar: análise de sustentabilidade através de indicadores sociais econômicos e ambientais. v. 2507, n. 1, p. 1–9, 2020.

BOUFFAUD, M. L.; RENOUD, S.; MOENNE-LOCCOZ, Y.; MULLER, D. Is plant evolutionary history impacting recruitment of diazotrophs and nifH expression in the rhizosphere? **Scientific Reports**, v. 6, n. November 2015, p. 1–9, 2016.

BRASIL. LEI Nº 11.326, DE 24 DE JULHO DE 2006. Regulamento. v. 4, p. 0–3, 2006.

\_\_\_\_\_. **DECRETO Nº 10.375, DE 26 DE MAIO DE 2020**, 2020.

BREDA, F.A, ALVES, G.C, REIS, V. M. Produtividade de milho na presença de doses de N e de inoculação de Herbaspirillum seropedicae. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 51, n. 1, p. 45–52, 2016.

CALZAVARA, A. K.; PAIVA, P. H. G.; GABRIEL, L. C.; OLIVEIRA, A. L. M.; MILANI, K.; OLIVEIRA, H. C.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A.; OLIVEIRA, M. C. N. DE; DIAS-PEREIRA, J.; STOLF-MOREIRA, R. Associative bacteria influence maize (*Zea mays* L.) growth, physiology and root anatomy under different nitrogen levels. **Plant Biology**, v. 20, n. 5, p. 870–878, 2018.

CATAPAN, A. Discussões sobre os conceitos de sustentabilidade e seus pilares / Discussions about sustainability concepts and their pillars. **Latin American Journal of Development**, v. 2, n. 6, p. 410–416, 2020.

CHEN, M.; ZHU, B.; LIN, L.; YANG, L.; LI, Y.; AN, Q. Complete genome sequence of *Kosakonia sacchari* type strain SP1T. **Standards in Genomic Sciences**, v. 9, n. 3, p. 1311–1318, 2015.

CLAVIJO, C.; CHIPANA, V.; CENTENO, J.; ZÚÑIGA, D.; GUILLÉN, C. europea " OLIVO " EN TACNA PERÚ ISOLATION, CHARACTERIZATION AND IDENTIFICATION OF DIAZOTROPHIC BACTERIA IN THE RHIZOSPHERE OF *Olea europea* " OLIVE " CROP IN TACNA PERU. **Ecología Aplicada**, v. 11, n. 2, 2012.

COELHO, ANTONIO MARCOS. Coelho2006\_milho-adubacao. p. 10, 2006.

CONAB. Boletim da Safra de Grãos. **Acompanhamento da safra 2018/19 brasileira de grãos - 12º levantamento**, v. 6, n. 12, p. 1–47, 2019.

\_\_\_\_\_. Acompanhamento da Safra Brasileira. **Boletim da Safra 2021**, v. 8, n. Terceiro levantamento, p. 59, 2021.

CONTINI, E.; MOTA, M. M.; MARRA, R.; BORGHI, E.; MIRANDA, R. A. DE; SILVA, A. F. DA; SILVA, D. D. DA; MACHADO, J. R. DE A.; COTA, L. V.; COSTA, R. V. DA; MENDES, S. M. Milho-Characterização e Desafios Tecnológicos. **Embrapa**, v. 5, n. 1, p. 1–45, 2019.

CORTÉS-PATIÑO, S.; VARGAS, C.; ÁLVAREZ-FLÓREZ, F.; BONILLA, R.; ESTRADA-BONILLA, G. Potential of herbaspirillum and azospirillum consortium to promote growth of perennial ryegrass under water deficit. **Microorganisms**, v. 9, n. 1, p. 1–16, 2021.

CUENCA, M. A. G.; DOMPIERI, M. H. G.; SANTOS, F. R. Expansão da Produção do Milho Região do Sertão Ocidental , no Cultivos na Região do Sertão Sergipe. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento- Embrapa tabuleiros Costeiros**, v. 120, p. 29, 2016.

DOTY, S. L.; SHER, A. W.; FLECK, N. D.; KHORASANI, M.; BUMGARNER, R. E.; KHAN, Z.; KO, A. W. K.; KIM, S. H.; DELUCA, T. H. Variable nitrogen fixation in wild Populus. **PLoS ONE**, v. 11, n. 5, p. 1–22, 2016.

EMBRAPA. Adubação Verde. n. 21, 2011.

EMBRAPA. Estratégias para a Agricultura Familiar Visão de futuro rumo à inovação Agricultura familiar , desafios e oportunidades rumo à inovação. 2020.

EMDAGRO, E. DE D. A. DE S. Cultura do milho. Informações estatísticas 2009 a 2018. 2020.

ESPÍNDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D. L. DE. **ISSN 0104-6187 Ministério da Agricultura e do Abastecimento Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia-CNPAB. Seropédica: Embrapa-Agrobiologia, 1997.**

FELESTRINO, ÉRICA B.; SANTIAGO, I. F.; FREITAS, L. DA S.; ROSA, L. H.; RIBEIRO, S. P.; MOREIRA, L. M. Plant growth promoting bacteria associated with Langsdorffia Hypogaea-Rhizosphere-Host biological interface: A neglected model of bacterial prospectation. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, n. FEB, p. 1–15, 2017.

FERNANDES-JÚNIOR, P. I.; AIDAR, S. DE T.; MORGANTE, C. V.; GAVA, C. A. T.; ZILLI, J. É.; SOUZA, L. S. B. DE; MARINHO, R. DE C. N.; NÓBREGA, R. S. A.; BRASIL, M. DA S.; SEIDO, S. L.; MARTINS, L. M. V. A planta revivescente Tripogon spicatus (Poaceae) abriga uma diversidade de bactérias promotoras de crescimento vegetal na caatinga, região nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 39, n. 4, p. 993–1002, 2015.

FORNAH, A.; ANDERSON, M.; HABIGER, J. The Relationship between Rhizobacteria Auxin Production and Wheat Biomass Productivity is Negative. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 52, n. 9, p. 985–997, 2021.

FREITAS, V. F. DE; CEREZINI, P.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Strategies to deal with drought-stress in biological nitrogen fixation in soybean. **Applied Soil Ecology**, v. 172, n. November 2021, p. 104352, 2022.

FULLER, A. M.; XU, S.; SUTHERLAND, L. A.; ESCHER, F. Land to the tiller: The sustainability of family farms. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 20, p. 1–24, 2021.

GALINDO, F.; STROCK, J.; PAGLIARI, P. Impacts of corn stover management and fertilizer application on soil nutrient availability and enzymatic activity. **Scientific Reports - Nature**, v. 12, p. 1985, 2022.

GARCÍA, A.; GUTIÉRREZ-MONTES, I.; NÚÑEZ, H.; SALAZAR, J.; CASANOVES, F. Relevance of local knowledge in decision-making and rural innovation : A methodological proposal for leveraging participation of Colombian cocoa producers. **Journal of Rural Studies**, v. 75, n. July 2019, p. 119–124, 2020.

GARCÍA DE SALAMONE, I. E.; FUNES, J. M.; SALVO, L. P. DI; ESCOBAR-ORTEGA, J. S.; D'AURIA, F.; FERRANDO, L.; FERNANDEZ-SCAVINO, A. Inoculation of paddy rice with *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens*: Impact of plant genotypes on rhizosphere microbial communities and field crop production. **Applied Soil Ecology**, v. 61, n. 2012, p. 196–204, 2012.

GAVILANES, F. Z.; SOUZA ANDRADE, D.; ZUCARELI, C.; HORÁCIO, E. H.; SARKIS YUNES, J.; BARBOSA, A. P.; ALVES, L. A. R.; CRUZATTY, L. G.; MADDELA, N. R.; GUIMARÃES, M. DE F. Co-inoculation of *Anabaena cylindrica* with *Azospirillum brasilense* increases grain yield of maize hybrids. **Rhizosphere**, v. 15, n. June, p. 100224, 2020.

GUPTA, G.; PANWAR, J.; JHA, P. N. Natural occurrence of *Pseudomonas aeruginosa*, a dominant cultivable diazotrophic endophytic bacterium colonizing *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. **Applied Soil Ecology**, v. 64, p. 252–261, 2013.

HE, D.; LU, C.; TONG, Z.; ZHONG, G.; MA, X. Research Progress of Minimal Tillage Method and Machine in China. **AgriEngineering**, v. 3, n. 3, p. 633–647, 2021.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasiliense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Londrina: [s.n.].

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, n. 1, p. 413–425, 2010.

IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola. v. 30, n. 0103-443X, p. 1–81, 2017.

\_\_\_\_\_. Indicadores IBGE - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (Março/2019). **Ibge**, p. 89, 2019.

IRFAN, S. A.; RAZALI, R.; KUSHAARI, K. Z.; MANSOR, N.; AZEEM, B.; FORD VERSYPT, A. N. A review of mathematical modeling and simulation of controlled-release fertilizers. **Journal of Controlled Release**, v. 271, n. December 2017, p. 45–54, 2018.

JONES, D. L.; HINSINGER, P. The rhizosphere: Complex by design. **Plant and Soil**, v. 312, n. 1–2, p. 1–6, 2008.

KAKABOUKI, I.; FOLINA, A.; ZISI, C.; KARYDOGIANNI, S. Fertilization expression via nitrogen indices in soybean crop under two system tillage. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 48, n. 2, p. 799–813, 2020.

KAMINSKY, L. M.; TREXLER, R. V.; MALIK, R. J.; HOCKETT, K. L.; BELL, T. H. The Inherent Conflicts in Developing Soil Microbial Inoculants. **Trends in Biotechnology**, v. 37,

n. 2, p. 140–151, 2019.

KANEKO, F. H.; SABUNDJIAN, M. T.; ARF, O.; FERREIRA, J. P.; GITTI, D. C.; NASCIMENTO, V.; LEAL, A. J. F. Análise Econômica do Milho em Função da Inoculação com *Azospirillum*, Fontes e Doses de N em Cerrado de Baixa Altitude. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 1, p. 23–37, 2015.

KUMAR, M.; KOUR, D.; YADAV, A. N.; SAXENA, R.; RAI, P. K.; JYOTI, A.; TOMAR, R. S. Biodiversity of methylotrophic microbial communities and their potential role in mitigation of abiotic stresses in plants. **Biologia**, v. 74, n. 3, p. 287–308, 2019.

LÁZARO, R. DE L.; COSTA, A. C. T. DA; SILVA, K. DE F. DA; SARTO, M. V. M.; DUARTE JÚNIOR, J. B. Produtividade de milho cultivado em sucessão à adubação verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 1, p. 10–17, 2013.

LI, L.; ZOU, Y.; WANG, Y.; CHEN, F.; XING, G. Effects of Corn Intercropping with Soybean/Peanut/Millet on the Biomass and Yield of Corn under Fertilizer Reduction. **Agriculture (Switzerland)**, v. 12, n. 2, 2022.

LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. APARECIDO D. C. **Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil Fundamentos e Prática**. Brasília DF: [s.n.]. v. 1

LOSS, A.; JUNIOR, E. D. S.; SCHMITZ, D.; VEIGA, M. DA; KURTZ, C.; COMIN, J. J. Atributos físicos do solo em cultivo de cebola sob sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 11, n. 1, p. 105–113, 2017.

LOUREIRO, J.P.B; SANTOS, M.A.S; RODRIGUES, H.E; SOUZA, C.CF; REBELLO, F. K. Avaliação de sistemas de manejo de recursos naturais com base em indicadores de sustentabilidade: Uma revisão sistemática da literatura sobre o uso do método MESMIS. v. 2507, n. 1, p. 1–9, 2020.

LUZ, F. B. DA; SILVA, V. R. DA; KOCHER MALLMANN, F. J.; BONINI PIRES, C. A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; CHERUBIN, M. R. Monitoring soil quality changes in diversified agricultural cropping systems by the Soil Management Assessment Framework (SMAF) in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 281, n. May, p. 100–110, 2019.

MALGIOGLIO, G.; RIZZO, G. F.; NIGRO, S.; PREY, V. L. DU; HERFORTH-RAHMÉ, J.; CATARA, V.; BRANCA, F. Plant-Microbe Interaction in Sustainable Agriculture: The Factors That May Influence the Efficacy of PGPM Application. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 4, p. 1–28, 2022.

MAREQUE, C.; TAULÉ, C.; BERACOCHEA, M.; BATTISTONI, F. Isolation, characterization and plant growth promotion effects of putative bacterial endophytes associated with sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench). **Annals of Microbiology**, v. 65, n. 2, p. 1057–1067, 2015.

MASSAD, M. D.; OLIVEIRA, F. L. DE; FÁVERO, C.; DUTRA, T. R.; MATEUS, A. L. Desempenho de milho verde em sucessão a adubação verde com crotalária, submetido a doses crescentes de esterco bovino, na caatinga mineira Performance of corn after green manuring with sun hemp and doses of cattle manure in the semiarid. **Magistra**, v. 26, n. 3, p. 322–332, 2014.

MÁXIMO, JOSÉ, P.; DE, M.; PINTO, A. A.; THOMAZ, F.; MOTA, M. D.; EDCARLA, F.;

NICOLAU, D. A. Revista de Agricultura Neotropical Adubação nitrogenada em cobertura em dois cultivares de milho no. p. 23–28, 2019.

MENDES, J. D. S.; FERNANDES, J. D.; CHAVES, L. H. G.; TITO, G. A.; GUERRA, H. O. C. Effect of poultry litter biochar on the nutritional status of corn1. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 4, p. 916–925, 2021.

MENDOZA-FERN, A. J.; PEÑA-FERN, A.; MOLINA, L.; AGUILERA, P. A. The Role of Technology in Greenhouse Agriculture : Towards a Sustainable Intensification in Campo de Dal í as ( Almer í a , Spain ). p. 1–14, 2021.

MONTEIRO, R. A.; SCHMIDT, M. A.; BAURA, V. A. DE; BALSANELLI, E.; WASSEM, R.; YATES, M. G.; RANDI, M. A. F.; PEDROSA, F. O.; SOUZA, E. M. DE. Early colonization pattern of maize (*Zea mays* L. Poales, Poaceae) roots by *Herbaspirillum seropedicae* (Burkholderiales, Oxalobacteraceae). **Genetics and Molecular Biology**, v. 31, n. 4, p. 932–937, 2008.

NASCIMENTO, G.; SOUZA, T. A. F. DE; SILVA, L. J. R. DA; SANTOS, D. Soil physico-chemical properties, biomass production, and root density in a green manure farming system from tropical ecosystem, North-eastern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 21, n. 6, p. 2203–2211, 2021.

NEVES, J. F.; NEVES, S. M. A. DA S.; SEABRA JÚNIOR, S.; SCHEUER, J. M.; BOTTI, N. S. Milho Verde Na Agricultura Familiar Em Cáceres-Mt: Desafios E Perspectivas Para O Desenvolvimento Rural. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 17, n. 3, p. 438–451, 2021.

NUNES, A. T.; PAIVADE LUCENA, R. F.; FERREIRA DOS SANTOS, M. V.; ALBUQUERQUE, U. P. Local knowledge about fodder plants in the semi-arid region of Northeastern Brazil. **Journal of ethnobiology and ethnomedicine**, v. 11, n. 1, p. 12, 2015.

NUNES, D. O.; FAVARO, J. H. D. S.; CHARLO, H. C. D. O.; LOSS, A.; BARRETO, A. C.; TORRES, J. L. R. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Green and sweet corn grown under different cover crops and phases of the no-tillage system 1 Milhos verde e doce cultivados sob diferentes coberturas e estádios do sistema de plantio direto. p. 173–179, 2022.

OLIVEIRA, A. L. M. DE; COSTA, K. D. R.; FERREIRA, D. C.; MILANI, K. M. L.; SANTOS, O. J. A. P. DOS; SILVA, M. B.; ZULUAGA, M. Y. A. Aplicações da biodiversidade bacteriana do solo para a sustentabilidade da agricultura. **BBR - Biochemistry and Biotechnology Reports**, v. 3, n. 1, p. 56, 2014.

OLIVEIRA, D.; ALMEIDA, M.; MANOS, M.; BATISTA, N.; CARVALHO, P.; SILVA, A.; CARVALHO, H.; SILVA, M. **Relatório de avaliação dos impactos das tecnologias geradas pela Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia** Aracaju, SEEmbrapa Tabuleiros Costeiros, , 2019.

OLIVEIRA, F. C. C.; PEDROTTI, A.; FELIX, A. G. S.; SOUZA, J. L. S.; HOLANDA, F. S. R.; MELLO, A. V. Chemical characteristics of Ultisols and the corn yield at Costal Plains of Sergipe, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 3, p. 354–360, 2017.

OLIVEIRA, F. DE A.; SILVA, J. C.; SANTOS, D. P. DOS; BARRETO, J. A. S.; SILVA, C. B. DA; SANTOS, M. A. L. DOS; SANTOS, V. R. DOS. Níveis crescentes de irrigação e maior densidade de plantas aumentam a produtividade do milho verde. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 43371–43381, 2020.

- OLIVEIRA, W. C. DE; BERTOLINI, G. R. F. Uma revisão sistemática sobre a contribuição das cooperativas para a sustentabilidade da agricultura familiar. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, p. e43411226098, 2022.
- OUYANG, L.; PEI, H.; XU, Z. Low nitrogen stress stimulating the indole-3-acetic acid biosynthesis of *Serratia* sp. ZM is vital for the survival of the bacterium and its plant growth-promoting characteristic. **Archives of Microbiology**, v. 199, n. 3, p. 425–432, 2017.
- OYEBIYI, F. B.; AULA, L.; OMARA, P.; NAMBI, E.; DHILLON, J. S.; RAUN, W. R. Maize (*Zea mays* L.) Grain Yield Response to Methods of Nitrogen Fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 50, n. 21, p. 2694–2700, 2019.
- PACHECO, C. A. P; CARVALHO, H. W. L; CARDOSO, J.M; ROCHA, L. M. P. Sistema de Produção de Milho para a Zona da Mata e Agreste Nordestinos Cultivares. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa**, n. 1678– 197X 5, p. 1–11, 2017.
- PANDOLFO, C.; VOGT, G.; BALBINOT JUNIOR, A.; GALLOTTI, G.; ZOLDAN, S. Desempenho de milho inoculado com *Azospirillum brasiliense* associado a doses de nitrogênio em cobertura. n. 43, p. 94–99, 2014.
- PEDRAZA, R. O.; FILIPPONE, M. P.; FONTANA, C.; SALAZAR, S. M.; RAMÍREZ-MATA, A.; SIERRA-CACHO, D.; BACA, B. E. **Chapter 6 - Azospirillum**. [s.l.] Elsevier Inc., 2020.
- PEDROTTI, A.; FILHO, R. N. DE A.; ASSUNÇÃO, S. J. R.; RESENDE, S. C.; FILHO, R. R. G.; OLIVEIRA, F. C. C. DE; HOLANDA, F. S. R.; SANTOS, D.; DIAS, J. L. A.; SANTANA, A. P. S. DE. Productivity of Sweet Maize (*Zea mays* L.) under Previous Crops and Cropping Systems in the Brazilian Northeast. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 26, n. 1, p. 1–9, 2018.
- PEREIRA, F. DO A. **Coleção Plantar Milho-Verde**. 59. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.
- PEREIRA FILHO, I. A. **Árvore do conhecimento: milho verde**. Agência Embrapa de informação Tecnológica, , 2022. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONT000fy779fnk02wx5ok0pvo4k3c1v9rbg.html>>
- POSSAMAI, E. J.; CONCEIÇÃO, P. C.; AMADORI, C.; BARTZ, M. L. C.; RALISCH, R.; VICENSI, M.; MARX, E. F. Adoption of the no-tillage system in Paraná State: A (re)view. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 46, p. 1–24, 2022.
- PRABURAMAN, L.; PARK, S. H.; CHO, M.; LEE, K. J.; KO, J. A.; HAN, S. S.; LEE, S. H.; KAMALA-KANNAN, S.; OH, B. T. Significance of diazotrophic plant growth-promoting *Herbaspirillum* sp. GW103 on phytoextraction of Pb and Zn by *Zea mays* L. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 3, p. 3172–3180, 2017.
- PRAKAMHANG, J.; MINAMISAWA, K.; TEAMTAISONG, K.; BOONKERD, N.; TEAUMROONG, N. The communities of endophytic diazotrophic bacteria in cultivated rice (*Oryza sativa* L.). **Applied Soil Ecology**, v. 42, n. 2, p. 141–149, 2009.
- REIS, V.M; TEIXEIRA, K. R. S. Fixação Biológica de Nitrogênio – Estado da Arte. *In: Processos Biológicos no sistema solo-planta*. [s.l: s.n.]. p. 151–180.
- ROLÓN-CÁRDENAS, G. A.; ARVIZU-GÓMEZ, J. L.; SORIA-GUERRA, R. E.; PACHECO-AGUILAR, J. R.; ALATORRE-COBOS, F.; HERNÁNDEZ-MORALES, A. The

role of auxins and auxin-producing bacteria in the tolerance and accumulation of cadmium by plants. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 4, 2022.

ROSKOVA, Z.; SKAROHLID, R.; MCGACHY, L. Siderophores: an alternative bioremediation strategy? **Science of the Total Environment**, v. 819, p. 153144, 2022.

SABRI, N.; KASSIM, N. S.; IBRAHIM, S.; ROSLAN, R.; MANGSHOR, N. N. A.; IBRAHIM, Z. Nutrient deficiency detection in maize (*Zea mays* L.) leaves using image processing. **IAES International Journal of Artificial Intelligence**, v. 9, n. 2, p. 304–309, 2020.

SALOMÃO, P. E. A.; KRIEBEL, W.; SANTOS, A. A. DOS; MARTINS, A. C. E. A importância do sistema de plantio direto na palha para reestruturação do solo e restauração da matéria orgânica. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, p. e154911870, 2020.

SANTANA, A. P. S. **ASPECTOS DA SUSTENTABILIDADE NAS EXPLORAÇÕES DO MILHO EM ASSENTAMENTOS RURAIS NO CENTRO OESTE DE SERGIPE**. [s.l.] Universidade Federal de Sergipe, 2019.

SANTOS, F. C.; AKER, A. M.; SIMEÃO, R. M.; RODRIGUES, J. A. S.; MENEZES, C. B.; GUIMARÃES, L. J. M.; PEREIRA, A. F.; DIAS, W. P.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; VASCONCELOS, A. A.; OLIVEIRA, I. C. M.; JULIO, B. H. M. Avaliação preliminar da adaptação de culturas anuais e forrageiras às condições edafoclimáticas do Sul do Oeste baiano. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Milho e Sorgo**, v. 1, n. 1518–4277, p. 32, 2019.

SARKAR, A.; WANG, H.; RAHMAN, A.; MEMON, W. H.; QIAN, L. A bibliometric analysis of sustainable agriculture: based on the Web of Science (WOS) platform. **Environmental Science and Pollution Research**, n. 0123456789, 2022.

SASHIDHAR, B.; PODILE, A. R. Mineral phosphate solubilization by rhizosphere bacteria and scope for manipulation of the direct oxidation pathway involving glucose dehydrogenase. **Journal of Applied Microbiology**, v. 109, n. 1, p. 1–12, 2010.

SHAHZAD, S. M.; ARIF, M. S.; RIAZ, M.; IQBAL, Z.; ASHRAF, M. PGPR with varied ACC-deaminase activity induced different growth and yield response in maize (*Zea mays* L.) under fertilized conditions. **European Journal of Soil Biology**, v. 57, p. 27–34, 2013.

SHAO, J.; LI, S.; ZHANG, N.; CUI, X.; ZHOU, X.; ZHANG, G.; SHEN, Q.; ZHANG, R. Analysis and cloning of the synthetic pathway of the phytohormone indole-3-acetic acid in the plant-beneficial *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9. **Microbial Cell Factories**, v. 14, n. 1, p. 1–13, 2015.

SHARMA, B.S.;SAYYED, R.Z.;TRIVEDI, M.H.;GOBI, T. A. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils Seema. **Journal of Clinical Microbiology**, v. 35, n. 12, p. 3305–3307, 2013.

SHRIVASTAVA, P.; KUMAR, R. Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 22, n. 2, p. 123–131, 2015.

SILVA, C. B.; SILVA, J. C. DA; OLIVEIRA, F. DE A.; BARRETO, J. A. DOS S.; SANTOS, D. P. DOS; SANTOS, M. A. L. DOS. Milho verde em região semiárida: Práticas relacionadas a produção agrícola. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 41078–41088, 2020.

- SILVA, E. C. DA; MURAOKA, T.; VILLANUEVA, F. C. A.; ESPINAL, F. S. C. Aproveitamento de nitrogênio pelo milho, em razão da adubação verde, nitrogenada e fosfatada. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 44, n. 2, p. 118–127, 2009.
- SILVA, J. F. Caracterização polifásica de bactérias promotoras de crescimento vegetal associados ao sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e ao milheto (*Penisetum glaucum* (L.) R. Brown) cultivados no Sertão Pernambuco. p. 112, 2017.
- SILVA, J. F. DA; SILVA, T. R. DA; ESCOBAR, I. E. C.; FRAIZ, A. C. R.; SANTOS, J. W. M. DOS; NASCIMENTO, T. R. DO; SANTOS, J. M. R. DOS; PETERS, S. J. W.; MELO, R. F. DE; SIGNOR, D.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I. Screening of plant growth promotion ability among bacteria isolated from field-grown sorghum under different managements in Brazilian drylands. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 34, n. 12, p. 0, 2018.
- SILVA, T. L.; NETTO, A. O. A.; GONZAGA, M. I. S.; PACHECO, E. P.; SILVA, T. O.; CARVALHO, C. M. Soil chemical quality in irrigated agricultural areas. **Revista Brasileirade Ciencias Agrarias**, v. 14, n. 1, p. 1–8, 2019.
- SILVEIRA, B. D. S.; TORRES, J. L. R.; ORIOLI JÚNIOR, V.; FAVARO, J. H. D. S.; COSTA, L. L.; CHARLO, H. C. D. O. Cover crops in the production of green and sweet corn. **Horticultura Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 94–101, 2021.
- SIMPSON, R. J. *et al.* **Strategies and agronomic interventions to improve the phosphorus-use efficiency of farming systems**. [s.l: s.n.]. v. 349
- SOARES, I. F.; MELO, A. C.; CHAVES, A. D. C. G. A AGRICULTURA FAMILIAR: Uma alternativa para o desenvolvimento sustentável no município de Condado – PB. **Amazônia, Organizações e Sustentabilidade**, v. 8, n. 1, p. 07, 2009.
- SOUSSI, A.; FERJANI, R.; MARASCO, R.; GUESMI, A.; CHERIF, H.; ROLLI, E.; MAPELLI, F.; OUZARI, H. I.; DAFFONCHIO, D.; CHERIF, A. Plant-associated microbiomes in arid lands: diversity, ecology and biotechnological potential. **Plant and Soil**, v. 405, n. 1–2, p. 357–370, 2016.
- SOUZA MOREIRA, F. M. DE; SILVA, K. DA; N??BREGA, R. S. A.; CARVALHO, F. DE. Bact??rias diazotr??ficas associativas: Diversidade, ecologia e potencial de aplica???. **Comunicata Scientiae**, v. 1, n. 2, p. 74–99, 2010.
- SUGAWARA, S. *et al.* Distinct Characteristics of Indole-3-Acetic Acid and Phenylacetic Acid, Two Common Auxins in Plants. **Plant and Cell Physiology**, v. 56, n. 8, p. 1641–1654, 2015.
- SUN, Y.; WU, J.; SHANG, X.; XUE, L.; JI, G.; CHANG, S.; NIU, J.; EMANEGHEMI, B. Screening of Siderophore-Producing Bacteria and Their Effects on Promoting the Growth of Plants. **Current Microbiology**, v. 79, n. 5, p. 1–12, 2022.
- TELLES, T. S.; RIGHETTO, A. J.; LOURENÇO, M. A. P.; BARBOSA, G. M. C. No-tillage system participatory quality index. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 128–133, 2020.
- TRABELSI, D.; MHAMDI, R. Microbial inoculants and their impact on soil microbial communities: A review. **BioMed Research International**, v. 2013, 2013.
- ULLAH, A.; MUSHTAQ, H.; ALI, H.; MUNIS, M. F. H.; JAVED, M. T.; CHAUDHARY, H. J. Diazotrophs-assisted phytoremediation of heavy metals: a novel approach.

**Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 4, p. 2505–2514, 2015.

WANDERLEY, M. Raízes históricas do campesinato brasileiro. **XX Encontro anual da ANPOCS. GT 17. Processo sociais agrários.**, p. 18, 1996.

WANDERLEY, M. D. N. B. Agricultura familiar e campesinato: rupturas e continuidade. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. outubro, n. 21, p. 20, 2003.

WANG, W.; QIU, Z.; TAN, H.; CAO, L. Siderophore production by actinobacteria. **BioMetals**, v. 27, n. 4, p. 623–631, 2014.

WANG, X. Managing Land Carrying Capacity: Key to Achieving Sustainable Production Systems for Food Security. **Land**, v. 11, n. 4, p. 484, 2022.

XIONG, P.; ZHANG, Z.; HALLETT, P. D.; PENG, X. Variable responses of maize root architecture in elite cultivars due to soil compaction and moisture. **Plant and Soil**, v. 455, n. 1–2, p. 79–91, 2020.

ZAHAIKEVITCH, E. V.; MACEDO, L. M.; TELLES, L. B.; BITTENCOURT, J. V. M.; ZAHAIKEVITCH, A. G. V. Contemporary Public Policies to Strengthen Family Farming in the International Perspective: A Bibliometric Study. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, v. 8, n. 1, 2022.

ZHANG, S.; ZHANG, Y.; WANG, Y.; HAO, Y.; SU, W.; SUN, G.; LIU, H.; CHEN, R.; SONG, S. Nitrogen Absorption Pattern Detection and Expression Analysis of Nitrate Transporters in Flowering Chinese Cabbage. **Horticulturae**, v. 8, n. 3, 2022.

ZULUAGA, M. Y. A.; MILANI, K. M. L.; GONÇALVES, L. S. A.; OLIVEIRA, A. L. M. DE. Diversity and plant growth-promoting functions of diazotrophic/N-scavenging bacteria isolated from the soils and rhizospheres of two species of Solanum. **PLoS ONE**, v. 15, n. 1, p. 1–25, 2020.

**CAPÍTULO II- EFICIÊNCIA DO USO DE INOCULANTES E PRÁTICAS  
DE CULTIVO PARA PRODUTIVIDADE DO MILHO VERDE**

## Diferentes sistemas de cultivo, culturas antecedentes e inoculação de *Herbaspirillum seropedicae* na produtividade do milho verde em experimento de longa duração

### Resumo

O nitrogênio é um dos nutrientes mais caros usado em culturas agrícolas. Este nutriente apresenta baixa absorção pelas plantas, acarreta problemas em condições de campo por perdas ao subsolo e poluição ambiental, além da emissão de gases poluentes. Entre as estratégias para um manejo sustentável do solo destaca-se a ampliação da oferta de insumos biológicos de alta eficiência. O presente estudo objetivou avaliar a associação entre sistemas de cultivos, culturas antecedentes e inoculação de *Herbaspirillum seropedicae* pela determinação da produtividade em milho. Avaliou-se as variáveis do experimento de longa duração implantado em 2001, os resultados correspondem a 19ª safra do milho verde. O delineamento experimental adotado consiste em faixas experimentais com parcelas subdivididas, onde implantou-se nas faixas os sistemas de cultivo: convencional, mínimo e plantio direto, e nas parcelas subdivididas as culturas antecedentes: crotalária (*Crotalaria juncea* L.), caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) e milheto (*Pennisetum americanum* L.), aleatorizadas em 3 repetições. Após 90 dias realizou-se a preparação do solo de acordo os sistemas de cultivo analisados e as sementes da cultivar BM 3051 do milho verde foram semeadas manualmente. Foram adotados 4 tratamentos de adubação, com presença e ausência de N e de inoculante de *H. seropedicae* BR 11417, combinados. Avaliou-se a produtividade do milho verde pelo número total de plantas, número e peso de espigas comerciais. As respostas a adubação associada as diferentes formas de manejo do solo demonstram a compensação nutricional de N por meio da fixação biológica, que foi ressaltada na presença de inoculante combinado ao fertilizante mineral. Essa combinação proporcionou condições favoráveis a produtividade do milho. Destaca-se que as culturas antecedentes, crotalária e milheto possibilitaram a melhor condição de produtividade em sistema de manejo convencional e conservacionista. O Plantio direto se destacou quando associado a cultura antecedente crotalária e inoculação de *H. seropedicae*. A associação entre sistemas de cultivo, culturas antecedentes e inoculação de *H. seropedicae* favorece aumentos dos parâmetros da produtividade do milho verde.

Palavras-chave: *Zea mays*, bactérias diazotróficas, adubação verde, sistemas de Manejo.

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente busca por fontes de alimentos vem acompanhando o desenvolvimento global. Um dos desafios significativos da produção agrícola para atender a demanda por alimentos é manter altas produtividades com o menor impacto ambiental possível (Cunha *et al.*, 2021; Ferrarezi *et al.*, 2022). A fim de atender essa crescente demanda métodos eficazes como controle de pragas e doenças, gestão de água e fertilizantes, e melhoramento de novas variedades, foram implementados para melhorar a produção (Peng *et al.*, 2020). Reduzir a fome com práticas agrícolas sustentáveis é um dos objetivos para o desenvolvimento sustentável integrante da agenda 2030, devido à alta demanda de alimentos (Mendoza-fern *et al.*, 2021).

O milho (*Zea mays* L.) é uma gramínea pertencente à família Poaceae, originária da América Central ou México (Silva *et al.*, 2020). Nas últimas décadas, o milho alcançou o patamar de maior cultura agrícola do mundo sendo a única a ter ultrapassado a marca de 1 bilhão de toneladas, superando antigos concorrentes, como o arroz e o trigo (Contini *et al.*, 2019).

Considerado como um alimento básico muito importante, o milho pode se adaptar a diferentes tipos de ambiente. Fornece nutrientes completos aos humanos e animais (Sabri *et al.*, 2020). Sua importância se estende também a aplicações na indústria de alta tecnologia. O Brasil se destaca no cenário mundial de exportação do milho, sendo o país que mais exportou este cereal em 2019 (CONAB, 2019).

Além da produção de milho em grãos, o consumo do milho em espiga popularmente conhecido como milho verde, proveniente da agricultura familiar, vem aumentando de forma significativa em função da sua lucratividade (Nunes *et al.*, 2022). O valor de comercialização do milho verde é maior comparado ao milho na forma de grãos secos (Oliveira *et al.*, 2020). Esta cultura é fortemente disseminada no estado de Sergipe, apresentando relevância alimentar, econômica e social (Pedrotti *et al.*, 2018).

A produção global de milho (*Zea mays* L.) é limitada pela disponibilidade de água e nutrientes (Baghdadi *et al.*, 2018). No mundo em desenvolvimento, a aplicação de fertilizantes é comumente obtida transmitindo nutrientes para a superfície do solo sem incorporação (Li *et al.*, 2022). Uma fonte de nitrogênio (N) comumente usada é a ureia e, se não for incorporada, pode sustentar as perdas de N por meio da volatilização da amônia e diminuir os rendimentos das culturas (Oyebiyi *et al.*, 2019).

O nitrogênio além de ser um dos nutrientes mais caros para o aumento no rendimento de culturas agrícolas não leguminosas, com baixa absorção pelas plantas (Nunes *et al.*, 2021),

pode acarretar problemas em condições de campo por perdas ao subsolo e poluição ambiental no abastecimento de água, além do aquecimento pela conversão dos fertilizantes nitrogenados e emissão de gases poluentes (Breda *et al.*, 2016). O uso de fertilizante nitrogenado pelo milho é 50% menos eficiente, deixando uma parte significativa para o escoamento ambiental (Waller *et al.*, 2020). A taxa de mineralização de N deve ocorrer em sincronia com a demanda da cultura (Salgado *et al.*, 2021).

Entre as estratégias para um manejo mais sustentável do solo uma das alternativas à diminuição da dependência da agricultura brasileira por fertilizantes minerais e por agroquímicos é a ampliação da oferta de insumos biológicos de alta eficiência (Oliveira *et al.*, 2014), contribuindo para a estabilização da produção agrícola, sustentabilidade do solo, além da menor dependência de insumos externos (Tiecher, 2016).

Os sistemas de cultivo vêm sendo adotados como práticas conservacionistas entre eles o Plantio Direto (PD) e o Cultivo Mínimo do solo (CM) que tem gerado resultados positivos na produtividade da cultura do milho, principalmente quando associados às culturas antecedentes (Oliveira *et al.*, 2017; Telles *et al.*, 2020) e minimizando impactos causados como a perda de carbono decorrente dos sistemas de cultivo convencional (Medeiros *et al.*, 2020).

Para viabilizar o manejo sustentável e a preservação da fertilidade natural dos solos, a presença de resíduos culturais é uma das principais estratégias de manejo para a proteção e manutenção da sustentabilidade do solo, sendo necessário que as culturas antecedentes, de rotação ou sucessão sejam espécies adaptadas as condições edafoclimáticas locais e com boa produção de fitomassa (Nascimento *et al.*, 2021). O uso de culturas antecedentes favorece o aumento do teor de matéria orgânica, da capacidade de troca de cátions e da disponibilidade de macro e micronutrientes, auxilia na melhoria da infiltração de água e aeração, diminuição diurna da amplitude de variação térmica, além do controle de nematoides (Herrada, Leandro e Ferreira, 2017).

As plantas de cobertura são utilizadas para formação de palhada e incorporação ou reciclagem de nutrientes no solo (Bertolino *et al.*, 2021), absorvem nutrientes das camadas subsuperficiais do solo e os liberam, posteriormente, na camada superficial pela decomposição dos resíduos, representando uma alternativa para aumentar a sustentabilidade dos modelos de produção agrícola, podendo restituir os nutrientes aos cultivos (Delazeri *et al.*, 2020).

Algumas abordagens que podem ajudar a aumentar a produtividade das culturas e mitigar alguns dos efeitos adversos da aplicação de N, incluindo a inoculação com bactérias diazotróficas selecionadas que podem estimular o crescimento das plantas e o uso do nutriente

pelas plantas (Cunha *et al.*, 2021; Ferrarezi *et al.*, 2022; Waller *et al.*, 2021). Contudo, seu efeito pode variar de acordo com o estágio de desenvolvimento ou tipo de fertilizante aplicado.

O inoculante utiliza micro-organismos vivos, capazes de promover o crescimento vegetal de forma direta ou indireta, por meio de diferentes mecanismos, tais como: fixação biológica de nitrogênio, produção de fito-hormônios, solubilização de fosfato e bio-controle como aumento da resistência contra estresses e modulação da expressão de gene vegetal (Cunha *et al.*, 2021; Waller *et al.*, 2021; Zuluaga *et al.*, 2020). Reduzem o uso de fertilizantes nitrogenados e custos de produção por serem formulados com bactérias diazotróficas que fixam o nitrogênio atmosférico e disponibilizam as plantas (Hungria, 2011).

A tecnologia de inoculação de bactérias diazotróficas foi inicialmente disseminada para Fabáceas como a soja pela interação simbiótica (Baldani *et al.*, 1997), mas este grupo de bactérias pode colonizar a rizosfera de várias leguminosas e não leguminosas (Goswami e Deka, 2020). As associações de bactérias diazotróficas com não leguminosas, especialmente cereais, têm sido um tópico de intenso interesse por mais de um século dada a sua importância em reduzir a necessidade de fertilizantes nitrogenados (Bennett, Pankievicz e Ané, 2020).

Esta tecnologia vem sendo largamente difundida para Poáceas apresentando respostas positivas para inoculação de *Herbaspirillum seropedicae* para diferentes culturas de poáceas incluindo milho, além da coinoculação das diferentes espécies potencializando a promoção do crescimento das plantas (Breda, Alves e Reis, 2016; Gavilanes *et al.*, 2020).

*Herbaspirillum seropedicae* é considerada uma espécie adaptada aos solos tropicais brasileiros (Alves *et al.*, 2021), esta espécie de bactéria pode apresentar efeito potencial para inoculação em benefícios ao aumento radicular e crescimento vegetal (Cunha *et al.*, 2021). Além disso, apresenta a vantagem de fixação de N em faixa de pH mais ampla (5,3-8,0) do que *Azospirillum sp.* mais tradicionalmente indicado a inoculação do milho (Waller *et al.*, 2021).

As principais restrições para o amplo uso de inoculantes bacterianos são devido ao limitado conhecimento sobre a variabilidade na estrutura, composição e função do microbioma da planta sujeito à influência dos genótipos da planta em diferentes comunidades microbianas do solo e condições edafoclimáticas (Zuluaga *et al.*, 2020). A garantia da eficiência dos inoculantes microbianos é um dos desafios desta tecnologia devido a ecologia do inoculante não está suficientemente integrada na seleção e produção microbiana (Kaminsky *et al.*, 2019). A colonização radicular de *Herbaspirillum seropedicae* é modulada pela expressão de enzimas envolvidas nas respostas ao estresse, que refletem no efeitos de crescimento e desenvolvimento das plantas colonizadas (Nunes *et al.*, 2021).

O desenvolvimento de novas tecnologias está entre as melhores estratégias para a sustentabilidade na agricultura e manutenção da fertilidade dos solos, sendo constante a busca por determinar tecnologias viáveis à realidade local. Estas tecnologias precisam se adequar as condições edafoclimáticas da região de cultivo, sendo necessário que a combinação de diferentes estratégias seja avaliada individualmente para garantia da melhor produtividade, em um sistema de produção mais sustentável. Diante disso, objetivou-se avaliar a eficiência da associação da inoculação de *Herbaspirillum seropedicae* com uso de culturas antecedentes nos sistemas de cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto pela determinação da produtividade em milho.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Implantação e delineamento experimental**

Em 2001 implantou-se um experimento no “Campus Rural” - Fazenda Experimental da Universidade Federal de Sergipe (10°55’S e 37°11’O). Este experimento vem sendo conduzido há 21 anos. Os resultados apresentados neste trabalho se referem ao 19° ano de cultivo. O solo do local, de acordo com Embrapa (1999) é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, derivado de sedimentos do grupo Barreiras.

O delineamento experimental adotado consiste em faixas experimentais com subparcelas divididas (Pimentel Gomes, 1990), onde nas faixas há a implantação de três sistemas de cultivo: cultivo convencional (CC), mínimo (CM) e o plantio direto (PD) que se diferem pelas formas de preparação do solo, e nas parcelas subdivididas as culturas antecedentes crotalária (*Crotalaria juncea* L.), caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) e milheto (*Pennisetum americanum* L.) aleatorizadas dentro de cada faixa em três repetições

Cada faixa possui 84x10 m, sendo dividida em 12 parcelas com área de 60 m<sup>2</sup>, espaçadas entre si a cada 1 m, para receber as culturas antecedentes. As culturas antecedentes foram, anualmente, semeadas (espaçamento médio de 0,5 m na linha e 0,2 m na entrelinha) entre os meses de janeiro a abril. Após 90 dias em campo, as plantas foram cortadas e aportadas ao solo. Cada faixa experimental foi, anualmente, preparada de acordo com o sistema de cultivo a ser avaliado.

No CC utilizou-se grade niveladora, seguida de aradora e grade niveladora, no CM, utilizou-se grade niveladora leve fechada e no PD, após o 1° ano de condução do experimento, nenhum implemento de preparo do solo foi utilizado. No PD, as plantas daninhas foram

controladas por capina manual associada ao uso de herbicidas de ação total (antes da semeadura - *Glyphosate*) ou seletivo (após semeadura do milho - *Nicosulfuron*).

A semeadura do milho foi realizada manualmente com espaçamento médio de 0,2 m na linha e 0,8 m na entrelinha. A semente utilizada foi a variedade híbrido convencional para consumo de milho-verde e produção de silagem BM3051 (Biomatrix) tratada previamente com lagarticida (Tiodicarbe e Imidacloprido) CropStar.

Para adubação nitrogenada foram adotados quatro tratamentos que diferiram dos últimos 18 anos avaliados onde foi associada à tecnologia da inoculação da bactéria *Herbaspirillum seropedicae* com a adição de N na forma de ureia, nos anos anteriores não era utilizada nenhum tipo de inoculação sendo feita apenas adubação mineral de N.

Os tratamentos consistiram em tratamento com presença e ausência de N e inoculante, combinados: (1) 50% da dose recomendada de N, com inoculante; (2) Inoculante sem fonte de N; (3) Nitrogênio da dose total recomendada, sem inoculante; e (4) Controle. Empregou-se a combinação de Sistemas de Cultivo: (1) Cultivo Convencional (CC); Cultivo Mínimo (CM) e Plantio Direto (PD). Os tratamentos anteriores foram combinados com o plantio de culturas antecedentes: (A) Crotalária; (b) Milheto; (C) Caupi e (D) Guandu. Assim, ao total foram combinados para compor os tratamentos 4 tratamentos para fonte de N, 3 para s sistemas de cultivo e 4 culturas, perfazendo um total de 4X3X4, ou seja, 48 tratamentos. Estes foram instalados em 3 faixas aleatorizadas no campo.

A dose dos tratamentos nitrogenados foi de 120 kg ha<sup>-1</sup> de ureia (45% de N), parcelados entre a semeadura, 30 e 45 dias posteriores à germinação das plântulas.

O inoculante de *Herbaspirillum seropedicae* BR 11417 foi disponibilizado pela Embrapa Agrobiologia, Seropédica-RJ, na forma de turfa, que este foi misturado junto com uma solução de sacarose 10% para inoculação nas sementes que foram imediatamente semeadas.

Todos os tratamentos também receberam 90 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triplo (19% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 110 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio (59% de K<sub>2</sub>O) (Sobral et al., 2007).

Cada parcela útil foi constituída de um total de 80 plantas, em 2 linhas de 4m para cada tratamento com espaçamento 0,8 por 0,2 m, na área central da subparcelas.

## **2.2 Coleta e análise de dados**

A avaliação da produtividade foi realizada dentro de cada parcela útil com a colheita e separação de espigas comerciais do milho verde avaliando-se os seguintes parâmetros: o número total de plantas (NTP), o número de espigas comerciais (NEC) e o peso das espigas

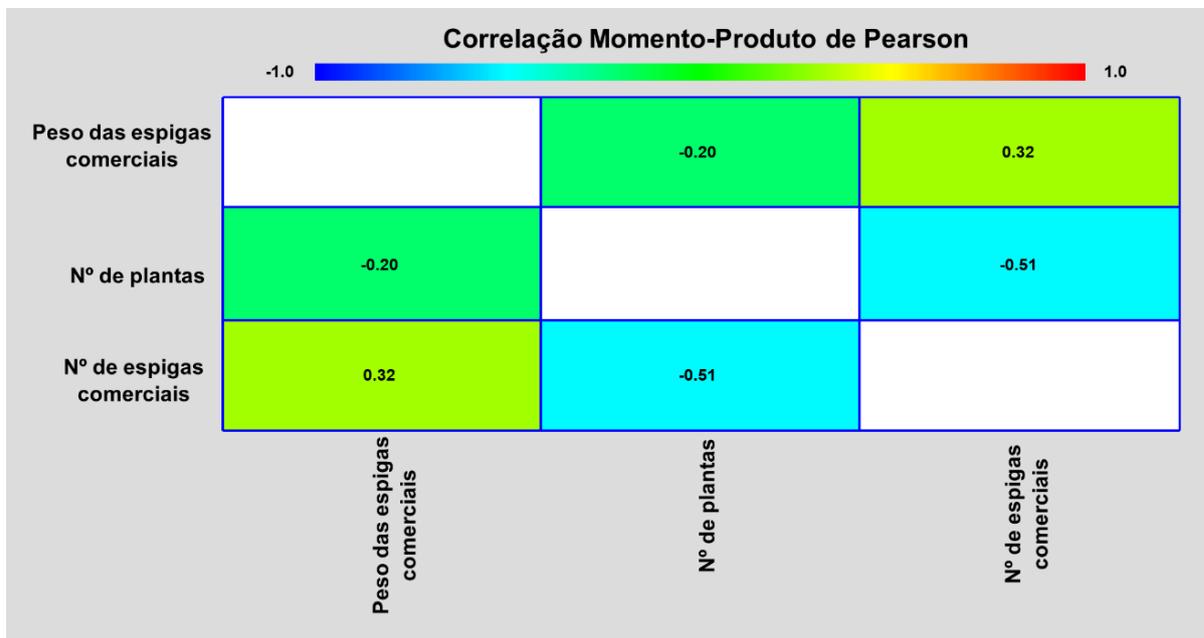
comerciais (PEC). O tamanho médio das espigas foi verificado considerando-se 15 a 17 cm para espigas comerciais,

Os dados foram testados quanto à distribuição normal, considerada ao nível de significância de 5% com base nos testes de Shapiro-Wilk e H de Royston, submetidos a ANOVA (Statgraphics) e correlação de Pearson. Para o teste de média foi analisada a diferença mínima significativa de Fisher (LSD) a 0,05%.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura1. está apresentada a correlação de Pearson para os parâmetros de produtividade do milho avaliados. Observou-se uma correlação positiva entre o peso das espigas comerciais e o número de espigas comerciais, correlação negativa entre o peso das espigas comerciais com o número de plantas e correlação negativa entre número de espigas comerciais e o número de plantas.

Figura. 1 Correlação de Pearson entre os parâmetros de produtividade do milho verde



Ao analisar os dados multidimensionais dos parâmetros de produtividade do milho verde pelo teste de H de Royston confirma-se uma distribuição normal multivariada ao nível de 5% de significância apresentada na Tabela 1.

Tabela1. Testes de normalidade dos parâmetros de produtividade do milho verde.

<i>Teste</i>	<i>Estatística</i>	<i>P</i>
Shapiro-Wilk W – Peso de espigas comerciais	0.768	0.0000
Shapiro-Wilk W - N° de espigas comerciais	0.970	0.0942
Shapiro-Wilk W - N° de plantas	0.988	0.7678
H de Royston	37.613	0.0000

Os tratamentos controle (sem adubação nitrogenada ou inoculação e apenas com inoculação) apresentaram baixa ou nenhuma produtividade expressa nos dados. A partir do teste de normalidade, o peso de espigas comerciais foi considerado o parâmetro mais significativo para as análises paramétricas da produtividade. A análise de variância para os dados de peso de espigas comerciais está apresentada na tabela 2.

Tabela 2. Análise de variância para peso de espigas comerciais do milho verde cultivado sob diferentes sistemas de manejo.

<b>Fonte</b>	<b>Soma dos quadrados</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>COVARIÁVEIS</b>					
N° de espigas comerciais	1.25795E7	1	1.25795E7	11.85	0.0008
N° de plantas	56697.2	1	56697.2	0.05	0.8176
<b>PRINCIPAIS EFEITOS</b>					
A:Cultura	6.92464E6	3	2.30821E6	2.17	0.0940
B: Sistema de cultivo	11968.0	2	5983.98	0.01	0.9944
C: Tratamento	2.0192E6	3	673068.	0.63	0.5944
RESIDUAL	1.41199E8	133	1.06165E6		
TOTAL (CORRIGIDO)	2.20957E8	143			

Ao avaliar a contribuição dos fatores para produtividade de milho verde, pelo peso de espigas comerciais na Tabela 3, analisou-se que as diferentes culturas antecedentes, milheto e crotalária não diferiram estatisticamente entre si e destacam-se como as culturas que mais contribuíram para o peso de espigas comerciais, diferindo estatisticamente e sendo superiores as demais culturas avaliadas caupi e guandu apresentados na Tabela 3.

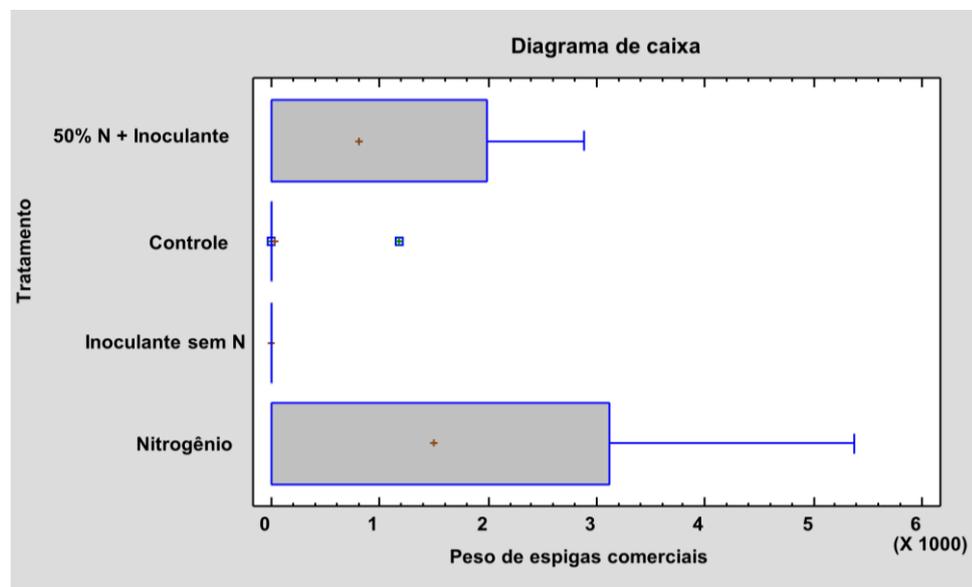
Tabela 3. Análise multivariada dos efeitos determinantes para produtividade do milho verde pelo peso de espigas comerciais em kg/há.

<i>Nível</i>	<i>SQ</i>	<i>Média</i>
GRANDE MÉDIA	69	101.85
Tratamento		
50% N + Inoculante	30	81.65 B
Controle	3	25.25 C
Nitrogenado	36	117.85 A
Cultura		
Caupi	18	37.04 C
Crotalária	21	133.00 A
Guandu	15	87.54 B
Milheto	15	150.67 A
Sistema de cultivo		
CM	24	90.07 B
PD	27	110.27 A
CC	18	106.06 A
Tratamento x Cultura		
Inoculado		
50% N + Inoculante,Caupi	9	48.82 B
50% N + Inoculante,Crotalária	9	134.68 A
50% N + Inoculante,Guandu	6	107.74 A
50% N + Inoculante,Milheto	6	25.25 B
Controle		
Control,Caupi	0	
Control,Crotalária	3	25.25 A
Control,Guandu	0	
Control,Milheto	0	
Nitrogenado		
Nitrogenado,Caupi	9	25.25 C
Nitrogenado,Crotalária	9	164.98 B
Nitrogenado,Guandu	9	67.34 C
Nitrogen,Milheto	9	234.85 A
Tratamento x Sistema de cultivo		
Inoculado		
50% N + Inoculante,CM	12	63.38 B
50% N + Inoculante,PD	12	111.11 A
50% N + Inoculante,CC	6	59.76 B
Controle		
Controle,CM	0	
Controle,PD	3	32.83 A
Controle,CC	0	
Nitrogenado		
Nitrogenado,CM	12	117.85 A
Nitrogenado,PD	12	127.95 A
Nitrogenado,CC	12	129.63 A
Cultura x Sistema de cultivo		
Caupi,CM	6	168.35 A
Caupi,PD	6	74.07 B

Letras diferentes indicam diferença estatística significativa (LSD) a 0,05% de probabilidade.

A fonte de adubação foi considerada fator determinante para a produção de espigas comerciais. Ao avaliar os fatores que contribuíram para produção de espigas comerciais foram comparadas as formas de adubação nitrogenada, os tratamentos controles (sem adubação e sem inoculação e o tratamento inoculado sem adubação nitrogenada) não favoreceram a produtividade na figura 2. O tratamento inoculado com *Herbaspirillum seropedicae* e complementado com 50% de N na forma de ureia contribuiu para produção, mas o tratamento nitrogenado com 100% de N ofereceu condições de maior produtividade de espigas comerciais.

Figura 2. Análise da produtividade do milho verde pelo peso de espigas comerciais (em Kg/ha) em função dos tratamentos de adubação.



O tratamento de adubação nitrogenada com 100% de N, seguido do tratamento inoculado com *Herbaspirillum seropedicae* e complementado com 50% de N diferiram estatisticamente de forma significativa e foram superiores ao tratamento controle (sem nenhuma fonte de adubação nitrogenada) e tratamento apenas inoculado que não diferiram estatisticamente. A inoculação de bactérias na cultura do milho com *Herbaspirillum seropedicae* já foi relatada por efeitos positivos relacionados ao crescimento das plantas e pela fixação de nitrogênio, mas sendo necessária a complementação de adubação nitrogenada para garantia da produtividade (Breda *et al.*, 2016) em quantidades que não limitem os efeitos da inoculação (Pardo-Díaz *et al.*, 2021).

Cunha *et al.* 2021, ao monitorarem a sobrevivência bacteriana da associação de *Herbaspirillum seropedicae* e milho, por meio de ferramentas moleculares, concluíram que há uma alta dependência entre o genótipo utilizado e a estirpe bacteriana inoculada. No estudo

citado (Cunha *et al.*, 2021), foi identificado incremento no aumento radicular das plantas inoculadas, mas nenhuma contribuição significativa para FBN, o que corrobora com o presente trabalho para alguns tratamentos, onde a produtividade do milho inoculado não foi superior ao uso de adubação 100% nitrogenada.

Os resultados apresentados confirmam que os inoculantes bacterianos tem como principais restrições a inconsistência de respostas a inoculação que pode estar ligada a fatores como interação com a biota do solo, qualidade do inoculante, adaptação ao genótipo da planta e condições edafoclimáticas locais para o sucesso do desempenho das bactérias na promoção do crescimento das plantas e conseqüentemente da produtividade das culturas econômicas (Ferrarezi *et al.*, 2022; Nunes *et al.*, 2021). Em condições não controladas como este experimento de campo conduzido há mais de 20 anos, a população bacteriana tende a diminuir ou não aumentar significativamente após a colonização devido aos diversos fatores que influenciam (Cunha *et al.*, 2021).

Quando se avaliou a interação de fatores na contribuição da produtividade do milho verde, foi observado que para associação entre tratamentos de adubação e culturas antecedentes em ordem de maior produção o tratamento nitrogenado foi o que mais contribuiu quando associado ao milheto ou crotalária. O tratamento inoculado com *Herbaspirillum seropedicae* e adubado com 50% de N apresentou maior produtividade quando associado a crotalária ou guandu respectivamente e sendo superior ao tratamento nitrogenado quando associado a caupi e guandu (Tabela 3). A potencialização da inoculação pode ter acontecido pelas culturas antecedentes leguminosas já que o N das leguminosas pode ser transferido para plantas não leguminosas em sistema consorciado como parte do suprimento de N dessas plantas não leguminosas (Salgado *et al.*, 2021) como o milho aqui avaliado.

O uso de crotalária e milheto como culturas antecedentes no presente estudo ressalta que estas culturas, quando consorciadas, proporcionam benefícios aos sistemas de produção como observado nos resultados apresentados, onde a inoculação proporcionou maior produtividade que a adubação nitrogenada tradicionalmente aplicada. Estas culturas apresentam características distintas, resultando em exploração de diferentes camadas de solo, promovendo a ciclagem diferenciada dos nutrientes (Bertolino *et al.*, 2021).

O uso de crotalária como cultura antecedente quando associada a inoculação bacteriana com adição de 50% da dose de N necessário superou a produtividade de espigas de milho verde resultante da associação de adubação 100% nitrogenada com caupi e guandu indicando que o uso de culturas antecedentes pode influenciar e potencializar as respostas a inoculação bacteriana, possivelmente as interações simbióticas entre bactérias nodulantes e

crotalária favorecendo a fixação biológica de nitrogênio. As respostas positivas de culturas de Fabaceae se explicam devido ao fato de o cultivo de milho, em sucessão a culturas antecedentes do tipo leguminosas, proporcionar maior quantidade de N à cultura, além de melhor aproveitamento do N proveniente do fertilizante nitrogenado pela planta e maior produtividade de grãos (Carvalho et al., 2015).

Somando-se as respostas positivas da fixação biológica de nitrogênio, é importante ressaltar que a crotalária é uma leguminosa (Fabácea) que tem como principais características, a associação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio e a baixa relação C/N, o que resulta em rápida decomposição dos seus resíduos, assegurando o suprimento mais rápido de nutrientes das culturas posteriores (Bertolino *et al.*, 2021). Estes aspectos explicam as respostas positivas do suprimento de N no tratamento inoculado com menor complementação de N mineral.

Os resultados que apontaram a baixa eficiência da inoculação são justificados pelas dificuldades encontradas com a inoculação em experimentos de campo que demandam altas dosagens de fertilizantes nitrogenados. A ação das bactérias promotoras de crescimento como *Herbaspirillum seropedicae* pode ser inibida já que as práticas de fertilização química ignoram o potencial biológico das raízes ou da rizosfera, aumentando a mobilização e aquisição de nutrientes diminuindo as interações entre plantas e micro-organismos rizosféricos (Nascimento *et al.*, 2020).

No presente estudo a complementação de N no tratamento inoculado, nas condições de campo avaliadas pode ter influenciado a ação da inoculação, já que o complexo enzimático nitrogenase desses micro-organismos, atuam para superar o déficit de nitrogênio em condições naturais com a fixação biológica do nitrogênio. Normalmente, esses organismos fixadores de N<sub>2</sub> desativam a atividade da nitrogenase na presença dessas fontes estranhas de N e ativam novamente quando essas fontes se esgotam através do metabolismo microbiano (Waller *et al.*, 2021), fato que pode ter sido evidenciado nas condições de solo do experimento pelo incremento de N das culturas antecedentes utilizadas.

Avaliando-se a interação entre os tratamentos de adubação e os sistemas de cultivo é destacada maior produtividade relacionada ao tratamento nitrogenado de 100% de N associado aos sistemas de cultivo avaliados os quais não diferiram estatisticamente. O Plantio direto associado ao tratamento inoculado com *Herbaspirillum seropedicae* com 50% da dose de N proporcionou a melhor condição de produtividade entre os sistemas de cultivo.

O Plantio direto demonstrou melhor compensação nutricional de N quando associado a inoculação de *Herbaspirillum seropedicae* este sistema vem se destacando como um sistema

de cultivo conservacionista que proporciona melhores condições para conservação do solo, favorece diretamente a fertilidade natural dos solos além de minimizar impactos como a perda de carbono ocasionado no cultivo convencional (Medeiros *et al.*, 2020), aspecto observado em campo, expresso pelo melhor vigor das plantas em todas as fases do desenvolvimento da cultura do milho e pela melhor eficiência das plantas em produção de espigas comerciais de milho verde.

Quando aplicada apenas a inoculação de *Herbaspirillum seropedicae*, essa condição possibilitou o crescimento das plantas, mas limitou o pleno desenvolvimento de espigas comerciais em algumas condições de manejo do solo, provavelmente pela falta do starter inicial, condições predisponentes para a associação benéfica das bactérias com a cultura do milho.

No presente estudo a avaliação geral das respostas a adubação associada as diferentes formas de manejo do solo demonstra que a compensação nutricional de N por meio da fixação biológica foi mais ressaltada quando na presença de inoculante combinado ao fertilizante mineral, essa combinação proporcionou condições favoráveis a produtividade do milho. Um estudo ao analisar o efeito da fertilização química no desempenho de diferentes bactérias em interações com plantas do milho verificou que entre as espécies analisadas *Herbaspirillum seropedicae* aumentou o conteúdo de nitrogênio nas folhas e na raiz (Nascimento *et al.*, 2020).

As interações entre sistemas de cultivo podem proporcionar ambientes mais favoráveis ou desfavoráveis a ação dos inoculantes. Os sistemas de cultivo não diferiram estatisticamente de forma significativa entre si, entretanto quando analisados em associação aos tratamentos de adubação observou-se que o Plantio direto se destacou quando associado a inoculação de *Herbaspirillum seropedicae*, esta associação indica a condição de manejo de solo mais favorável a potencializar os efeitos da inoculação por este micro-organismo.

É importante ressaltar que esta bactéria pode promover o crescimento das plantas não apenas por meio da fixação biológica do nitrogênio, sabe-se que os inoculantes são proeminentes tanto na fixação biológica de nitrogênio como no aumento da absorção de nutrientes pelas raízes, mitigação do estresse abiótico e controle de doenças (Nunes *et al.*, 2021). Além da fixação biológica do nitrogênio as bactérias promotoras de crescimento como *Herbaspirillum seropedicae* atuam favorecendo as culturas em diferentes mecanismos entre eles a produção de fitormônios como auxinas, solubilização de fosfato, produção de sideróforos e bio-controle (Zuluaga *et al.*, 2020).

Como resultado da interação entre culturas antecedentes e sistemas de cultivo, somente caupi foi considerado quando associado apenas aos sistemas de cultivo mínimo e plantio direto

como fatores para produção de espigas comerciais e o plantio direto combinado a esta cultura proporcionou a melhor condição de produtividade.

Apesar de os mecanismos de promoção do crescimento vegetal serem controversos, é evidente que esses microrganismos dependem fortemente de carbono proveniente de plantas como sua principal fonte de energia em apoio às suas funções biológicas (Waller *et al.*, 2020), caupi também é uma cultura de Fabacea que pode potencializar a ação dos inoculantes em sistemas conservacionistas.

O estudo de Waller *et al.* (2021), ao analisarem a capacidade de fixação biológica do nitrogênio de *Herbaspirillum seropedicae*, demonstrou que os baixos teores de N favorecem a ação da inoculação, porém, há uma alta demanda de carbono devido à alta demanda energética da FBN que diminui o desempenho de crescimento, sendo necessária a adição de fonte de carbono orgânico para o solo, o que norteia o aperfeiçoamento de estudos futuros em condições de campo como aqui avaliados e corrobora com os benefícios da ação das culturas antecedentes quando associadas a inoculação.

No presente estudo o tratamento inoculado foi complementado com 50% da dose de N de 120kg/há o que representa 60kg/há de N, o estudo de Alves., (2021) concluiu que 40kg/há é a melhor dose para complementação de N com inoculação de *Herbaspirillum seropedicae* ressaltando que o menor teor de N favorece as respostas da inoculação em solos tropicais bem como aumentam a eficiência do uso do fertilizante nitrogenado.

São limitadas as informações sobre como os micro-organismos desempenham seu papel ecológico ou como essas funções podem ser usadas para a produção agrícola sustentável com custos de produção reduzidos e menor impacto ambiental sem redução da produtividade (Nascimento *et al.*, 2020), sendo necessário o desenvolvimento de estudos que busquem a melhoria e aperfeiçoamento de tecnologias já utilizadas visando o equilíbrio entre perdas e ganhos ao sistema agrícola e o meio ambiente.

O efeito da inoculação de *Herbaspirillum seropedicae* já foi considerado potencialmente positivo para o aumento radicular e crescimento do milho em experimento de condições controladas (Cunha *et al.*, 2021) mas a variação dos resultados em tal estudo indicaram a necessidade do aperfeiçoamento das análises sobre a colonização em experimentos de campo.

A heterogeneidade e estrutura física do solo do campo experimental pode influenciar a uniformidade dos experimentos, bem como as respostas a inoculação, como relatado por

Alves et al., (2021) ao analisarem as respostas do milho a inoculação de *Herbaspirillum seropedicae*, fato que pode ter influenciado também os resultados do presente estudo.

A utilização de técnicas que empregam sistemas de cultivo conservacionistas e a adição de matéria orgânica por meio do uso de culturas antecedentes se torna uma opção indispensável para a melhor estruturação química, física e biológica do solo (Bertolino *et al.*, 2021), a associação dessas técnicas podem potencializar o efeito de inoculantes quando proporcionam ambientes mais favoráveis aos processos biológicos envolvidos na interação entre plantas e micro-organismos promotores de crescimento vegetal. Este aspecto se torna primordial para que estas condições desejáveis atuem de maneira sinérgica para obtenção de produções sustentáveis das culturas econômicas, com maior eficiência técnica, menor impacto ambiental, maior rentabilidade econômica com o uso de tecnologias de fácil emprego pelos agricultores.

## 5. CONCLUSÕES

- A combinação entre cultivo convencional, uso de milheto como cultura antecedente e adubação 100% nitrogenada representa a condição de maior produtividade do milho de até 164.980kg/há de espigas comerciais.
- A combinação entre Plantio Direto, crotalária como cultura antecedente e inoculação com *Herbaspirillum seropedicae* favorece a produtividade do milho em até 134.68 Kg/há de espigas comerciais e é indicada como sistema de manejo conservacionista.
- Há a necessidade da complementação da inoculação com a fertilização de N, mas as condições nutricionais do solo nos sistemas conservacionistas juntamente com os benefícios proporcionados pelas culturas antecedentes leguminosas (Fabacea) contribuem na redução do uso de fertilizantes químicos proporcionando benefícios econômicos e ambientais.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, G. C.; SANTOS, C. L. R. DOS; ZILLI, J. E.; REIS JUNIOR, F. B. DOS; MARRIEL, I. E.; FARLEY, F. A.; BODDEY, R. M.; REIS, V. M. Agronomic evaluation of *Herbaspirillum seropedicae* strain ZAE94 as an inoculant to improve maize yield in Brazil. *Pedosphere*, v. 31, n. 4, p. 583–595, 2021.
- BAGHDADI, A.; HALIM, R. A.; GHASEMZADEH, A.; RAMLAN, M. F.; SAKIMIN, S. Z. Impact of organic and inorganic fertilizers on the yield and quality of silage corn intercropped with soybean. *PeerJ*, v. 2018, n. 10, 2018.
- BALDANI, J. I.; CARUSO, L.; BALDANI, V. L. D.; GOI, S. R.; DOBEREINER, J. Recent

advances in BNF with non-legume plants. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, n. 5–6, p. 911–922, 1997.

BENNETT, A. B.; PANKIEVICZ, V. C. S.; ANÉ, J. M. A Model for Nitrogen Fixation in Cereal Crops. **Trends in Plant Science**, v. 25, n. 3, p. 226–235, 2020.

BERTOLINO, K. M.; DUARTE, G. R. B.; VASCONCELOS, G. M. P. DE V. E; BOTREL, É. P. Desempenho de crotalaria consorciada com milho na produção de biomassa. **ForScience**, v. 9, n. 1, p. e00895, 2021.

BREDA, F.A, ALVES, G.C, REIS, V. M. Produtividade de milho na presença de doses de N e de inoculação de *Herbaspirillum seropedicae*. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 51, n. 1, p. 45–52, 2016.

CARVALHO, A. M. DE; COSER, T. R.; REIN, T. A.; ARAUJO DANTAS, R. DE; SILVA, R. R.; SOUZA, K. W. Manejo de plantas de cobertura na floração e na maturação fisiológica e seu efeito na produtividade do milho. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 50, n. 7, p. 551–561, 2015.

CONAB. Boletim da Safra de Grãos. **Acompanhamento da safra 2018/19 brasileira de grãos - 12º levantamento**, v. 6, n. 12, p. 1–47, 2019.

CONTINI, E.; MOTA, M. M.; MARRA, R.; BORGHI, E.; MIRANDA, R. A. DE; SILVA, A. F. DA; SILVA, D. D. DA; MACHADO, J. R. DE A.; COTA, L. V.; COSTA, R. V. DA; MENDES, S. M. Milho-Characterização e Desafios Tecnológicos. **Embrapa**, v. 5, n. 1, p. 1–45, 2019.

CUNHA, E. T. DA; PEDROLO, A. M.; CAVALHEIRO, J.; BUENO, F. Inoculation of *Herbaspirillum Seropedicae* Increases Biomass in Maize Roots in the Early Stages of Plant Development. p. 1–19, 2021.

DELAZERI, J. V. S.; VALADÃO, F. C. D. A.; VALADÃO JUNIOR, D. D.; HERKLOTZ, B.; BERTONCELLO, L. R.; SILVA, J. L. DA; VIEIRA, A. D. O. Agronomic performance of millet and crotalaria cultivated in single and intercropping. **Ciencia del Suelo**, v. 38, n. 2, p. 212–223, 2020.

FERRAREZI, J. A.; CARVALHO-ESTRADA, P. D. A.; BATISTA, B. D.; ANICETO, R. M.; TSCHOEKE, B. A. P.; ANDRADE, P. A. D. M.; LOPES, B. D. M.; BONATELLI, M. L.; ODISI, E. J.; AZEVEDO, J. L.; QUECINE, M. C. Effects of inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria from the Brazilian Amazon on the bacterial community associated with maize in field Est a. v. 170, n. November 2021, 2022.

GAVILANES, F. Z.; SOUZA ANDRADE, D.; ZUCARELI, C.; HORÁCIO, E. H.; SARKIS YUNES, J.; BARBOSA, A. P.; ALVES, L. A. R.; CRUZATTY, L. G.; MADDELA, N. R.; GUIMARÃES, M. DE F. Co-inoculation of *Anabaena cylindrica* with *Azospirillum brasilense* increases grain yield of maize hybrids. **Rhizosphere**, v. 15, p. 100224, 2020.

GOSWAMI, M.; DEKA, S. Plant growth-promoting rhizobacteria—alleviators of abiotic stresses in soil: A review. **Pedosphere**, v. 30, n. 1, p. 40–61, 2020.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasiliense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Londrina: [s.n.].

KAMINSKY, L. M.; TREXLER, R. V.; MALIK, R. J.; HOCKETT, K. L.; BELL, T. H. The Inherent Conflicts in Developing Soil Microbial Inoculants. **Trends in Biotechnology**, v. 37, n. 2, p. 140–151, 2019.

- LI, L.; ZOU, Y.; WANG, Y.; CHEN, F.; XING, G. Effects of Corn Intercropping with Soybean/Peanut/Millet on the Biomass and Yield of Corn under Fertilizer Reduction. **Agriculture (Switzerland)**, v. 12, n. 2, 2022.
- MENDOZA-FERN, A. J.; PEÑA-FERN, A.; MOLINA, L.; AGUILERA, P. A. The Role of Technology in Greenhouse Agriculture : Towards a Sustainable Intensification in Campo de Dal í as ( Almer í a , Spain ). p. 1–14, 2021.
- NASCIMENTO, F. C.; KANDASAMY, S.; LAZAROVITS, G.; RIGOBELLO, E. C. Effect of Chemical Fertilization on the Impacts of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria in Maize Crops. **Current Microbiology**, v. 77, n. 12, p. 3878–3887, 2020.
- NASCIMENTO, G.; SOUZA, T. A. F. DE; SILVA, L. J. R. DA; SANTOS, D. Soil physico-chemical properties, biomass production, and root density in a green manure farming system from tropical ecosystem, North-eastern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 21, n. 6, p. 2203–2211, 2021.
- NUNES, D. O.; FAVARO, J. H. D. S.; CHARLO, H. C. D. O.; LOSS, A.; BARRETO, A. C.; TORRES, J. L. R. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Green and sweet corn grown under different cover crops and phases of the no-tillage system 1 Milhos verde e doce cultivados sob diferentes coberturas e estádios do sistema de plantio direto. p. 173–179, 2022.
- NUNES, R. DE O.; DOMICIANO ABRAHÃO, G.; SOUSA ALVES, W. DE; APARECIDA DE OLIVEIRA, J.; CÉSAR SOUSA NOGUEIRA, F.; PASQUALOTO CANELLAS, L.; LOPES OLIVARES, F.; BENEDETA ZINGALI, R.; SOARES, M. R. Quantitative proteomic analysis reveals altered enzyme expression profile in Zea mays roots during the early stages of colonization by *Herbaspirillum seropedicae*. **Proteomics**, v. 21, n. 7–8, p. 1–12, 2021.
- OLIVEIRA, A. L. M. DE; COSTA, K. D. R.; FERREIRA, D. C.; MILANI, K. M. L.; SANTOS, O. J. A. P. DOS; SILVA, M. B.; ZULUAGA, M. Y. A. Aplicações da biodiversidade bacteriana do solo para a sustentabilidade da agricultura. **BBR - Biochemistry and Biotechnology Reports**, v. 3, n. 1, p. 56, 2014.
- OLIVEIRA, F. C. C.; PEDROTTI, A.; FELIX, A. G. S.; SOUZA, J. L. S.; HOLANDA, F. S. R.; MELLO, A. V. Chemical characteristics of Ultisols and the corn yield at Costal Plains of Sergipe, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 3, p. 354–360, 2017.
- OLIVEIRA, F. DE A.; SILVA, J. C.; SANTOS, D. P. DOS; BARRETO, J. A. S.; SILVA, C. B. DA; SANTOS, M. A. L. DOS; SANTOS, V. R. DOS. Níveis crescentes de irrigação e maior densidade de plantas aumentam a produtividade do milho verde. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 43371–43381, 2020.
- OYEBIYI, F. B.; AULA, L.; OMARA, P.; NAMBI, E.; DHILLON, J. S.; RAUN, W. R. Maize (*Zea mays* L.) Grain Yield Response to Methods of Nitrogen Fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 50, n. 21, p. 2694–2700, 2019.
- PARDO-DÍAZ, S.; ROMERO-PERDOMO, F.; MENDOZA-LABRADOR, J.; DELGADILLO-DURAN, D.; CASTRO-RINCON, E.; SILVA, A. M. M.; ROJAS-TAPIAS, D. F.; CARDOSO, E. J. B. N.; ESTRADA-BONILLA, G. A. Endophytic PGPB Improves Plant Growth and Quality, and Modulates the Bacterial Community of an Intercropping System. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 5, n. October, p. 1–10, 2021.
- PEDROTTI, A.; FILHO, R. N. DE A.; ASSUNÇÃO, S. J. R.; RESENDE, S. C.; FILHO, R. R. G.; OLIVEIRA, F. C. C. DE; HOLANDA, F. S. R.; SANTOS, D.; DIAS, J. L. A.;

- SANTANA, A. P. S. DE. Productivity of Sweet Maize (*Zea mays* L.) under Previous Crops and Cropping Systems in the Brazilian Northeast. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 26, n. 1, p. 1–9, 2018.
- PENG, J.; XU, Y.; SHANG, B.; QU, L.; FENG, Z. Impact of ozone pollution on nitrogen fertilization management during maize (*Zea mays* L.) production. **Environmental Pollution**, v. 266, n. x, p. 115158, 2020.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Nobel/USP-ESALQ, 1990. v. 13. ed.
- RIVERO HERRADA, M.; MOZENA LEANDRO, W.; BRITO FERREIRA, E. P. DE. Leguminosas isoladas e consorciadas com milho em diferentes sistemas de manejo do solo no feijão orgânico. **Revista Terra Latinoamericana**, v. 35, n. 4, p. 293, 2017.
- SABRI, N.; KASSIM, N. S.; IBRAHIM, S.; ROSLAN, R.; MANGSHOR, N. N. A.; IBRAHIM, Z. Nutrient deficiency detection in maize (*Zea mays* L.) leaves using image processing. **IAES International Journal of Artificial Intelligence**, v. 9, n. 2, p. 304–309, 2020.
- SALGADO, G. C.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; OTSUK, I. P.; AMBROSANO, G. M. B.; SANTANA, C. A.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P. C. O. Biological n fixation and n transfer in an intercropping system between legumes and organic cherry tomatoes in succession to green corn. **Agriculture (Switzerland)**, v. 11, n. 8, 2021.
- SILVA, C. B.; SILVA, J. C. DA; OLIVEIRA, F. DE A.; BARRETO, J. A. DOS S.; SANTOS, D. P. DOS; SANTOS, M. A. L. DOS. Milho verde em região semiárida: Práticas relacionadas a produção agrícola. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 41078–41088, 2020.
- SOBRAL, L. F. ANJOS, J. L. GOMES, J. B. V. VIEGAS, P. R. A. BARRETO, M. C. DE V. SIQUEIRA, O. J. W. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes no Estado de Sergipe**. [s.l: s.n.]. v. 1
- SOUZA MEDEIROS, A. DE; MALTA FERREIRA MAIA, S.; SANTOS, T. C. DOS; ARAÚJO GOMES, T. C. DE. Soil carbon losses in conventional farming systems due to land-use change in the Brazilian semi-arid region. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 287, n. December 2018, p. 106690, 2020.
- TELLES, T. S.; RIGHETTO, A. J.; LOURENÇO, M. A. P.; BARBOSA, G. M. C. No-tillage system participatory quality index. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 128–133, 2020.
- TIECHER, T. **Práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Porto Alegre:UFRS: [s.n.].
- WALLER, S.; WILDER, S. L.; SCHUELLER, M. J.; HOUSH, A. B.; FERRIERI, R. A. Quantifying plant-borne carbon assimilation by root-associating bacteria. **Microorganisms**, v. 8, n. 5, 2020.
- WALLER, S.; WILDER, S. L.; SCHUELLER, M. J.; HOUSH, A. B.; SCOTT, S.; BENOIT, M.; POWELL, A.; POWELL, G.; FERRIERI, R. A. Examining the effects of the nitrogen environment on growth and n<sub>2</sub>-fixation of endophytic herbaspirillum seropedicae in maize seedlings by applying <sup>15</sup>N radiotracing. **Microorganisms**, v. 9, n. 8, 2021.
- ZULUAGA, M. Y. A.; MILANI, K. M. L.; GONÇALVES, L. S. A.; OLIVEIRA, A. L. M.

DE. Diversity and plant growth-promoting functions of diazotrophic/N-scavenging bacteria isolated from the soils and rhizospheres of two species of *Solanum*. **PLoS ONE**, v. 15, n. 1, p. 1–25, 2020.

## **Eficiência do uso de sistemas de cultivo, culturas antecedentes e inoculação de *Azospirillum brasilense* com diferentes doses de nitrogênio para produtividade do milho verde em experimento de longa duração**

### **Resumo**

O cultivo do milho (*Zea mays*) se destaca pela sua importância social e econômica tanto na forma de grãos como milho verde em espiga. A limitação nutricional do nitrogênio interfere diretamente no crescimento da cultura. O presente estudo objetivou identificar a eficiência da associação da aplicação de diferentes sistemas de cultivo, culturas antecedentes e inoculação de *Azospirillum brasilense* associado a diferentes doses de N para a produtividade do milho verde. Analisou-se as variáveis de um experimento de longa duração implantado na Fazenda Experimental da UFS em 2001, os dados se referem à 20ª e 21ª safra do milho verde em 2020 e 2021 respectivamente. O delineamento experimental adotado foi em três faixas experimentais que correspondem aos sistemas de cultivo convencional (CC), cultivo mínimo (CM) e plantio direto (PD) com parcelas subdivididas com as culturas antecedentes crotalária (*Crotalaria juncea* L.), guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.), caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e milheto (*Pennisetum americanum* L.) que foram aleatorizadas em triplicata. Após 90 dias em campo, realizou-se a semeadura do milho sob dois tratamentos que combinaram adubação nitrogenada com inoculação de *Azospirillum brasilense*. Como parâmetros de avaliação da produtividade avaliou-se o teor de clorofila total das plantas (CT), número total de plantas (NTP), o número de espigas não comerciais (NENC), o peso de espigas não comerciais (PENC), o número de espigas comerciais (NEC) o peso das espigas comerciais (PEC), a altura das plantas (AP) e a massa seca das plantas (MSP). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos desdobradas e comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade com o auxílio do software SISVAR. Os resultados indicaram que adubação nitrogenada foi fator mais determinante para os parâmetros analisados da produtividade. A adoção de sistema de cultivo convencional limitou o sucesso da inoculação e para esse manejo de solo o uso do milheto foi a cultura que mais favoreceu a produtividade associada ao tratamento de adubação nitrogenada. O Cultivo mínimo associado ao uso de caupi e a inoculação do milho, representou a condição que melhor favoreceu a produtividade sendo superior ao tratamento nitrogenado para mesma condição. O Plantio direto proporcionou a melhor condição de manejo de solo a ser aplicado independente da cultura antecedente utilizada, resultando em produção de espigas comerciais do milho verde equivalente entre os tratamentos nitrogenado e inoculado. O uso de inoculação associado aos sistemas de cultivo conservacionistas representa importante e eficiente método de cultivo do milho verde pelos benefícios ambientais e econômicos.

Palavras-chave: Inoculantes, sistemas conservacionistas, milho em espiga, fertilizantes.

## 1. INTRODUÇÃO

O cultivo de milho (*Zea mays* L.) é uma atividade social e economicamente importante para os agricultores brasileiros. Devido à variabilidade genética do milho, e sua adaptabilidade às mais variadas condições ambientais (Skonieski *et al.*, 2019). O milho alimenta mais de 65% da população global com uma ingestão sustentável de proteínas e calorias (Jalal *et al.*, 2022). Esta cultura se destaca pela grande produção em grãos, mas com grande relevância pela produção de milho verde em espiga como cultura tradicional e de subsistência por pequenos produtores que vem aumentando de forma significativa em função da sua lucratividade (Oliveira *et al.*, 2020).

Aumentar a competitividade no setor agropecuário através do uso de cultivos intensivos, como meio de suprir a demanda de alimentos dos países em desenvolvimento, resultou na necessidade de substituir o modelo de produção tradicional extensivo por sistemas que permitem a maximização do uso da terra como sistemas de cultivo conservacionistas como o Plantio direto (Modesto *et al.*, 2021; Possamai *et al.*, 2022).

A dependência da agricultura moderna por fertilizantes químicos é alarmante, pois o uso desses insumos vem causando sérios problemas ambientais (Zeffa *et al.*, 2019). O teor de nitrogênio em solos cultivados com milho é melhorado pela adição de fertilizantes químicos como fonte desse nutriente, que além de aumentar custos de produção, podem causar inúmeros problemas ambientais (Gavilanes *et al.*, 2020).

Embora o nitrogênio seja um nutriente essencial para o crescimento do milho, está relacionado a problemas pela baixa absorção pelas plantas (Alves *et al.*, 2020). O nitrogênio é extremamente complexo para ser gerenciado devido a uma série de fatores, por exemplo, custo de aquisição, perdas e em alguns casos impacto negativo ao ambiente (Zambonin *et al.*, 2019). A eficiência agrônômica em condições tropicais, principalmente para milho, que tem alta demanda de N, pode ser significativamente melhorada promovendo a integração de estratégias de manejo de N (Galindo *et al.*, 2022).

Os sistemas tradicionais de cultivo em tempo que elevam custos de produção causam impactos ambientais pelo manejo incorreto do solo que ocasionam perdas da estruturação e fertilidade natural dos solos que podem causar maior dependência de adubação nitrogenada (Baghdadi *et al.*, 2018). O alto custo dos fertilizantes nitrogenados contribuiu enfaticamente para o aumento dos custos de produção (Pereira-Defilippi *et al.*, 2017). A redução do uso de fertilizantes químicos pelo uso de recursos naturais é uma alternativa sustentável para o cultivo do milho (Galindo *et al.*, 2022).

A eficiência de uso de fertilizantes de N é limitado e muitas vezes não excede um terço da quantidade aplicada exogenamente (Pii *et al.*, 2019). A quantidade de nitrogênio disponível por unidade de tempo através de fontes prontamente solúveis, como a uréia, caracteriza um problema quando a biodisponibilidade do nutriente não corresponde à capacidade de assimilação das plantas (Skonieski *et al.*, 2019).

Os inoculantes utilizam micro-organismos vivos, capazes de promover o crescimento vegetal de forma direta ou indireta, por meio de diferentes mecanismos, tais como: fixação biológica de nitrogênio, produção de fito-hormônios, solubilização de fosfato e bio-controle (Barbosa *et al.*, 2022; Zuluaga *et al.*, 2020). O uso de inoculantes bacterianos vem sendo apontado como estratégia promissora para o favorecimento da agricultura sustentável visto que a fixação biológica do nitrogênio (FBN) é um processo desempenhado pelas bactérias promotoras de crescimento (Bennett, Pankievicz e Ané, 2020; Zeffa *et al.*, 2019).

A FBN foi elucidada inicialmente pela interação simbiótica entre bactérias e plantas da família da Fabácea (Döbereiner, 1997), mas se destaca pelos estudos promissores de associação entre bactérias e plantas da família Poaceae (Goswami e Deka, 2020). Essa associação já vem sendo relatada há décadas desde trabalhos iniciais conduzidos por Johanna Döbereiner, e diversos estudos comprovam os benefícios da interação entre milho e rizobactérias atribuídos a vários mecanismos de ação incluindo a fixação biológica de N e produção de fitormônios de crescimento (Pereira-Defilippi *et al.*, 2017).

A partir de estudos de seleção de bactérias diazotróficas e de identificação do potencial de promoção do crescimento de plantas, são formulados os produtos biotecnológicos como os inoculantes bacterianos. Algumas espécies de bactérias já vêm sendo estudadas e comercializadas para inoculação de culturas como *Azospirillum brasilense* recomendada como produto comercial em versões líquido ou turfa para inoculação de Poáceas como o milho, trigo e a cana de açúcar (Hungria, 2011; Pedraza *et al.*, 2020) e coinoculação de Fabáceas como soja e feijão (Breda, Alves e Reis, 2016; Gavilanes *et al.*, 2020).

Depois *Rhizobium*, a bactéria promotora de crescimento de plantas mais estudada e aplicada mundialmente como inoculante pertencem ao gênero *Azospirillum* (Barbosa *et al.*, 2022). *Azospirillum brasilense* envolve a promoção do crescimento de plantas por meio da fixação biológica do nitrogênio, produção de fitormônios além da melhoria do acúmulo de N em plantas de milho, proporcionando maior desenvolvimento da parte aérea e radicular e levando a um maior rendimento de grãos (Galindo *et al.*, 2022). A presença desses mecanismos permite que certas cepas sejam utilizadas comercialmente como inoculantes, o que é uma

alternativa sustentável ao uso de fertilizantes químicos e para mitigar o estresse biótico e abiótico (Vidotti *et al.*, 2019).

A tecnologia da inoculação é um avanço no desenvolvimento sustentável por associar a sua utilização a redução do uso de fertilizantes químicos reduzindo também os impactos ambientais e dos custos de produção aumentando benefícios econômicos pela rentabilidade da produção (Barbosa *et al.*, 2022). Os micro-organismos inoculados precisam ser compatíveis com a microbiota natural do solo, as estirpes que são inoculadas precisam se adaptar as condições edafoclimáticas locais e as características particulares de fertilidade do solo (Kaminsky *et al.*, 2019), o que torna um desafio a garantia da eficácia da inoculação pela dificuldade de controlar todos os fatores que podem influenciar os processos naturais da associação entre plantas e bactérias.

A inoculação com certas cepas de *Azospirillum* sp. adaptado às condições edafoclimáticas em condições de campo proporciona maior desenvolvimento radicular, resultando em maior exploração do solo para água e nutrientes absorção (Modesto *et al.*, 2021). Além da inoculação via semente ou sulco de semeadura, a inoculação deste microrganismo já foi relatada quanto aos benefícios envolvidos na inoculação foliar, para o aumento do rendimento da cultura, sob a gestão de uma combinação de herbicidas usados no campo (Cardozo *et al.*, 2022).

Além do uso de inoculantes as práticas conservacionistas de cultivo são indicadas como alternativas promissoras para a agricultura sustentável. Entre essas estratégias destacam-se o uso de culturas antecedentes e os diferentes sistemas de cultivo (Nascimento *et al.*, 2021; Telles *et al.*, 2020). As culturas antecedentes criam um ambiente extremamente favorável ao crescimento vegetal, contribuindo para a estabilização da produção e para a recuperação ou manutenção dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Oliveira *et al.*, 2017).

A redução do uso de implementos agrícolas na preparação do solo em Cultivo mínimo com um menor revolvimento do solo e no Plantio direto com a cobertura do solo pela palhada das culturas mantidas no solo reduz a compactação, perda do carbono e preservam a estrutura natural dos solos (Possamai *et al.*, 2022; Souza Medeiros, de *et al.*, 2020). O uso de culturas antecedentes é relevante em benefícios para qualidade do solo e consequentemente a produtividade agrícola. As culturas antecedentes criam um ambiente extremamente favorável ao crescimento vegetal, contribuindo para a estabilização da produção e para a recuperação ou manutenção das desejáveis características e propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Oliveira *et al.*, 2017).

As respostas das culturas à inoculação são complexas porque são definidas por interações de planta-micro-organismos, muitas delas ainda desconhecidas sendo necessário aprimorar o conhecimento sobre a ecologia microbiana da rizosfera de culturas sob diferentes práticas agrícolas (Salvo, Di *et al.*, 2018).

O uso de fertilizante nitrogenado ainda é necessário para complementar a ação dos inoculantes bacterianos pela fixação biológica de nitrogênio. Determinar a dose de N adequada para garantia de produtividade da cultura, redução dos custos de produção sem interferir na ação biológica dos micro-organismos promotores de crescimento é um dos desafios da tecnologia da inoculação.

Avaliar diferentes estratégias de cultivo garante maior contribuição para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de tecnologias que respondam aos benefícios ambientais e econômicos. O objetivo desse estudo foi identificar a eficiência do método de associação da aplicação de diferentes sistemas de cultivo, culturas antecedentes e inoculação de *Azospirillum brasilense* associado a diferentes doses de N para a produtividade do milho verde.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Implantação e delineamento experimental**

Implantou-se o experimento no “Campus Rural” – Fazenda Experimental da Universidade Federal de Sergipe (10°55’S e 37°11’O), no ano de 2001. Os resultados apresentados neste trabalho referem-se ao 20° e 21° ano de cultivo. O solo do local, de acordo com Embrapa (1999) é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, derivado de sedimentos do grupo Barreiras.

O delineamento experimental adotado consiste em faixas experimentais com subparcelas divididas (Pimentel Gomes, 1990), onde nas faixas há a implantação de três sistemas de cultivo: cultivo convencional (CC), mínimo (CM) e o plantio direto (PD) que se diferem pelas formas de preparação do solo, e nas parcelas subdivididas as culturas antecedentes crotalária (*Crotalaria juncea* L.), caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) e milheto (*Pennisetum americanum* L.) aleatorizadas dentro de cada faixa em três repetições

Cada faixa possui 84x10m, sendo dividida em 12 parcelas com área de 60 m<sup>2</sup>, espaçadas entre si a cada 1 m, para receber as culturas antecedentes. As culturas antecedentes foram, anualmente, semeadas (espaçamento médio de 0,5 m na linha e 0,2 m na entrelinha)

entre os meses de janeiro a abril. Após aproximadamente 90 dias em campo, as plantas foram cortadas e aportadas ao solo. Cada faixa experimental foi, anualmente, preparada de acordo com o sistema de cultivo adotado.

No CC utilizou-se grade niveladora, seguida de aradora e grade niveladora, no CM, utilizou-se grade niveladora leve fechada e no PD, após o 1º ano de condução do experimento, nenhum implemento de preparo do solo foi utilizado. No PD, as plantas daninhas foram controladas por capina manual associada ao uso de herbicidas de ação total (antes da semeadura - *Glyphosate*) ou seletivo (após semeadura do milho - *Nicosulfuron*).

A semeadura do milho foi realizada com semeadora em espaçamento médio de 0,2 m na linha e 0,8 m na entrelinha. A semente utilizada foi a variedade híbrido convencional para consumo de milho-verde e produção de silagem BM3066 (Biomatrix) tratada previamente com CropStar (Tiodicarbe/Imidacloprido).

Para adubação nitrogenada foram adotados dois tratamentos consistindo na associação de inoculantes da bactéria *Azospirillum brasilense* com adição de N na forma de ureia comercial. No 20º ano os tratamentos consistiram em: (1) tratamento inoculado- 50% da dose recomendada de N, com inoculante; (2) tratamento nitrogenado- nitrogênio da dose total recomendada, sem inoculante. No ano 21º ano os tratamentos consistiram em: (1) tratamento inoculado- 75% da dose recomendada de N, com inoculante; (2) tratamento nitrogenado-nitrogênio da dose total recomendada, sem inoculante.

Empregou-se a combinação de Sistemas de Cultivo: (1) Cultivo Convencional (CC); Cultivo Mínimo (CM) e Plantio Direto (PD). Os tratamentos anteriores foram combinados com o plantio de culturas antecedentes: (A) Crotalária; (b) Milheto; (C) Caupi e (D) Guandu. Assim, ao total foram combinados para compor os tratamentos: 2 tratamentos para fonte de N, 3 para s sistemas de cultivo e 4 culturas, perfazendo um total de 2X3X4, ou seja, 24 tratamentos. Estes foram instalados em 3 faixas aleatorizadas no campo.

A dose dos tratamentos nitrogenados foi de 120 kg ha<sup>-1</sup> de ureia (45% de N), parcelados entre a semeadura, 30 e 45 dias posteriores à germinação das plântulas. Na safra 2020 a ureia foi dividida em 40% na adubação de base e 60% nas adubações de cobertura, já na safra 2021 a ureia foi dividida em 25% na adubação de base e 75% nas adubações de cobertura. As sementes do milho BM3066 (Biomatrix) foram tratadas e inoculadas com um inoculante líquido comercial *Azospirillum brasilense* Azo Total (Total-bio) e complementada a adubação nitrogenada na forma de ureia.

Todos os tratamentos também receberam 90 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triplo (19% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 110 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio (59% de K<sub>2</sub>O) (Sobral et al., 2007). Cada parcela útil

foi constituída de um total de 160 plantas, em 4 linhas de 4m para cada tratamento com espaçamento 0,8 por 0,2 m.

## 2.2 Coleta e análise de dados

A avaliação dos parâmetros de desenvolvimento e produtividade do milho realizando-se dentro de cada parcela útil com a colheita do milho, avaliou o teor de clorofila total das plantas (CT) utilizando o clorofilômetro digital (Falker), foram realizadas três leituras para cada face do limbo foliar na última folha totalmente expandida, em cinco plantas para cada parcela útil; também avaliou-se a produtividade a partir do número de plantas (NP), o número de espigas não comerciais (NENC), o peso de espigas não comerciais (PENC), o número de espigas comerciais (NEC) o peso das espigas comerciais (PEC), a altura das plantas (AP) e a massa seca das plantas (MSP). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos desdobradas e comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade com o auxílio do software SISVAR (Ferreira, 2003).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

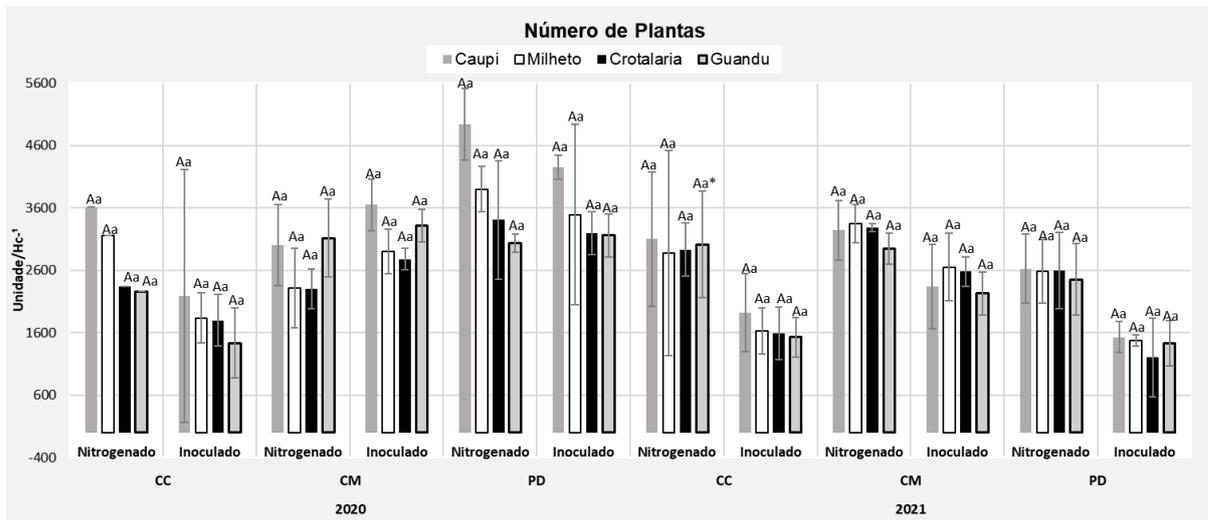
Os resultados obtidos nas duas safras do milho verde demonstram que para a maior parte dos parâmetros de produtividade do milho, a dose de N foi o fator determinante para ação do inoculante de *Azospirillum brasilense* quando comparado ao uso apenas da adubação nitrogenada.

As doses de complementação de N que foram aplicadas neste estudo foram indispensáveis para a inoculação, essa complementação já é recomendada tanto na base como adubação de cobertura levando ao aumento da produtividade (Alves *et al.*, 2020). Além disso a inoculação de *Azospirillum brasilense* aqui analisado, pode ter favorecido o aproveitamento do N aplicado, como relatado por Galindo *et al.*, (2022), que verificaram que a inoculação proporciona maior eficiência agrônômica e absorção de N em plantas de milho com maiores concentrações de N nas folhas e acúmulo de N na parte aérea, nas raízes e nos grãos.

O número de plantas cultivadas observado na Figura 1. não diferiu estatisticamente de forma significativa pelos sistemas de cultivo, culturas antecedentes ou tratamentos de adubação associados. Isso indica que houve uma uniformidade na distribuição do stand independente do tratamento aplicado nas duas safras. Esses resultados corroboram com os de Alves *et al.*, (2020) que ao analisarem diferentes formas de aplicação de nitrogênio e inoculação do milho com

*Azospirillum brasilense* não obtiveram diferenças estatísticas significativas quanto ao número de plantas cultivadas.

Figura 1- Número de plantas de milho cultivadas sob diferentes sistemas de cultivo, uso de culturas antecedentes e inoculação de *Azospirillum brasilense* nas safras 2020 e 2021.

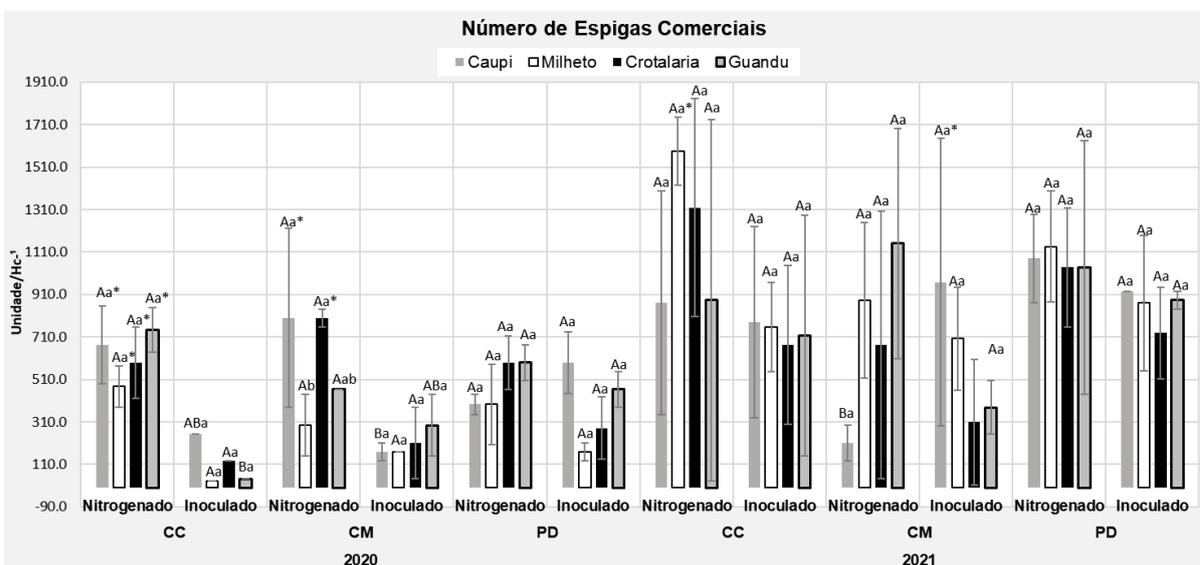


Letras maiúsculas diferentes diferem entre sistemas de cultivo para mesma cultura, adubação e safra. Letras minúsculas diferentes diferem entre culturas para mesmo sistema de cultivo, adubação e safra. Presença de \* diferem entre tratamentos de adubação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O número de espigas comerciais foi o parâmetro mais relevante para produtividade do milho verde. Observou-se na Figura 2. que houve uma diferença entre o número de espigas comerciais entre as safras 2020 e 2021 indicando maior produtividade na safra 2021, o tratamento de adubação foi o fator determinante para esse resultado.

A adubação de cobertura é fator determinante para o sucesso do crescimento do milho quando associado a inoculação. Na safra 2020 apenas 60% do N em forma de ureia foi aplicado em adubação de cobertura, enquanto na safra 2021 essa forma de adubação concentrou 75% do total de N, que pode ter influenciado diretamente os resultados produtivos da safra 2020 quando comparados aos da safra 2021. A inoculação pode suprir a adubação de base, mas a adubação de cobertura é fundamental para o desenvolvimento das espigas, além disso, a massa de grãos é influenciada pelo genótipo, disponibilidade de nutrientes e condições climáticas durante a fase de enchimento de grãos (Alves *et al.*, 2020). Fato observado aqui nos resultados que apontam a melhor condição da distribuição da adubação nitrogenada relacionados a maior produtividade.

Figura 2- Número de espigas comerciais de milho verde cultivadas sob diferentes sistemas de cultivo, uso de culturas antecedentes e inoculação de *Azospirillum brasilense* nas safras 2020 e 2021.



Letras maiúsculas diferentes diferem entre sistemas de cultivo para mesma cultura, adubação e safra. Letras minúsculas diferentes diferem entre culturas para mesmo sistema de cultivo, adubação e safra. Presença de \* diferem entre tratamentos de adubação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ao analisar a safra 2020 onde o tratamento inoculado foi complementado com 50% de nitrogênio, notou-se que comparando a adoção de cada cultura para cada tratamento de adubação entre os sistemas de cultivo, não houve diferença significativa para o tratamento nitrogenado (Figura 2). Para o tratamento inoculado apenas a adoção do guandu diferiu estatisticamente o número de espigas entre os sistemas de cultivo onde no Plantio direto obteve-se maior produtividade. Possivelmente a inoculação foi potencializada no Plantio Direto por ser um sistema de cultivo conservacionista que proporciona melhores condições para conservação do solo, favorece diretamente a fertilidade natural dos solos além de minimizar impactos como a perda de carbono ocasionado no cultivo convencional (Souza Medeiros, de *et al.*, 2020).

O número de espigas comerciais entre culturas antecedentes para cada sistema de cultivo e adubação foi menor quando associado o uso do milho no cultivo mínimo e tratamento nitrogenado, nos demais sistemas de cultivo não houve diferença estatística significativa entre as culturas e o mesmo tratamento de adubação (Figura 2). Para o tratamento inoculado não houve diferença entre o uso das culturas em cada sistema de cultivo.

O uso da inoculação quando comparado a adubação 100% nitrogenado demonstrou que para o sistema de cultivo convencional o tratamento nitrogenado foi superior ao tratamento inoculado independente das culturas utilizadas. Para o cultivo mínimo o uso de caupi ou crotalaria associado a adubação nitrogenada foram superiores ao tratamento inoculado. Não

houve diferença estatística significativa entre os tratamentos de adubação e uso de culturas para o número de espigas comerciais no Plantio direto (Figura 2).

Os resultados aqui apontados refletem que os experimentos de campo apresentam enormes complexidades no que diz respeito às interações entre condições e sobrevivência de bactérias diazotróficas (Skonieski *et al.*, 2019), indicando que o Plantio direto favoreceu a produtividade, por ser um sistema mais conservacionista, pelas melhores características químicas, físicas e biológicas, devido a manutenção da cobertura vegetal. Isso pode se dá ao fato de que o Plantio Direto pode proporcionar um ambiente mais favorável a potencialização da ação de inoculantes bacterianos que apresentam como limitações ao sucesso da inoculação fatores bióticos e abióticos (Ferrarezi *et al.*, 2022). Além disso, a eficiência da inoculação aplicada pode ter sido fortemente influenciada pelo genótipo e o ambiente na resposta da planta a inoculação com bactérias diazotróficas promotoras de crescimento vegetal (Barrios e Baldani, 2021) que é característico destes micro-organismos.

Outras evidências que podem ressaltar os resultados positivos ligados ao Plantio direto em associação com a inoculação, se devem ao fato deste sistema poder reduzir as perdas de água por evapotranspiração, assim, o solo fica mais protegido contra a incidência de sol e vento (Modesto *et al.*, 2021), além disso, a associação entre bactérias e plantas está ligada aos tipos de exsudatos radiculares que se alteram de acordo com as condições edafoclimáticas específicas, já que os microrganismos dirigem-se para as raízes por reconhecimento químico, sendo atraídos pelos gradientes de fontes de carbono que existem entre o solo e a rizosfera (Skonieski *et al.*, 2019) então esta pode ter sido a condição mais favorável a ação das bactérias nas condições de campo avaliadas.

Para safra 2021 o número de espigas comerciais quando relacionado ao uso das culturas antecedentes nos diferentes tratamentos de adubação entre os sistemas de cultivo foi menor apenas quando associado ao uso do caupi no cultivo mínimo e tratamento nitrogenado, as demais culturas não diferiram estatisticamente de forma significativa entre os sistemas de cultivo. O uso das culturas também não diferiu entre si para cada sistema de cultivo e adubação (Figura 2).

A adoção do milho como cultura antecedente associado ao sistema de cultivo convencional e tratamento nitrogenado resultou no maior número de espigas comerciais, sendo esta condição superior ao tratamento inoculado (Figura 2). O milho é uma das culturas que vem sendo utilizada como planta de cobertura devido a sua elevada produção de fitomassa e ciclagem de nutrientes em condições restritas, alta relação C/N que proporciona decomposição mais lenta dos resíduos e maior persistência da palhada sobre o solo, favorecendo melhores

condições de proteção da superfície do solo, de fertilidade e estruturação do solo (Rivero Herrada, Mozena Leandro e Brito Ferreira, De, 2017).

O cultivo de gramíneas forrageiras aumenta os fixadores de N e diminui os nitrificadores e desnitrificantes em comparação com solo não cultivado (Momesso *et al.*, 2022).

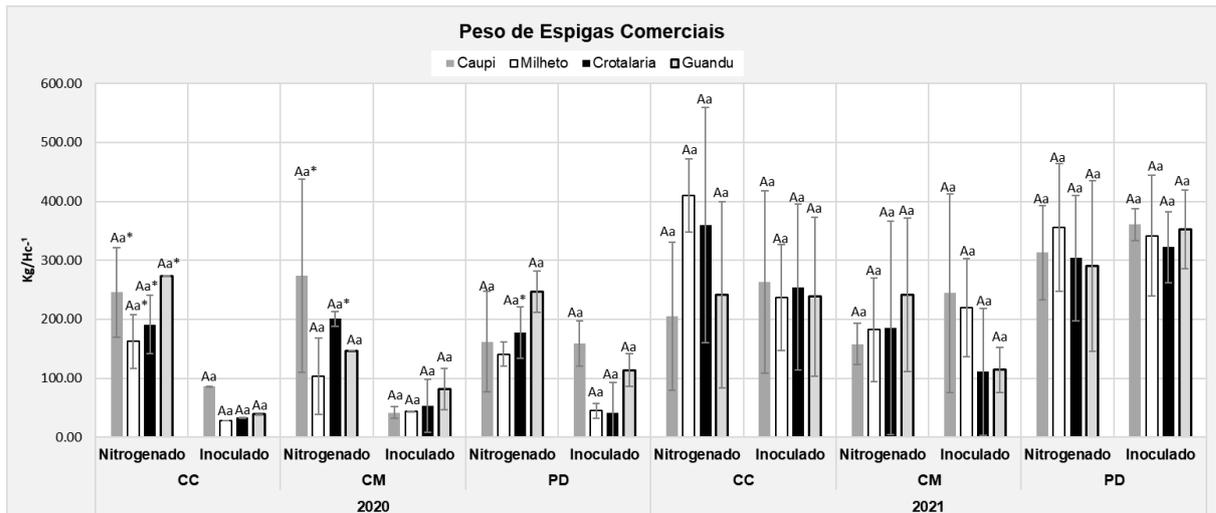
No Cultivo mínimo a associação do caupi com tratamento inoculado superou a produtividade de espigas do tratamento nitrogenado e o uso das demais culturas não diferiram entre os tratamentos de adubação para este sistema de cultivo (Figura 2). As plantas leguminosas são vastamente estudadas pela capacidade de fixação biológica de nitrogênio, seus nódulos e raízes fornecem um nicho rico em nutrientes para acomodar um grande pool de endófitos rizobianos e não rizobianos (Bhutani *et al.*, 2021; Muindi *et al.*, 2021; Primieri, Santos e Antunes, 2021; Tapia-García *et al.*, 2020). Também não houve diferença estatística significativa entre os diferentes tratamentos de adubação no Plantio direto para o número de espigas comerciais de milho verde para as condições do presente estudo.

A produtividade de espigas comerciais (Figura 2) indicam que a inoculação de *Azospirillum brasilense* foi melhor favorecida pela complementação de 75% de N que 50% de N. Principalmente nos sistemas de cultivo conservacionistas o inoculante respondeu de forma equivalente ou superior ao tratamento 100% nitrogenado, possivelmente pela condição ideal da complementação nitrogenada. A inoculação de *Azospirillum brasilense* poderia não favorecer a produtividade de híbridos do milho, como analisado por Zambonin et al. (2019) que ao avaliarem a produtividade de híbridos do milho com e sem inoculação concluíram que a inoculação de *Azospirillum brasilense* não influenciou o rendimento da cultura. Mas os resultados aqui obtidos demonstram que a inoculação associada as culturas antecedentes e sistemas de cultivo conservacionistas favoreceram a produtividade do milho híbrido analisado.

A safra 2021 produziu mais espigas comerciais do que a safra 2020 (Figura 2). Essas respostas da inoculação estão associadas à integração dos diferentes benefícios envolvidos com a inoculação, já que os inoculantes são relevantes tanto na fixação biológica de nitrogênio como no aumento da absorção de nutrientes pelas raízes, mitigação do estresse abiótico e controle de doenças (Nunes *et al.*, 2021), além disso a relação entre as doses de N e o genótipo do milho pode ter determinado esses resultados, visto que os genótipos podem variar de acordo com a quantidade e composição das substâncias liberadas nos exsudatos, bem como os genes relacionados aos mecanismos de defesa da planta, afetando diretamente as respostas à inoculação (Vidotti *et al.*, 2019).

Os resultados relacionados ao peso de espigas comerciais estão expressos na Figura 3. Não foi observada diferença estatística significativa no peso entre os sistemas de cultivo para cada cultura e adubação, nem entre as culturas nas duas safras.

Figura 3- Peso de espigas comerciais de milho verde cultivadas sob diferentes sistemas de cultivo, uso de culturas antecedentes e inoculação de *Azospirillum brasilense* nas safras 2020 e 2021.



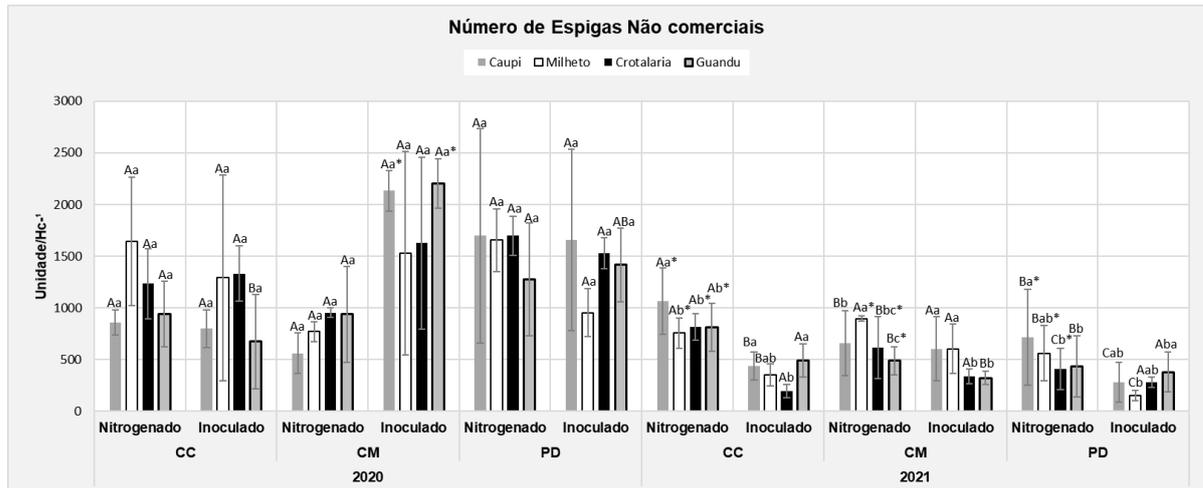
Letras maiúsculas diferentes diferem entre sistemas de cultivo para mesma cultura, adubação e safra. Letras minúsculas diferentes diferem entre culturas para mesmo sistema de cultivo, adubação e safra. Presença de \* diferem entre tratamentos de adubação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na safra 2020 houve diferença estatística significativa entre os tratamentos de adubação para todas as culturas no sistema de cultivo convencional, onde o tratamento nitrogenado foi superior ao inoculado (Figura 3). As culturas caupi e milho quando associadas ao Cultivo mínimo e tratamento nitrogenado apresentaram peso de espigas comerciais superiores ao tratamento inoculado as demais culturas não diferiram entre os tratamentos de adubação nesse sistema de cultivo. Crotalária quando associada ao Plantio direto e tratamento nitrogenado resultou em peso de espigas comerciais superior ao tratamento inoculado. A crotalária aumenta o N do solo devido à sua baixa relação C/N, que aumenta a mineralização dos resíduos da planta e a disponibilidade de nutrientes (Leite *et al.*, 2021). Não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos de adubação para peso de espigas comerciais do milho safra 2021 (Figura 3).

O número de espigas não comerciais apresentados na figura 4. e o peso de espigas não comerciais apresentados na figura 5., também foram comparados entre as safras 2020 e 2021.

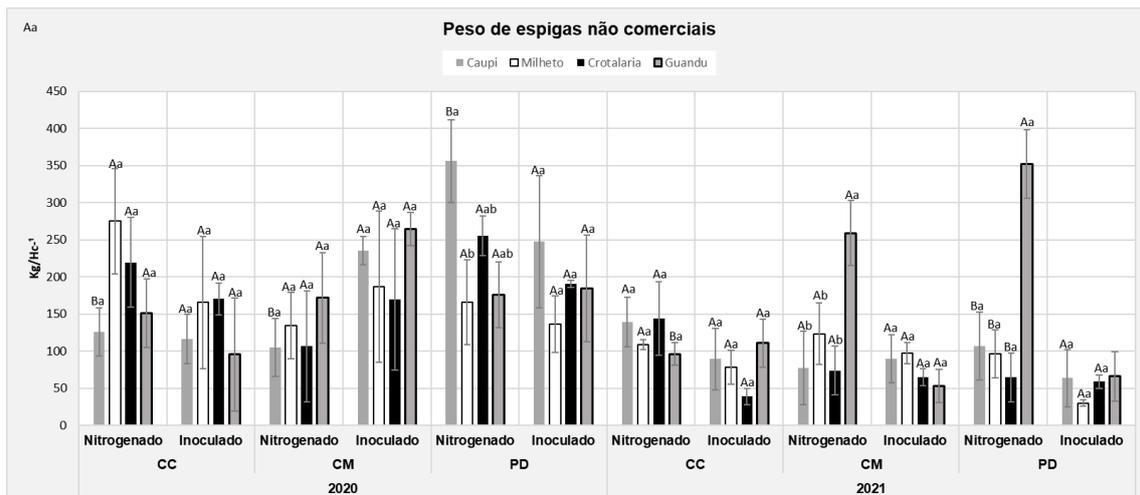
Observou-se que na safra 2020 houve um maior número e peso de espigas não comerciais em relação à safra 2021.

Figura 4- Número de espigas não comerciais de milho verde cultivadas sob diferentes sistemas de cultivo, uso de culturas antecedentes e inoculação de *Azospirillum brasilense* nas safras 2020 e 2021.



Letras maiúsculas diferentes diferem entre sistemas de cultivo para mesma cultura, adubação e safra. Letras minúsculas diferentes diferem entre culturas para mesmo sistema de cultivo, adubação e safra. Presença de \* diferem entre tratamentos de adubação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 5- Peso de espigas não comerciais de milho verde cultivadas sob diferentes sistemas de cultivo, uso de culturas antecedentes e inoculação de *Azospirillum brasilense* nas safras 2020 e 2021.



Letras maiúsculas diferentes diferem entre sistemas de cultivo para mesma cultura, adubação e safra. Letras minúsculas diferentes diferem entre culturas para mesmo sistema de cultivo, adubação e safra. Presença de \* diferem entre tratamentos de adubação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O número de espigas não comerciais refletem na produtividade das plantas de milho pela diferença no desenvolvimento das espigas durante o ciclo da cultura, alguns fatores podem ter influenciado este resultado entre eles os índices de precipitação durante o período do cultivo, ocasionando carreamento do fertilizante em decorrência das chuvas, além da radiação solar e temperatura, bem como a melhor distribuição de adubo nitrogenado entre adubação de base e adubação de cobertura sendo estes um fatores determinantes para produtividade como relatado por Alves et al (2020).

Os parâmetros de desenvolvimento e crescimento das plantas para produtividade apresentados na Tabela 1. indicaram que para o teor de clorofila total na safra 2020 não houve diferença estatística significativa entre os sistemas de cultivo, nem entre as culturas antecedentes, mas ao comparar os tratamentos de adubação (nitrogenado e inoculado) observou-se que a associação das culturas antecedentes do caupi e do guandu sob o sistema cultivo convencional e ainda com a adubação nitrogenada resultaram em maiores teores de clorofila total em relação ao tratamento inoculado (Tabela 1).

Tabela 1- Parâmetros de desenvolvimento e crescimento das plantas de milho verde cultivado sob diferentes sistemas de cultivo, culturas antecedentes e inoculação de *Azospirillum brasilense* na safra 2020.

Safra 2020							
SC	Cultura	Clorofila Total (ICF)		Matéria seca (mg/un)		Altura das Plantas(m/un)	
		Nitrogenado	Inoculado	Nitrogenado	Inoculado	Nitrogenado	Inoculado
CC	Caupi	45,3 Aa*	32 Aa	0,676 Aa	0,346 Aa	2,35 Aa*	1,85 Aa
	Milheto	38,1 Aa	29,2 Aa	0,540 Aa	0,380 Aa	2,3 Aa*	1,85 Aa
	Crotalária	36,3 Aa	30,3 Aa	0,863 Aa*	0,476 Aa	2,31 Aa	1,93 Aa
	Guandu	45,9 Aa*	29,5 Aa	0,713 Aa*	0,266 Ba	2,46 Aa*	1,56 Aa
CM	Caupi	36,1 Aa	32,9 Aa	0,566 Aa	0,413 ABa	2,1 Aa	2,0 Aa
	Milheto	34,7 Aa	29,4 Aa	0,656 Aa	0,516 Aa	2,04 Aa	2,03 Aa
	Crotalária	29,4 Aa	28,5 Aa	0,440 Aa	0,386 Aa	2,01 Aa	1,99 Aa
	Guandu	36,1 Aa	31,6 Aa	0,530 Aa	0,400 Aa	2,14 Aa	2,06 Aa
PD	Caupi	42 Aa	37 Aa	0,780 Aa	0,803 Aa	2,44 Aa	2,39 Aa
	Milheto	35,2 Aa	33 Aa	0,786 Aa	0,656 Aa	2,33 Aa	2,11 Aa
	Crotalária	38,7 Aa	34,5 Aa	0,743 Aa	0,576 Aa	2,29 Aa	2,09 Aa
	Guandu	34,3 Aa	33,7 Aa	0,8 Aa	0,643 Aa	2,11 Aa	2,07 Aa

SC= Sistema de cultivo, CC= cultivo convencional, CM= cultivo mínimo, PD= plantio direto. Na coluna, letras maiúsculas diferentes diferem entre sistemas de cultivo para mesma cultura e adubação, letras minúsculas diferentes diferem entre culturas para o mesmo sistema de cultivo e adubação. Na linha, presença de \* difere entre os tratamentos de adubação. ICF=Índice de clorofila Falker.

O teor de matéria seca não diferiu estatisticamente de forma significativa no tratamento nitrogenado entre sistemas de cultivo nem entre culturas antecedentes (Tabela 1). Mas no tratamento inoculado a associação de guandu no cultivo convencional apresentou menor teor

de matéria seca em relação aos demais sistemas de cultivo. Entre os tratamentos de adubação as culturas crotalária e guandu quando associadas ao tratamento nitrogenado superaram em teor de matéria seca do tratamento inoculado no sistema de cultivo convencional.

Em relação ao parâmetro altura das plantas do milho, quando sob sistema de cultivo convencional, uso do guandu ou crotalária e adubação nitrogenada, observou-se que foi maior que o milho inoculado, mas os demais tratamentos não diferiram estatisticamente de forma significativa (Tabela 1). Isso indica que a inoculação supriu a demanda nutricional da maior parte dos tratamentos por meio dos mecanismos de promoção do crescimento, como a produção de fitormônios, a partir da biossíntese do ácido-indol-3-acético, que é extremamente importante no início das fases de crescimento e é considerado complementar aos outros mecanismos em estádios mais avançados de crescimento das plantas (Zeffa *et al.*, 2019).

As variáveis de crescimento das plantas na safra 2021 apresentadas na Tabela 2. indicaram que o teor de clorofila quando associado ao tratamento nitrogenado apresentou menor teor de clorofila associada ao uso de caupi no cultivo mínimo e o tratamento inoculado associado a essa mesma cultura e mesmo sistema de cultivo foi superior ao tratamento nitrogenado. As demais culturas não diferiram entre si, entre sistemas de cultivo ou tratamentos de adubação.

Tabela 2- Parâmetros de desenvolvimento e crescimento das plantas de milho verde cultivado sob diferentes sistemas de cultivo, culturas antecedentes e inoculação de *Azospirillum brasilense* na safra 2020.

		Safra 2021					
SC	Cultura	Clorofila Total (ICF)		Matéria seca (mg/un)		Altura das Plantas (m)	
		Nitrogenado	Inoculado	Nitrogenado	Inoculado	Nitrogenado	Inoculado
CC	Caupi	74,2 Aa	68,9 Aa	0,233 Aba	0,276 Aa	1,75 Aa	1,89 Aa
	Milheto	72,6 Aa	69,7 Aa	0,22 Aba*	0,293 Aa	1,8 Aa	1,89 Aa
	Crotalária	73,3 Aa	69,6 Aa	0,246 Aa	0,306 Aa	1,92 Aa	1,94 Aa
	Guandu	75,9 Aa	66,9 Aa	0,193 Aa*	0,266 Aa	1,83 Aa	1,85 Aa
CM	Caupi	52,2 Bb	62,2 Aa*	0,186 Bab	0,243 Aa	1,69 Aa	1,66 Aa
	Milheto	67,9 Aa	69,9 Aa	0,153 Bb	0,20 Ba	1,72 Aa	1,7 Aa
	Crotalária	69,1 Aa	66,5 Aa	0,226 Aab	0,213 Ba	1,62 Aa	1,68 Aa
	Guandu	63,2 Bab	65,9 Aa	0,253 Aa	0,256 Aa	1,65 Aa	1,71 Aa
PD	Caupi	65 Aa	69,4 Aa	0,303 Aa	0,246 Ab	1,8 Aa	1,77 Aa
	Milheto	63,4 Aa	67,6 Aa	0,25 Aa*	0,346 Aa	1,78 Aa	1,82 Aa
	Crotalária	69,1 Aa	67,8 Aa	0,21 Aa*	0,313 Aab	1,82 Aa	1,88 Aa
	Guandu	68,3 Aba	68,1 Aa	0,233 Aa	0,276 Aab	1,76 Aa	1,85 Aa

SC= Sistema de cultivo, CC= cultivo convencional, CM= cultivo mínimo, PD= plantio direto. Na coluna, letras maiúsculas diferentes diferem entre sistemas de cultivo para mesma cultura e adubação, letras minúsculas diferentes diferem entre culturas para o mesmo sistema de cultivo e adubação. Na linha, presença de \* difere entre os tratamentos de adubação. ICF= Índice de clorofila Falker.

Do mesmo modo que o teor de clorofila a associação do caupi no Cultivo mínimo tanto no tratamento nitrogenado como no tratamento inoculado resultou em menor teor de matéria

seca, as demais culturas não diferiram entre si ou sistemas de cultivo. Ao comparar os tratamentos de adubação para esse parâmetro, as culturas associadas ao tratamento nitrogenado guandu e milho no sistema de cultivo convencional e crotalária e milho no Plantio direto resultaram em maior teor de matéria seca em relação ao tratamento inoculado (TABELA 1.).

Não houve diferença estatística significativa entre altura das plantas nos diferentes tratamentos (Tabela 2). A altura da planta é uma variável morfológica que está diretamente relacionada densidade populacional da cultura. Plantas menores toleram densidades mais altas, enquanto plantas mais altas toleram densidades mais baixas (Modesto *et al.*, 2021). A tecnologia da inoculação ainda é dependente da complementação com adubação nitrogenada química e estes resultados refletem que a redução em 25% do uso de N associada a inoculação refletem em maior produtividade do milho pelos parâmetros avaliados quando colmparado a redução de 50% da dose de N que não é suficiente para garantir a eficiência da produção de milho verde nas condições de solo da região. Essas limitações precisam ser cada vez mais avaliadas devido as peculiaridades das bactérias que são afetadas pelos fatores bióticos e abióticos.

A safra 2021 mostrou-se superior a produtividade em número de espigas comerciais de milho verde em relação a safra 2020 e além da complementação da inoculação com fertilizante nitrogenado o manejo de solo e as culturas antecedentes foram fatores determinantes para esse resultado. A associação do Plantio direto contribui significativamente na compensação de N necessária a inoculação quando comparada apenas ao uso de fertilizante nitrogenado, isso representa uma economia de 25% tanto em custos com insumo quanto com os impactos ambientais que as perdas deste exerce sobre o ecossistemas. O Cultivo mínimo associado a adoção de caupi como cultura antecedente representou a condição mais relevante por proporcionar produtividade superior ao uso da adubação nitrogenada.

#### 4. CONCLUSÕES

- A Inoculação de *Azospirillum brasilense* é melhor favorecida com a complementação de 75% de N quando comparado a 50% de N, os níveis mais elevados de N potencializam a inoculação que não atua eficientemente de forma única nem em níveis abaixo do ideal.
- O uso do caupi quando associado a inoculação de *Azopirillum brasilense* complementado com 75% de N e ao Cultivo mínimo, representa condição favorável e superior ao uso de 100% N para produtividade do milho verde.

- A Inoculação de *Azospirillum brasilense* com 75% e N é equivalente ao uso de 100% de N no Plantio direto, independente da cultura antecedente aplicada, representando uma redução de 25% dos custos com o fertilizante químico e possíveis impactos ambientais.
- As tecnologias de sistemas de cultivo conservacionistas e culturas antecedentes potencializam a ação de inoculantes com efeito positivo na produção comercial de espigas de milho verde

## REFERÊNCIAS

- ALVES, M. V.; NESI, C. N.; NAIBO, G.; BARRETA, M. H.; LAZZARI, M.; FIORESE, A.; SKORONSKI, E. Corn seed inoculation with *Azospirillum brasilense* in different nitrogen fertilization management. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 3, p. 6–11, 2020.
- BAGHDADI, A.; HALIM, R. A.; GHASEMZADEH, A.; RAMLAN, M. F.; SAKIMIN, S. Z. Impact of organic and inorganic fertilizers on the yield and quality of silage corn intercropped with soybean. **PeerJ**, v. 2018, n. 10, 2018.
- BARBOSA, J. Z.; ROBERTO, L. DE A.; HUNGRIA, M.; CORRÊA, R. S.; MAGRI, E.; CORREIA, T. D. Meta-analysis of maize responses to *Azospirillum brasilense* inoculation in Brazil : Benefits and lessons to improve inoculation efficiency. **Applied Soil Ecology**, v. 170, 2022.
- BARRIOS, S. C. L.; BALDANI, J. I. Avaliação da resposta de cultivares de *Brachiaria brizantha* a inoculação com bactérias diazotrófi cas para caracteres de produção de forragem e valor nutritivo. **Embrapa Gado de Corte**, n. 48, 2021.
- BENNETT, A. B.; PANKIEVICZ, V. C. S.; ANÉ, J. M. A Model for Nitrogen Fixation in Cereal Crops. **Trends in Plant Science**, v. 25, n. 3, p. 226–235, 2020.
- BHUTANI, N.; MAHESHWARI, R.; KUMAR, P.; SUNEJA, P. Bioprospecting of endophytic bacteria from nodules and roots of *Vigna radiata*, *Vigna unguiculata* and *Cajanus cajan* for their potential use as bioinoculants. **Plant Gene**, v. 28, n. December 2020, p. 100326, 2021.
- BREDA, F.A, ALVES, G.C, REIS, V. M. Produtividade de milho na presença de doses de N e de inoculação de *Herbaspirillum seropedicae*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 1, p. 45–52, 2016.
- CARDOZO, P.; PALMA, A. DI; MARTIN, S.; CERLIANI, C.; ESPOSITO, G.; REINOSO, H.; TRAVAGLIA, C. Improvement of Maize Yield by Foliar Application of *Azospirillum brasilense* Az39. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 41, n. 3, p. 1032–1040, 2022.
- DÖBEREINER, J. A importância da fixação biológica de nitrogênio para a agricultura sustentável. **Biociência**, p. 2–3, 1997.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: [s.n.].
- FERRAREZI, J. A.; CARVALHO-ESTRADA, P. D. A.; BATISTA, B. D.; ANICETO, R. M.; TSCHOEKE, B. A. P.; ANDRADE, P. A. D. M.; LOPES, B. D. M.; BONATELLI, M.

L.; ODISI, E. J.; AZEVEDO, J. L.; QUECINE, M. C. Effects of inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria from the Brazilian Amazon on the bacterial community associated with maize in field Est a. v. 170, n. November 2021, 2022.

GALINDO, F. S.; RODRIGUES, W. L.; FERNANDES, G. C.; BOLETA, E. H. M.; JALAL, A.; ROSA, P. A. L.; BUZETTI, S.; LAVRES, J.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Enhancing agronomic efficiency and maize grain yield with *Azospirillum brasilense* inoculation under Brazilian savannah conditions. **European Journal of Agronomy**, v. 134, n. April 2021, p. 1–10, 2022.

GAVILANES, F. Z.; SOUZA ANDRADE, D.; ZUCARELI, C.; HORÁCIO, E. H.; SARKIS YUNES, J.; BARBOSA, A. P.; ALVES, L. A. R.; CRUZATTY, L. G.; MADDELA, N. R.; GUIMARÃES, M. DE F. Co-inoculation of *Anabaena cylindrica* with *Azospirillum brasilense* increases grain yield of maize hybrids. **Rhizosphere**, v. 15, p. 100224, 2020.

GOSWAMI, M.; DEKA, S. Plant growth-promoting rhizobacteria—alleviators of abiotic stresses in soil: A review. **Pedosphere**, v. 30, n. 1, p. 40–61, 2020.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Londrina: [s.n.].

JALAL, A.; SILVA OLIVEIRA, C. E. DA; FERNANDES, H. B.; GALINDO, F. S.; SILVA, E. C. DA; FERNANDES, G. C.; NOGUEIRA, T. A. R.; CARVALHO, P. H. G. DE; BALBINO, V. R.; LIMA, B. H. DE; FILHO, M. C. M. T. Diazotrophic Bacteria Is an Alternative Strategy for Increasing Grain Biofortification, Yield and Zinc Use Efficiency of Maize. **Plants**, v. 11, n. 9, p. 1–17, 2022.

KAMINSKY, L. M.; TREXLER, R. V.; MALIK, R. J.; HOCKETT, K. L.; BELL, T. H. The Inherent Conflicts in Developing Soil Microbial Inoculants. **Trends in Biotechnology**, v. 37, n. 2, p. 140–151, 2019.

LEITE, H. M. F.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A.; MENDES, L. W.; MORAES, L. N. DE; GROTO, R. M. T.; ARAUJO, F. F.; PEREIRA, A. P. DE A.; MELO, V. M. M.; ARAUJO, A. S. F. Cover crops shape the soil bacterial community in a tropical soil under no-till. **Applied Soil Ecology**, v. 168, n. January, 2021.

MODESTO, V. C.; ANDREOTTI, M.; NAKAO, A. H.; SOARES, D. DE A.; FROIO, L. DE L.; DICKMANN, L.; PASCOALOTO, I. M.; FERNANDES, I. M. D. M. Yield and Production Components of Corn Under Straw of Marandu Palisade Grass Inoculated With *Azospirillum brasilense* in the Low-Land Cerrado. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, n. February, p. 1–11, 2021.

MOMESSO, L.; CRUSCIOL, C. A. C.; LEITE, M. F. A.; BOSSOLANI, J. W.; KURAMAE, E. E. Agriculture , Ecosystems and Environment Forage Grasses Steer Soil Nitrogen Processes , Microbial Populations , and Microbiome Composition in A Long-term Tropical Agriculture System. v. 323, n. September 2021, 2022.

NASCIMENTO, G.; SOUZA, T. A. F. DE; SILVA, L. J. R. DA; SANTOS, D. Soil physico-chemical properties, biomass production, and root density in a green manure farming system from tropical ecosystem, North-eastern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 21, n. 6, p. 2203–2211, 2021.

NUNES, R. DE O.; DOMICIANO ABRAHÃO, G.; SOUSA ALVES, W. DE; APARECIDA

- DE OLIVEIRA, J.; CÉSAR SOUSA NOGUEIRA, F.; PASQUALOTO CANELLAS, L.; LOPES OLIVARES, F.; BENEDETA ZINGALI, R.; SOARES, M. R. Quantitative proteomic analysis reveals altered enzyme expression profile in *Zea mays* roots during the early stages of colonization by *Herbaspirillum seropedicae*. **Proteomics**, v. 21, n. 7–8, p. 1–12, 2021.
- OLIVEIRA, F. C. C.; PEDROTTI, A.; FELIX, A. G. S.; SOUZA, J. L. S.; HOLANDA, F. S. R.; MELLO, A. V. Chemical characteristics of Ultisols and the corn yield at Costal Plains of Sergipe, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 3, p. 354–360, 2017.
- OLIVEIRA, F. DE A.; SILVA, J. C.; SANTOS, D. P. DOS; BARRETO, J. A. S.; SILVA, C. B. DA; SANTOS, M. A. L. DOS; SANTOS, V. R. DOS. Níveis crescentes de irrigação e maior densidade de plantas aumentam a produtividade do milho verde. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 43371–43381, 2020.
- PEDRAZA, R. O.; FILIPPONE, M. P.; FONTANA, C.; SALAZAR, S. M.; RAMÍREZ-MATA, A.; SIERRA-CACHO, D.; BACA, B. E. **Chapter 6 - Azospirillum**. [s.l.] Elsevier Inc., 2020.
- PEREIRA-DEFILIPPI, L.; PEREIRA, E. M.; SILVA, F. M.; MORO, G. V. Expressed sequence tags related to nitrogen metabolism in maize inoculated with *Azospirillum brasilense*. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 2, p. 1–14, 2017.
- PII, Y.; ALDRIGHETTI, A.; VALENTINUZZI, F.; MIMMO, T.; CESCO, S. *Azospirillum brasilense* inoculation counteracts the induction of nitrate uptake in maize plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 70, n. 4, p. 1313–1324, 2019.
- POSSAMAI, E. J.; CONCEIÇÃO, P. C.; AMADORI, C.; BARTZ, M. L. C.; RALISCH, R.; VICENSI, M.; MARX, E. F. Adoption of the no-tillage system in Paraná State: A (re)view. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, p. 1–24, 2022.
- RIVERO HERRADA, M.; MOZENA LEANDRO, W.; BRITO FERREIRA, E. P. DE. Leguminosas isoladas e consorciadas com milho em diferentes sistemas de manejo do solo no feijão orgânico. **Revista Terra Latinoamericana**, v. 35, n. 4, p. 293, 2017.
- SALVO, L. P. DI; CELLUCCI, G. C.; CARLINO, M. E.; GARCÍA DE SALAMONE, I. E. Plant growth-promoting rhizobacteria inoculation and nitrogen fertilization increase maize (*Zea mays* L.) grain yield and modified rhizosphere microbial communities. **Applied Soil Ecology**, v. 126, n. July 2017, p. 113–120, 2018.
- SKONIESKI, F. R.; VIÉGAS, J.; MARTIN, T. N.; CARLOS MINGOTTI, C. A.; NAETZOLD, S.; TONIN, T. J.; DOTTO, L. R.; MEINERZ, G. R. Effect of nitrogen topdressing fertilization and inoculation of seeds with *azospirillum brasilense* on corn yield and agronomic characteristics. **Agronomy**, v. 9, n. 12, p. 1–11, 2019.
- SOUZA MEDEIROS, A. DE; MALTA FERREIRA MAIA, S.; SANTOS, T. C. DOS; ARAÚJO GOMES, T. C. DE. Soil carbon losses in conventional farming systems due to land-use change in the Brazilian semi-arid region. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 287, n. December 2018, p. 106690, 2020.
- TELLES, T. S.; RIGHETTO, A. J.; LOURENÇO, M. A. P.; BARBOSA, G. M. C. No-tillage system participatory quality index. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 128–133, 2020.
- VIDOTTI, M. S.; MATIAS, F. I.; ALVES, F. C.; RODRÍGUEZ, P. P.; BELTRAN, G. A.;

BURGUENÕ, J.; CROSSA, J.; FRITSCHÉ-NETO, R. Maize responsiveness to *Azospirillum brasilense*: Insights into genetic control, heterosis and genomic prediction. **PLoS ONE**, v. 14, n. 6, p. 1–22, 2019.

ZAMBONIN, G.; PACENTCHUK, F.; LIMA, F. DO N.; HUZAR-NOVAKOWISKI, J.; SANDINI, I. E. Response of maize crop hybrids, with different transgenic events, to inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 12, n. 1, p. 33–40, 2019.

ZEFFA, D. M.; PERINI, L.; SILVA, M. B.; SOUSA, N. V. DE; SCAPIM, C. A.; OLIVEIRA, A. L. M. DE; AMARAL, A. T. DO; GONÇALVES, L. S. A. *Azospirillum brasilense* promotes increases in growth and nitrogen use efficiency of maize genotypes. **PLoS ONE**, v. 14, n. 4, p. 1–19, 2019.

ZULUAGA, M. Y. A.; MILANI, K. M. L.; GONÇALVES, L. S. A.; OLIVEIRA, A. L. M. DE. Diversity and plant growth-promoting functions of diazotrophic/N-scavenging bacteria isolated from the soils and rhizospheres of two species of *Solanum*. **PLoS ONE**, v. 15, n. 1, p. 1–25, 2020.

**CAPÍTULO III-ANÁLISE DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS  
DO ARGISSOLO CULTIVADO COM MILHO VERDE**

## Atributos químicos e físicos do Argissolo cultivado com milho verde em sistema de manejo convencional e conservacionista em experimento de longa duração no Estado de Sergipe

### Resumo

A produtividade do milho é diretamente influenciada pelas características físicas e químicas do solo. As práticas de manejo do solo governam os níveis dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo que se refletem na produtividade das culturas, nos ganhos econômicos e nos impactos ambientais das práticas agrícolas. O presente trabalho objetivou analisar a correlação entre os atributos químicos e físicos do solo e da produtividade do milho verde cultivado sob diferentes sistemas de cultivo, culturas antecedentes e uso de inoculação de bactérias. Analisou-se as variáveis de um experimento de longa duração implantado na Fazenda Experimental da UFS em 2001, os dados se referem à 20ª safra do milho verde. Adotou-se delineamento experimental em três faixas experimentais que correspondem aos sistemas de cultivo convencional (CC), cultivo mínimo (CM) e plantio direto (PD) com parcelas subdivididas com as culturas antecedentes crotalária (*Crotalaria juncea* L.), guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.), caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e milheto (*Pennisetum americanum* L.) que foram aleatorizadas em triplicata. Após 90 dias em campo, realizou-se a semeadura do milho. Foram aplicados dois tratamentos que combinaram inoculação de *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada na forma de ureia. Avaliou-se os parâmetros de produtividade do milho: número de plantas (NP), o número de espigas comerciais (NEC) o peso das espigas comerciais (PEC) e os parâmetros físicos: Resistência Mecânica a Penetração do solo e Densidade do Solo, além dos atributos químicos do solo nas profundidades 0-10 e 10-20 cm. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos desdobradas e comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade com o auxílio do software SISVAR. As características químicas e físicas do solo e produtividade do milho foram analisadas por meio da Análise de Componentes Principais (PCA) com o auxílio do software PAST. Os resultados demonstraram que a adoção das culturas antecedentes aumentou os teores de matéria orgânica do solo nas duas camadas do solo analisadas, em todos os sistemas de cultivo e o PD e CM foram superiores ao CC. A cultura antecedente crotalária reduziu a densidade do solo no CM e CC na camada 0-10. O número de plantas não foram alterados em função dos tratamentos avaliados. A associação entre adoção de guandu no Plantio direto e inoculação de *Azospirillum brasilense* representou a melhor condição para produtividade do milho, sendo equivalente ao tratamento nitrogenado no PD e superior ao tratamento nitrogenado no CC. Esses resultados indicam que o uso de inoculação junto a adoção de culturas antecedentes beneficia os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, representando uma redução de 50% do uso de fertilizante químico reduzindo custos de produção e impactos ambientais.

Palavras-chave: Fertilidade do solo, sistemas conservacionistas, compactação, inoculante.

## 1. INTRODUÇÃO

A fertilidade do solo é crucial para produtividade agrícola, o balanço de nutrientes do solo é afetado pelo manejo de nutrientes nas culturas (Rawal *et al.*, 2022), sendo essencial monitorar os impactos dos sistemas agrícolas para o estabelecimento de melhores práticas de gestão e uso sustentável da terra para mitigar mudanças climáticas, conservar a biodiversidade e garantir segurança alimentar (Luz, da *et al.*, 2019). A sustentabilidade da terra arável está se tornando cada vez mais importante para a produtividade agrícola, já que afeta significativamente a segurança alimentar através da degradação do solo (Possamai *et al.*, 2022).

O ambiente solo planta precisa ser beneficiado pela maior retenção e disponibilidade de água, maior teor de matéria orgânica do solo que resultam em melhorias físicas que se refletem na produtividade das culturas (Reichert *et al.*, 2022). O aumento do nível da compactação do solo é uma séria ameaça para produtividade das culturas, funções ecológicas do solo, desencadeando a redução da produtividade e impactos econômicos negativos. Valores elevados de densidade do solo limitam o desenvolvimento radicular vegetal pela maior resistência de penetração da raiz, associado a baixa permeabilidade do ar e da água (Andognini *et al.*, 2020; Peixoto *et al.*, 2019).

O solo compactado contribui para redução na qualidade do grão de milho devido à redução da absorção de nitrogênio (N) (Wasaya *et al.*, 2018), provoca a degradação da qualidade do solo, levando ao aumento na densidade do solo e diminuição na porosidade (Xiong *et al.*, 2020) e culmina com grandes consequências negativas causados pela compactação do solo como a erosão. A erosão do solo é um dos problemas ambientais do mundo, e é também um incentivo para muitos outros problemas (Yang *et al.*, 2022).

A compactação pode levar à obtenção de maiores valores de resistência do solo à penetração e depende das características do solo e da cultura, sendo determinada por propriedades como densidade, textura, agregação, matéria orgânica, mineralogia e teor de água no solo (Souza *et al.*, 2021). A intensa mecanização agrícola e operações de campo na mesma profundidade e direção, em umidade elevada são as principais causas da compactação do solo comprometendo a qualidade do solo e a sustentabilidade do sistema devido à pressão excessiva dos implementos agrícolas (Andognini *et al.*, 2020).

Para manutenção de cultivos sustentáveis e grãos com alta qualidade, deve-se atentar para os atributos químicos e distribuição de nutrientes do perfil do solo aliado às práticas conservacionistas de cultivo, a depender do tipo de solo, do sistema de cultivo, do clima, da aplicação de fertilizantes e outras práticas de manejo. A depender do clima, o tipo de solo e a

profundidade de incorporação também pode levar a oxidação acelerada da matéria orgânica do solo (Sithole e Magwaza, 2019). Um sistema de cultivo contínuo de milho-trigo pode esgotar a fertilidade do solo (Rawal *et al.*, 2022).

A qualidade física do solo é um componente que se refere a capacidade de boa estruturação, promover a proliferação e desenvolvimento de raízes, aumentar a população e diversidade microbiana e resistir a erosão e compactação do solo (Anghinoni *et al.*, 2019). O manejo pode expor o solo à ação da chuva e às forças erosivas do vento, que podem aumentar a erosão, perda de nutrientes emissões de gases de efeito estufa, principalmente com a ocorrência de chuvas intensas após o revolvimento do solo (Peixoto *et al.*, 2019).

Os sistemas de cultivo influenciam nas propriedades químicas e físicas do solo sendo importantes na gestão das práticas agrícolas ao longo dos anos. O Plantio direto é essencial para aumentar e assim predispor níveis mais elevados dos estoques de carbono, retenção de água, ciclagem de nutrientes, diversidade e atividade biológica (Luz, da *et al.*, 2019). O cultivo convencional em longo prazo limita a capacidade das raízes de penetrar no solo e, conseqüentemente, absorver nutrientes e água em camadas mais profundas (Xiong *et al.*, 2020).

O uso de culturas antecedentes é relevante em benefícios ao solo e conseqüentemente a produtividade agrícola. As culturas antecedentes criam um ambiente extremamente favorável ao crescimento vegetal, contribuindo para a estabilização da produção e para a recuperação ou manutenção das desejáveis características e propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Nascimento *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2017).

Associado às práticas benéficas anteriormente elencadas, o uso de inoculantes vem crescendo entre as estratégias biológicas para mitigar impactos ambientais do uso de fertilizantes químicos, reduzir custos de produção e favorecer o crescimento vegetal em condições restritas, por meio de diferentes mecanismos promotores de crescimento entre eles a fixação biológica de nitrogênio pelas bactérias diazotróficas, que também podem proporcionar melhorias nas propriedades biológicas do solo (Bennett, Pankievicz e Ané, 2020; Zuluaga *et al.*, 2020)

A degradação biológica do solo está relacionada com a redução ou esgotamento da matéria orgânica do solo, o balanço negativo contínuo de nutrientes do solo e o desequilíbrio da aplicação de fertilizantes (Possamai *et al.*, 2022). Assim, o que se preconiza como qualidade do solo é uma combinação de propriedades físicas, químicas e biológicas, contribui para a compreensão dos limites de cada solo, e esclarece quais são as medidas necessárias para a sua recuperação em caso de degradação (Silva *et al.*, 2020). Em face ao exposto, o uso de plantios de longo duração são pertinentes para investigar os efeitos do manejo, da química e física do

solo e na dinâmica dos nutrientes para auxiliar no desenvolvimento de estratégias de gestão de para otimizar a produção agrícola (Sithole e Magwaza, 2019).

Assim, o monitoramento através da avaliação dos parâmetros determinantes na qualidade do solo, com foco na sustentabilidade da produção, é relevante e necessário, principalmente considerando que em algumas regiões do Brasil, nem sempre isto é feito, sendo mais raro em condições de longa duração. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a correlação entre os atributos químicos e físicos do solo e da produtividade do milho verde cultivado sob diferentes sistemas de cultivo, com o uso de culturas antecedentes e inoculação das sementes de milho com *Azospirillum brasilense*.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O solo avaliado sob condições de produção e em longa duração que foi implantado no “Campus Rural” – Fazenda Experimental da Universidade Federal de Sergipe (10°55’S e 37°11’O), no ano de 2001. Os resultados apresentados neste trabalho se referem ao vigésimo ano de cultivo. O solo do local, de acordo com Embrapa (1999) é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, derivado de sedimentos do grupo Barreiras.

O delineamento experimental adotado consiste em faixas experimentais com subparcelas divididas (Pimentel Gomes, 1990), onde nas faixas há a implantação de três sistemas de cultivo que se diferem pelas formas de preparação do solo, e nas parcelas subdivididas culturas antecedentes aleatorizadas dentro de cada faixa em três repetições, como descritos na Tabela 1.

Tabela 1- Práticas adotadas ao preparo do solo para cultivo do milho verde em experimento de longa duração.

Sistema de cultivo	Preparo do solo	Controle de Plantas daninhas	Culturas antecedentes
CC	Grade niveladora, seguida de grade aradora e grade niveladora.	Capina manual associado ao uso de herbicidas específicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Crotalária (<i>Crotalaria juncea</i> L.);</li> <li>▪ Guandu (<i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.);</li> <li>▪ Caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.);</li> <li>▪ Milheto (<i>Pennisetum americanum</i> L.).</li> </ul>
CM	Grade niveladora leve fechada (atuação média até 8 cm).	Capina manual;	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Crotalária (<i>Crotalaria juncea</i> L.);</li> <li>▪ Guandu (<i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.);</li> <li>▪ Caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.);</li> <li>▪ Milheto (<i>Pennisetum americanum</i> L.).</li> </ul>
PD	Nenhum implemento de preparo do solo foi utilizado após o 1º ano de condução.	Capina manual associada a herbicidas de ação total ( <i>Glyphosate</i> ); ou seletivo ( <i>Nicosulfuron</i> ).	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Crotalária (<i>Crotalaria juncea</i> L.);</li> <li>▪ Guandu (<i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.);</li> <li>▪ Caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.);</li> <li>▪ Milheto (<i>Pennisetum americanum</i> L.).</li> </ul>

Fonte: Elaborado pela autora.

As quatro diferentes espécies de culturas antecedentes foram aleatorizadas dentro de cada faixa em três repetições, após 90 dias em campo, as plantas foram cortadas, aportadas ao solo e realizado o plantio de milho verde.

Os tratamentos aplicados estão descritos na Tabela 2., se referem a dois tratamentos com a combinação entre inoculação e adubação nitrogenada, três sistemas de cultivo e quatro culturas antecedentes, consistindo em (2x3x4) 24 tratamentos.

Tabela 2. Tratamentos aplicados ao cultivo do milho verde em experimento de longa duração.

Tratamentos	Dose de N (ureia 45%)	Inoculante ( <i>A. brasilense</i> )	Sistemas de cultivo	Culturas antecedentes
<b>1-Inoculado</b>	50% da dose recomendada (120Kg/ha <sup>-1</sup> )	Presente	1-Cultivo convencional 2-Cultivo Mínimo 3-Plantio Direto	1-Crotalária 2-Caupi 3-Milheto 4-Guandu
<b>2-Nitrogenado</b>	100% da dose recomendada (120Kg/ha <sup>-1</sup> )	Ausente	1-Cultivo convencional 2-Cultivo Mínimo 3-Plantio Direto	1-Crotalária 2-Caupi 3-Milheto 4-Guandu

Fonte: Elaborado pela autora.

A semeadura do milho foi realizada com semeadora tratorizada em espaçamento médio de 0,2 m na linha e 0,8 m na entrelinha. A semente utilizada foi a variedade híbrido convencional, de duplo propósito - para consumo de milho verde e produção de silagem BM3066 (Biomatrix®) tratada previamente com (Tiodicarbe e Imidacloprido) CropStar®.

Para adubação nitrogenada foram adotados dois tratamentos, onde foi associada à tecnologia da inoculação da bactéria. As sementes do milho foram tratadas e inoculadas com um inoculante líquido comercial, *Azospirillum brasilense* Azo Total (Total-bio®). A adubação nitrogenada na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de ureia (45% de N), foi parcelada entre a semeadura, 30 e 45 dias posteriores à germinação das plântulas. Todos os tratamentos também receberam 90 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triplo (19% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 110 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio (59% de K<sub>2</sub>O) (Sobral et al., 2007).

Cada parcela útil foi constituída de um total de 160 plantas, em 4 linhas de 4 m para cada tratamento com espaçamento 0,8 por 0,2 m. A avaliação foi realizada dentro de cada parcela útil com a colheita do milho onde foram avaliados o número de plantas (NP), o número de espigas comerciais (NEC) o peso das espigas comerciais (PEC). As espigas comerciais foram definidas pelos parâmetros de peso médio de 250g, diâmetro médio de 18cm e comprimento médio de 24cm determinados de forma visual.

Após coleta das espigas comerciais, e avaliação dos demais parâmetros de produtividade, realizou-se a coleta, de forma aleatória em cada parcela de 6 amostras de solo simples para cada amostra composta em cada profundidade (camadas de 0-10 e 10-20 cm), além das amostras indeformadas, para avaliação da densidade e umidade (pelo método do Anel Volumétrico, conforme BLAKE; HARTGE, 1986), em três repetições. Como testemunha foram obtidas amostras de um fragmento de solo da Mata Nativa secundária, sob Argissolo Vermelho Amarelo também localizada na Fazenda Experimental da UFS, a uma distância de 600 m. do local de implantação do experimento.

As amostras foram secas em estufa a 105°C para determinação da densidade do solo (BLAKE; HARTGE, 1986). Também foi avaliada em campo a Resistência mecânica do solo a penetração (RMP) com penetrômetro eletrônico (FALKER PLG1020). Como parâmetros químicos nas amostras de solo avaliou-se o pH em água, P disponível, K disponível, Ca disponível, Mg disponível, Matéria Orgânica do Solo (M.O). As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Análises de solo do Departamento de Análise de Solo da Universidade Federal de Lavras.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos desdobradas e comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade com o auxílio do software SISVAR (Ferreira, 2003). As características químicas e físicas do solo e produtividade do milho foram analisadas por meio da Análise de Componentes Principais (PCA) com o auxílio do software PAST.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da influência de sistemas de cultivo e culturas antecedentes sob os parâmetros químicos do solo está apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3- Resumo da análise de variância dos atributos químicos de um Argissolo, camadas 0-10 e 10-20 cm, submetido a três sistemas de cultivo e quatro culturas antecedentes ao cultivo do milho.

Fonte de Variação	pH	P	K	Ca	Mg	M.O
	F calculado					
Sistema de Cultivo (SC)	3,162	9,457*	12,123*	8,746*	5,800*	12,749*
Cultura Antecedente (CA)	2,832	3,582*	5,308*	0,753	0,685	4,412*
SC x CA	0,574	0,704	6,321*	0,409	-0,028	-2,387
Profundidade (Prof)	1,404	0,533	21,408*	4,931	2,301	89,714*
SC x Prof	0,337	0,554	2,032	0,352	0,066	8,183*
CA x Prof	0,314	0,117	2,184	0,235	0,106	1,756
SC x CA x Prof	0,358	0,219	4,564*	0,183	0,044	-0,042

Diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey representada por \*.

O teor de K foi influenciado por todos os fatores analisados com significativa interação entre sistemas de cultivo, culturas antecedentes e profundidade. A profundidade do solo, os sistemas de cultivo e as culturas antecedentes influenciaram os teores de M.O do solo, sendo significativa a interação entre sistema de cultivo e profundidade para esse parâmetro (Tabela 3). Esses resultados reforçam que a intensificação de práticas agrícolas levam a degradação dos estoques de carbono do solo e as culturas antecedentes favorecem diretamente a fertilidade do solo por meio da ciclagem de N, levando ao acúmulo da matéria orgânica do solo e armazenamento do carbono resultante (Mortensen *et al.*, 2021).

O aumento no teor de P foi observado nos sistemas de cultivo, os dados estão apresentados na Tabela 4. O cultivo mínimo aumentou o teor de P em 28% em relação ao cultivo convencional e 70% a amostra de referência, o plantio direto aumentou o teor de P em 42% em relação ao cultivo convencional e 89% a amostra de referência. O teor de P foi considerado adequado em todos os sistemas de cultivo de acordo com a interpretação de análises de solo descritas por Sobral *et al.*, 2015 para solos da região dos Tabuleiros Costeiros Sergipano. O Cultivo mínimo também apresentou maiores teores de K, Ca, Mg e M.O.

Tabela 4. Níveis dos atributos químicos de Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes sistemas de cultivo. Para a safra de milho verde em 2020.

Sistema de Cultivo	Camada (cm)	pH	P (mg dm <sup>-3</sup> )	K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	M.O (dag kg <sup>-1</sup> )
CC	0-10	5,29 aA	30,9 abA	101,1 abA	0,9 bA	0,45 aA	1,37 bA
	10-20	5,15 aA	26,6 abA	92,88 abA	0,9 aA	0,41 aA	1,17 aA
CM	0-10	5,54 aA	39,7 abA	123,1 aA	1,4 aA	0,66 aA	1,76 aA
	10-20	5,35 aA	43,0 aA	109,6 aA	1,2 aA	0,58 aA	1,19 aB
PD	0-10	5,13 aA	43,9 aA	114,9 aA	1,0 abA	0,44 aA	1,57 abA
	10-20	5,11 aA	39,6 aA	85,23 bB	0,8 aA	0,37 aA	0,76 bB
Testemunha	0-10	5,16 aA	23,24 bA	80,72 bA	1,0 abA	0,62 aA	0,97 cA
	10-20	5,23 aA	18,4 bA	74,94 bA	0,89 aA	0,52 aA	0,83 bA

CC- Cultivo Convencional, CM- Cultivo Mínimo, PD-Plantio Direto. Letras minúsculas diferenciam os sistemas de cultivo em cada camada do solo, letras maiúsculas diferenciam as diferentes camadas dentro do mesmo sistema de cultivo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Todos os sistemas de cultivo apresentaram maior teor de M.O em relação a testemunha na camada de 0-10 cm, para esta profundidade, o Cultivo mínimo aumentou em 28% o teor de M.O em relação ao cultivo convencional e 81% a amostra de referência e o Plantio direto aumentou em 14% em relação ao sistema de cultivo convencional e 61% a amostra de referência (Tabela 4). Esse resultado corrobora com um estudo recente que ao avaliar os atributos químicos do solo cultivado com diferentes culturas e sistemas de cultivo, entre eles o cultivo de

milho sob plantio direto, identificou que as maiores alterações nos atributos químicos do solo ocorrem nas camadas mais superficiais do solo (Tezolin *et al.*, 2021). Isso foi verificado no presente estudo onde avaliação dos atributos químicos nos diferentes sistemas de cultivo apresentou maior acúmulo de matéria orgânica na cama superficial 0-10 cm.

No CC o maior teor de M.O foi encontrado na camada de 10-20 não diferindo do teor em CM (Tabela 4). Não foram observadas entre os sistemas de cultivo alterações no pH apresentando valores dentro da normalidade em valores classificados como médios para o solo da região.

Os valores obtidos indicam que o alumínio trocável está quase na sua totalidade insolubilizado e assim, não causa mais danos as raízes das plantas das culturas comerciais (Sobral *et al.*, 2015).

As culturas antecedentes provocaram aumentos dos teores de K e M.O em até 56% e 77% respectivamente, em relação a testemunha, mas não diferiram significativamente entre elas dentro da mesma camada analisada como observado na Tabela 5. Observou-se diferenças significativas entre os teores de K nas diferentes camadas do solo cultivado com crotalária e com guandu, os valores na camada de 0-10 cm foram superiores a camada 10-20 cm. Os teores de potássio foram considerados altos que indicam presença de minerais primários e pouco intemperismo, o que ocorre em solos de regiões mais secas (Sobral *et al.*, 2015). O maior teor de M.O foi identificado na camada de 0-10 cm do solo cultivado com todas as culturas antecedentes (Tabela 5).

Tabela 5. Atributos químicos de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes culturas antecedentes na camada de 0-10 cm. Para a safra de milho verde em 2020.

Cultura Antecedente		pH	P	K	Ca	Mg	M.O
			(mg dm <sup>-3</sup> )	(mg dm <sup>-3</sup> )	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	(dag kg <sup>-1</sup> )
<b>Caupi</b>	0-10	5,4 aA	35,0 aA	104,4 abA	1,1 aA	0,5 aA	1,6 aA
	10-20	5,3 aA	34,4 abA	103,3 aA	0,9 aA	0,4 aA	0,9 aB
<b>Milheto</b>	0-10	5,5 aA	41,0 aA	109,5 aA	1,1 aA	0,5 aA	1,4 aA
	10-20	5,3 aA	41,4 aA	93,6 abA	1,1 aA	0,5 aA	1,0 aB
<b>Crotalária</b>	0-10	5,1 aA	35,8 aA	113,9 aA	1,0 aA	0,4 aA	1,5 aA
	10-20	5,1 aA	33,1 abA	88,6 abB	0,9 aA	0,4 aA	1,0 aB
<b>Guandu</b>	0-10	5,2 aA	40,8 aA	126,5 aA	1,1 aA	0,4 aA	1,57 aA
	10-20	5,0 aA	36,7 abA	97,9 abB	0,8 aA	0,4 aA	1,0 aB
<b>Testemunha</b>	0-10	5,1 aA	23,2 aA	80,7 bA	1,0 aA	0,6 aA	0,9 bA
	10-20	5,2 aA	18,4 bA	74,9 bA	0,8 aA	0,5 aA	0,8 aB

Letras minúsculas diferenciam as culturas antecedentes em cada camada de solo, letras maiúsculas diferenciam as diferentes camadas dentro da mesma cultura antecedente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O aumento dos teores de matéria orgânica obtidos nos sistemas conservacionistas aqui analisados (Tabela 5), podem estar relacionados ao fato de que, em Plantio direto a cobertura

do solo possibilita melhor estruturação do solo, com maior incremento na matéria orgânica, aumentando a estabilidade de agregados. Além disso, representa respostas positivas também para mitigar os efeitos do sistema de cultivo convencional, já que os teores de matéria orgânica são importantes por dissipar a energia proveniente do trânsito de máquinas e animais sobre o solo (Tezolin *et al.*, 2021).

Os dados referentes ao aumento do teor da matéria orgânica do solo aqui são relevantes, pois a matéria orgânica é fundamental para o funcionamento de muitos componentes físicos, processos químicos e biológicos no solo, como armazenamento de nutrientes e capacidade de troca, estabilidade estrutural do solo e porosidade, disponibilidade de água e elasticidade do solo (Reichert *et al.*, 2018). Essas estratégias de cultivo analisadas podem favorecer a manutenção dos estoques de carbono pois a redução destes é um aspecto negativo decorrente do manejo em áreas irrigadas e o carbono pode acumular-se em diferentes compartimentos na matéria orgânica do solo (Pinheiro Junior *et al.*, 2021).

Tabela 6. Teor de fósforo disponível (P) e de matéria orgânica do solo (M.O) em diferentes sistemas de cultivo e culturas antecedentes ao cultivo de milho.

Sistema de cultivo	Cultura antecedente	P (mg dm <sup>-3</sup> )				M.O (dag kg <sup>-1</sup> )			
		0-10		10-20		0-10		10-20	
CC	CAUPI	32,9	aA	27,7	aA	1,5*	bA	1,2	aA
CC	MILHETO	31,2	aA	25,0	bA	1,3	aA	1,2	aA
CC	CROTALÁRIA	26,8	aA	27,5	aA	1,5	aA	1,2	aA
CC	GUANDU	32,9	aA	26,5	aA	1,3	bA	1,1	aA
CM	CAUPI	42,5	aA	46,1	aA	2,0*	aA	1,0	aA
CM	MILHETO	46,2	aA	56,7	aA	1,7	aA	1,3	aA
CM	CROTALÁRIA	34,0	aA	33,8	aA	1,7	aA	1,2	aA
CM	GUANDU	36,4	aA	35,6	aA	1,7	abA	1,3	aA
PD	CAUPI	29,8	aA	29,6	aA	1,6*	abA	0,8	aA
PD	MILHETO	45,9	aA	42,6	abA	1,4*	aA	0,6	bA
PD	CROTALÁRIA	46,7	aA	38,2	aA	1,5	aA	0,8	aA
PD	GUANDU	53,4	aA	48,1	aA	1,8*	aA	0,9	aA

Letra minúscula na coluna compara efeito do sistema de cultivo na cultura e letra maiúscula compara efeito de cultura em cada sistema de cultivo pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Diferença estatística ( $p < 0,05$ ), entre as camadas é representado por \* na linha.

Os teores de P não diferiram entre as camadas de solo quando avaliada a interação do efeito entre culturas antecedentes e sistemas de cultivo, observados na Tabela 6. Os efeitos de culturas antecedentes em cada sistema de cultivo não diferiram estatisticamente, mas o Cultivo mínimo aumentou em 33% os teores de M.O do solo cultivado com caupi, na camada de 0-10 cm, em relação ao sistema de cultivo convencional.

Não se observou diferença estatística significativa entre os efeitos dos sistemas de cultivo e crotalária, nem entre as camadas em relação ao teor de p no solo (Tabela 6). O Plantio direto e associado ao cultivo do milho como cultura antecedente provocaram aumento do teor de M.O na camada de 0-10 em relação a camada de 10-20 cm.

Para os parâmetros físicos do solo, avaliou-se a densidade e a resistência mecânica a penetração, onde foram analisados pelos desdobramentos entre sistemas de cultivo, culturas antecedentes e profundidades do solo, os dados estão apresentados na Tabela 7. Os respectivos dados revelam que os sistemas de cultivos não diferiram para cada cultura e profundidade analisadas quanto a densidade do solo e RMP, também não houve diferença estatística significativa entre as culturas antecedentes para cada sistema de cultivo estudado.

Tabela 7. Atributos físicos de um Argissolo sob diferentes sistemas de cultivo, culturas antecedentes e profundidade. Para a safra de milho verde em 2020.

CULTURA	SC	DENSIDADE		RMP	
		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
CAUPI	CC	1,61 aA	1,71 aA	1536,05 aA	1290,22 aA
MILHETO	CC	1,65 aA	1,70 aA	1244,94 aA	1154,16 aA
CROTALÁRIA	CC	1,58 aA	1,81 aA*	1357,50 aA	1186,33 aA
GUANDU	CC	1,60 aA	1,69 aA	1572,0 aA	1548,94 aA
CAUPI	CM	1,61 aA	1,67 aA	1615,16 aA	1177,22 aA
MILHETO	CM	1,58 aA	1,67 aA	1754,44 aA*	1217,05 aA
CROTALÁRIA	CM	1,47 aA	1,71 aA*	1549,22 aA	1222,83 aA
GUANDU	CM	1,58 aA	1,73 aA	1424,85 aA	1129,27 aA
CAUPI	PD	1,62 aA	1,77 aA	1624,44 aA	1281,5 aA
MILHETO	PD	1,69 aA	1,70 aA	1551,83 aA	1290,5 aA
CROTALÁRIA	PD	1,59 aA	1,65 aA	1433,72 aA	1273,94 aA
GUANDU	PD	1,56 aA	1,68 aA	1577,61 aA	1301,94 aA

Letra minúscula na coluna compara efeito de sistema de cultivo em cada cultura e profundidade. Letra maiúscula na coluna compara efeito das culturas para cada sistema de cultivo e profundidade. Presença de \* na linha compara entre profundidade entre culturas e sistemas de cultivo.

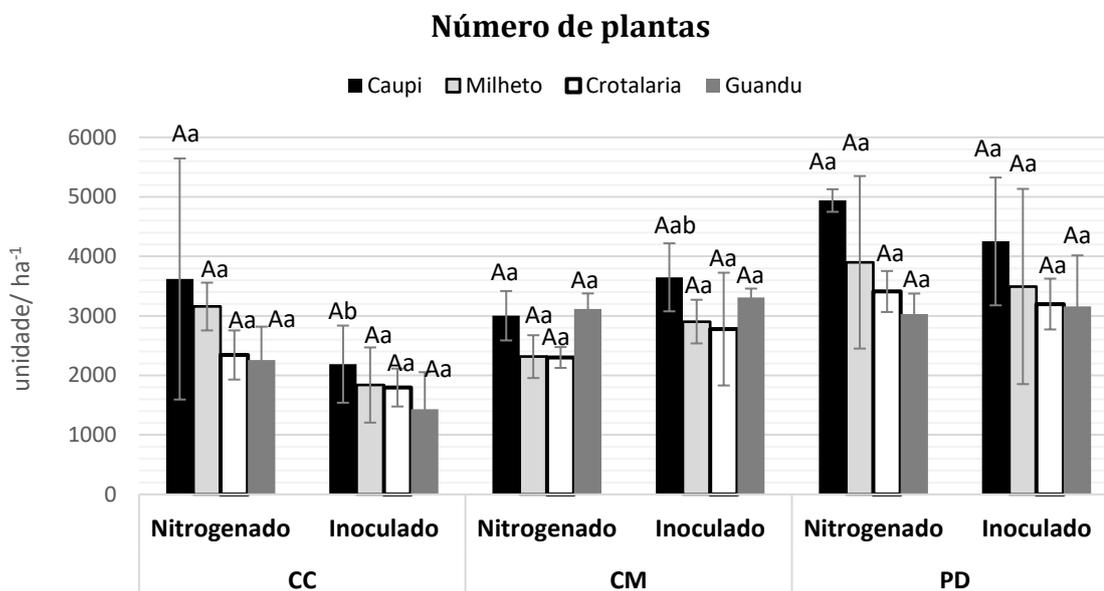
O solo cultivado com crotalária apresentou menores valores de densidade na camada 0-10cm em relação à camada 10-20cm no sistema de cultivo convencional e Cultivo mínimo que apresentou o solo menos compactado entre todas as condições avaliadas, conforme os dados apresentados na Tabela 7.

As culturas antecedentes como crotalária são uma ótima alternativa para descompactar e melhorar a estrutura do solo, propiciando a formação de bioporos, aumentando o movimento de água e a difusão de gases no solo (Thomé *et al.*, 2021) isso explica

a menor densidade obtida na camada superficial do solo 0-10cm quando associada a adoção desta cultura tanto no sistema de cultivo convencional, mas principalmente no Cultivo mínimo que é conservacionista. Os efeitos positivos de todas as culturas avaliadas podem se relacionar aos agentes ligantes de plantas, como as raízes, que aumentam a estabilização de macroagregados e a incorporação da palha que está relacionada ao carbono orgânico do solo pelo aumento da entrada de matéria orgânica garantindo a manutenção da estabilidade estrutural do solo (Qi *et al.*, 2022).

A produtividade do milho, traduzida em número de espigas comerciais de milho verde, analisada apresentou diferenças estatísticas significativas para as variáveis avaliadas sob efeito dos tratamentos utilizados diferentes sistemas de cultivo, uso de culturas antecedentes e as diferentes doses de N associadas ou não a inoculação de *Azospirillum brasilense*. Não foi identificada alteração no número de plantas pelo uso de culturas antecedentes nos diferentes sistemas de cultivo e independente do uso de adubação nitrogenada (100%) ou inoculação de *A. brasilense* como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1. Número de plantas de milho cultivado sob diferentes sistemas de cultivo, uso de culturas antecedentes e adubação total nitrogenada ou inoculada com *Azospirillum brasilense*.



Letras minúsculas compara entre sistemas de cultivo para mesma cultura e adubação. Letras maiúsculas compara entre culturas no mesmo sistema de cultivo. Presença de \* para diferenças entre adubação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O stand foi adequado quando se avaliou o número e nível de crescimento das plantas, o nível de crescimento vegetal é dependente da nutrição do solo pelos componentes minerais necessários como o nitrogênio, além de hormônios vegetais. As bactérias promotoras do

crescimento vegetal atuam a partir de diferentes mecanismos entre eles a fixação biológica de nitrogênio e a produção de fitormônios (Bennett, Pankievicz e Ané, 2020), estes mecanismos que podem ter sido combinados aos diferentes sistemas de cultivo e culturas antecedentes avaliadas o que refletem respostas positivas a redução do uso do fertilizante nitrogenado com adoção da inoculação.

O *Azospirillum brasilense* usado como inoculante, apresenta mecanismo para desenvolvimento da raiz pela síntese de fitormônios, e aumento da atividade da membrana, levam a maiores absorções de nutrientes e água, mitigação do estresse abiótico, potencializando o desenvolvimento vegetal (Barbosa *et al.*, 2022), o que garantiu a promoção do crescimento vegetal aqui observada.

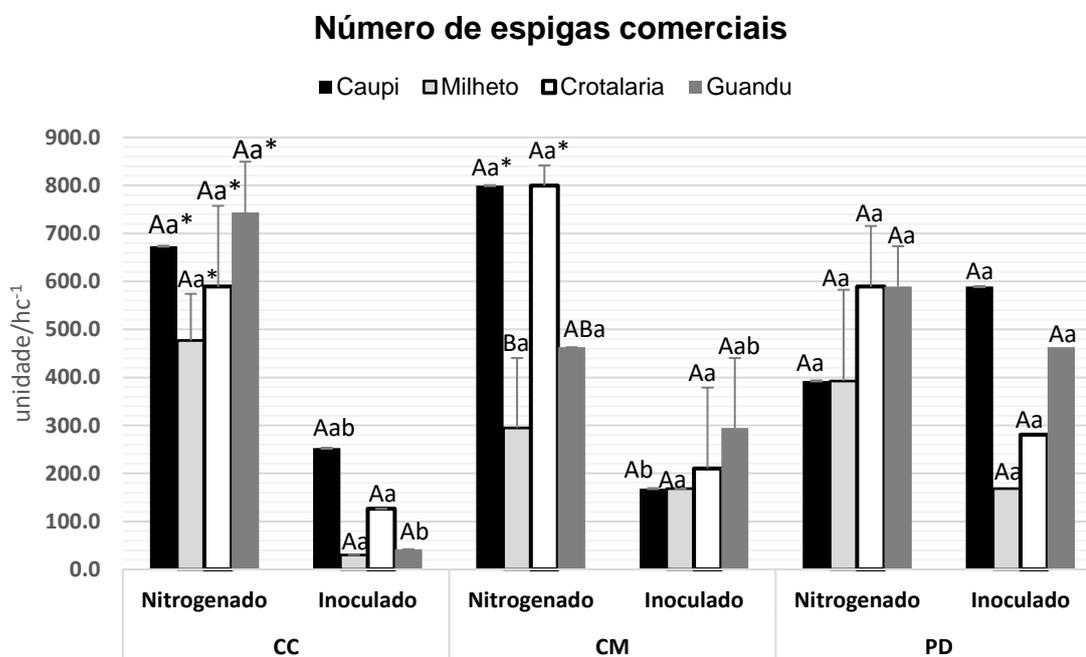
No presente estudo a redução de 50% do uso de fertilizante nitrogenado químico com o uso da inoculação de *Azospirillum brasilense* associado a diferentes culturas antecedentes, apresentou efeito similar ao uso apenas da dose total de N para o crescimento das plantas do milho, demonstrando ser uma estratégia que pode ser aplicada reduzindo os custos de produção e impactos ambientais, mas garantindo um stand adequado nas lavouras.

Ao analisar o número de espigas comerciais de milho como parâmetro de produtividade observou-se que este número não foi alterado pelas diferentes culturas antecedentes no CC com adubação total nitrogenada, mas para este mesmo sistema de cultivo o tratamento nitrogenado foi superior ao tratamento inoculado para todas as culturas utilizadas, dados apresentados na Figura 2.

No Cultivo mínimo, as culturas antecedentes do caupi e da crotalária foram as culturas que mais favoreceram o número de espigas comerciais do milho juntamente com a adubação nitrogenada. No entanto, a produtividade relacionada ao uso de milheto e guandu com adubação nitrogenada não diferiram do uso de inoculação para este sistema de cultivo.

A compensação nutricional da cultura pode ter sido potencializada pelo fato da adoção das leguminosas caupi, crotalária e guandu como culturas antecedentes. As plantas leguminosas são vastamente estudadas pela capacidade de fixação biológica de nitrogênio, seus nódulos e raízes fornecem um nicho rico em nutrientes para acomodar um grande pool de endófitos rizobianos e não rizobianos (Bhutani *et al.*, 2021).

Figura 2. Número de espigas comerciais de milho verde cultivado sob diferentes sistemas de cultivo, uso de culturas antecedentes e adubação total nitrogenada ou inoculada com *Azospirillum brasilense*



Letras minúsculas compara entre sistemas de cultivo para mesma cultura e adubação. Letras maiúsculas compara entre culturas no mesmo sistema de cultivo. Presença de \* para diferenças entre adubação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O feijão caupi foi uma das culturas antecedentes ao milho que mais favoreceram a produtividade mais elevada de espigas de milho seu sucesso pode estar relacionado com seu importante papel desempenho que envolve a ciclagem de nutrientes, particularmente a fixação biológica de nitrogênio em regiões áridas e regiões semi-áridas, esta cultura está associada a uma grande diversidade de bactérias rizóbios de alto valor ecológico, melhorando a fertilidade biológica do solo e a produção de safras (Muindi *et al.*, 2021) e as respostas positivas aqui obtidas podem ser resultantes destas características de associação entre a cultura e a diversidade de bactérias nativas ou a inoculada.

A cultura antecedente do milheto também foi um cultura que respondeu bem a associação com sistemas de cultivo e uso da inoculação, apesar de esta cultura pertencer a família Poáceae, as associações endofíticas entre bactérias fixadoras de nitrogênio e gramíneas como milheto não envolvem a nodulação, mas a colonização das bactérias nos tecidos vegetais e na rizosfera, garantindo a eficiência na promoção do crescimento vegetal, não apenas pelo processo biológico de fixação de N, mas também por meio de mecanismos como a produção de fitormônios, sideróforos e a solubilização de fosfato (Barbosa *et al.*, 2022; Bennett, Pankievicz e Ané, 2020). Somando-se os benefícios da microbiota endofítica do milheto ao Cultivo mínimo

e a tecnologia da inoculação, obteve-se uma condição ideal de compensação de N equivalente à adubação tradicional limitada ao uso de fertilizante químico nitrogenado. O cultivo de gramíneas forrageiras aumenta os fixadores de N e diminui os nitrificadores e desnitrificantes em comparação com solo não cultivado (Momesso *et al.*, 2022) benefícios importantes e vantajosos ao meio ambiente.

Para o tratamento inoculado houve uma redução de 50% da dose de N, no entanto, a adoção das culturas caupi e milho resultou em número de espigas considerado igual ao tratamento nitrogenado, isso indica que a promoção do crescimento das plantas pelas diferentes culturas pode estar relacionada a fixação biológica do nitrogênio pela bactéria que foi inoculada no plantio, pelos diferentes mecanismos da microbiota natural do solo, tanto pelas bactérias simbióticas e associativas.

Para o Plantio direto o número de espigas comerciais não diferiu estatisticamente entre o uso das diferentes culturas antecedentes no mesmo tratamento de adubação. Comparando-se o uso dessas culturas no plantio direto entre os tratamentos nitrogenado e inoculado também não diferiram.

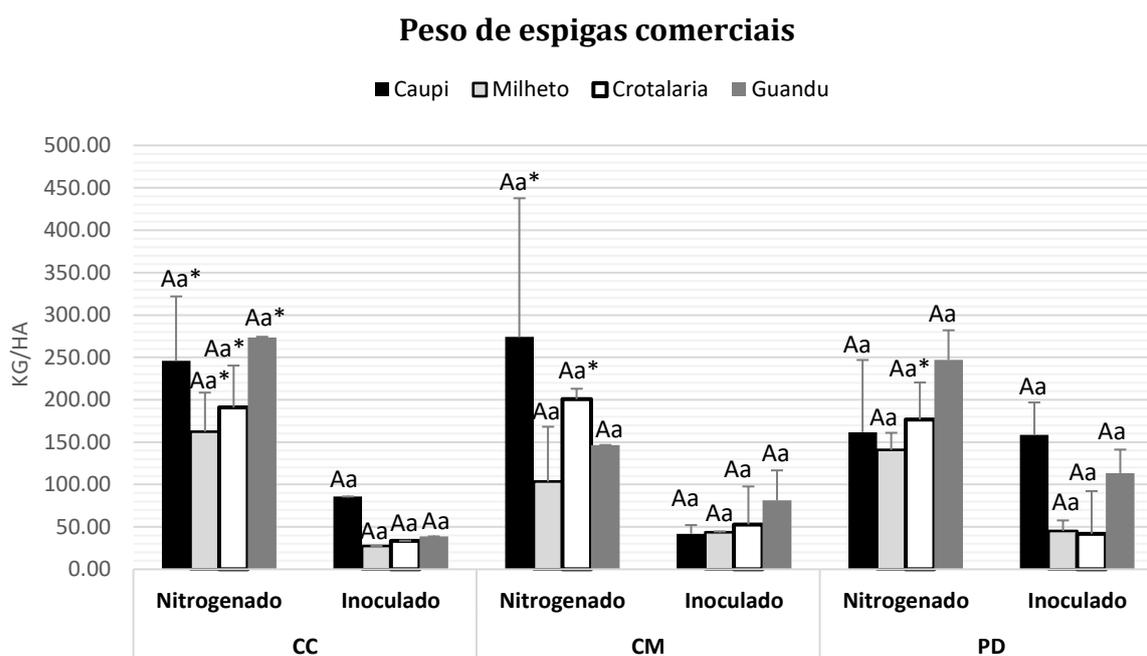
O uso de milho e crotalária como culturas antecedentes apresentaram número de espigas menor quando associadas a inoculação no plantio direto, mas não diferiram entre os tratamentos nitrogenado e inoculado no plantio direto. O uso de crotalária resultou em maior número de espigas comerciais no cultivo mínimo e convencional com tratamento nitrogenado. Esses resultados se associam as dificuldades de se avaliar a inoculação em condições de campo, pois a eficácia inconsistente de inoculantes microbianos pode ser explicada por vários fatores bióticos e abióticos não controlados que podem atuar contra a sobrevivência do microrganismo introduzido (Ferrarezi *et al.*, 2022) estas dificuldades aqui refletidas, demonstram a importância de se analisar as condições locais na busca de condições ideais. Além dos sistemas de cultivos, as espécies de culturas de antecedentes moldam a estrutura e as redes da comunidade microbiana, com mudanças na diversidade de grupos de bactérias relacionadas à qualidade do solo (Leite *et al.*, 2021).

Ao analisar a interação entre a aplicação das culturas antecedentes e as formas de adubação, observou-se que o número de espigas comerciais não diferiu para as culturas nos diferentes sistemas de cultivo quando avaliado o tratamento nitrogenado (Figura 2), no entanto quando utilizada a inoculação de *Azospirillum brasilense* com redução de 50% no uso de nitrogênio e o uso do caupi no plantio direto, o número de espigas foram estatisticamente de forma significativa superiores aos demais sistemas de cultivo nesta mesma condição, estes valores foram considerados estatisticamente iguais ao uso de todas as culturas antecedentes com

tratamento de 100% de nitrogênio no plantio direto. A associação de guandu como cultura antecedente e inoculação no Plantio direto não diferiu do tratamento nitrogenado e foi superior a adoção dessa condição no sistema de cultivo convencional.

A presença da adubação nitrogenada foi determinante para o peso de espigas comerciais no sistema de cultivo convencional, onde a associação de todas as culturas antecedentes, que não diferiram entre si nesse tratamento, superou o tratamento inoculado como pode ser observado na Figura 3. Caupi e crotalária foram as culturas que favoreceram o maior peso de espigas no Cultivo mínimo quando aplicada adubação nitrogenada comparando-se com a inoculação.

Figura 3. Peso de espigas comerciais de milho verde cultivado sob diferentes sistemas de cultivo, uso de culturas antecedentes e adubação total nitrogenada ou inoculada com *Azospirillum brasilense*



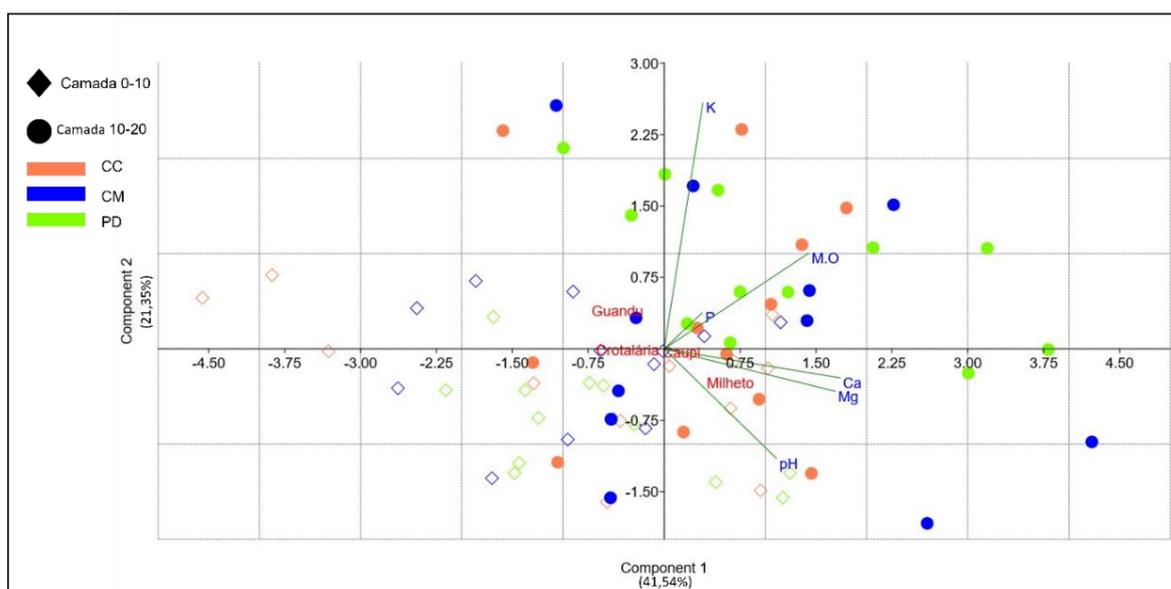
Letras minúsculas compara entre sistemas de cultivo para mesma cultura e adubação. Letras maiúsculas compara entre culturas no mesmo sistema de cultivo. Presença de \* para diferenças entre adubação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A adubação não diferiu quanto ao peso de espigas entre o uso de milheto e guandu no cultivo mínimo. No plantio direto apenas o uso de crotalária aumentou o peso de espigas comerciais com tratamento nitrogenado, o peso de espigas associado as demais culturas não diferiram entre as formas de adubação. A crotalária provavelmente aumenta o N do solo devido

à sua baixa relação C/N, que aumenta a mineralização dos resíduos da planta e a disponibilidade de nutrientes (Leite *et al.*, 2021).

Analisando a PCA dos componentes químicos do solo observou-se na figura 4. que os dois primeiros eixos da PCA explicaram 62,89% da variação. O primeiro eixo se correlaciona positivamente com o pH do solo e os teores de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ . O segundo eixo se correlacionou positivamente com teores de M.O, K e P, onde a M.O agrupou o Plantio direto predominantemente em relação aos demais sistemas de cultivo e diferenciou as camadas 0-10 cm e 10-20 nos sistemas de plantio direto e cultivo mínimo. As culturas antecedentes crotalária e guandu se correlacionaram para a camada 0-10 cm e caupi; e milho com a camada 10-20 cm.

Figura 4. Análise de componentes principais de parâmetros químicos do Argissolo mantido sob sistema de cultivo convencional (CC), cultivo mínimo (CM) e plantio direto (PD), associados a diferentes culturas antecedentes e duas profundidades do solo.



Número em parêntese indica a porcentagem do total da variação dos dados explicado por cada eixo da PCA.

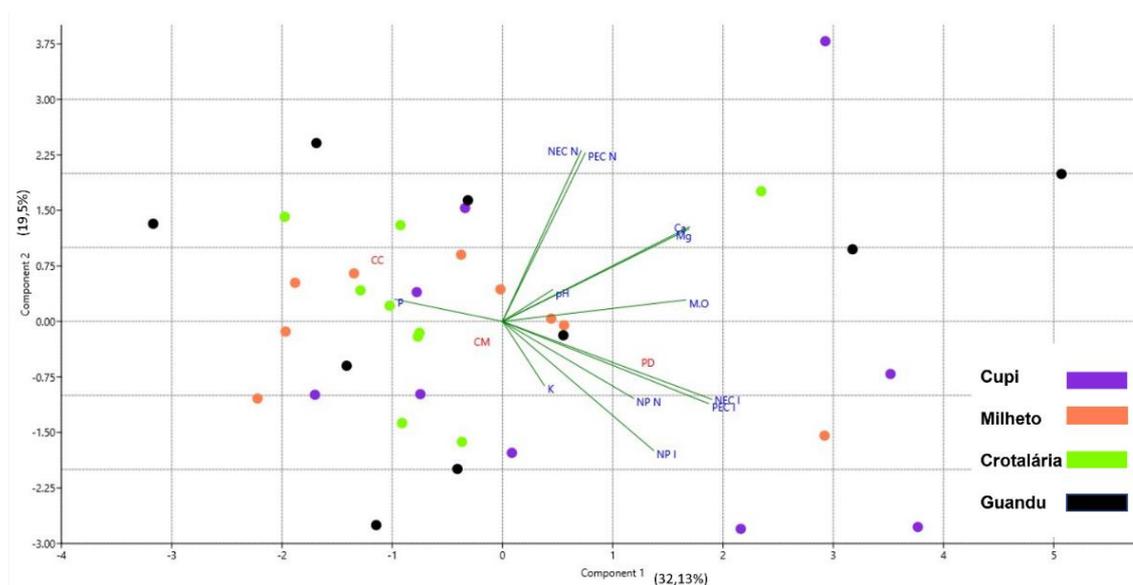
Na análise de PCA de parâmetros químicos do solo e dos dados de produtividade do milho, os dois primeiros eixos explicaram 51,63% da variação dos dados na camada 0-10 cm. (Figura 5). A M.O separou os sistemas de cultivo agrupando o plantio direto mais próximo da M.O, o cultivo mínimo em posição intermediária e o cultivo convencional mais distante. O teor de matéria orgânica desempenha papel fundamental na fertilidade do solo para produtividade das culturas por estar envolvida em processos químicos, físicos e biológicos (Tezolin *et al.*,

2021). Isso explica como este parâmetro foi determinante para produtividade, principalmente associada ao plantio direto.

A relação entre o Plantio direto e o teor de matéria orgânica resulta no favorecimento da produtividade, já que os insumos orgânicos e o mínimo revolvimento do solo são propostos para aumentar a fertilidade em declínio do solo aumentando o crescimento e a produtividade das colheitas (Githongo *et al.*, 2021). Associado a isto o uso das culturas foram importantes pois, as culturas de cobertura podem interagir positivamente com a palha incorporada, aumentando a entrada de matéria orgânica e manutenção do carbono orgânico do solo, promovendo práticas agrícolas sustentáveis e ecologicamente corretas (Qi *et al.*, 2022).

A produtividade do milho também foi diferenciada, no eixo 1 os parâmetros de número e peso de espigas de plantas do milho do tratamento inoculado foram agrupados e ficaram mais próximos aos teores de K e M.O no plantio direto e no eixo 2 a produtividade do tratamento nitrogenado se correlacionou mais ao cultivo convencional.

Figura 5. Análise de componentes principais das características químicas da camada (0-10 cm) do solo sob cultivo convencional (CC), cultivo mínimo (CM) ou plantio direto (PD) e dos dados de produtividade do milho.



Produtividade do milho: número de plantas (NP), número de espigas comerciais (NEC) e peso das espigas comerciais (PEC). Tratamento adubação 100% nitrogenada (N), tratamento inoculação e 50% de N (I). Número em parêntese indica a porcentagem do total da variação dos dados explicado por cada eixo da PCA.

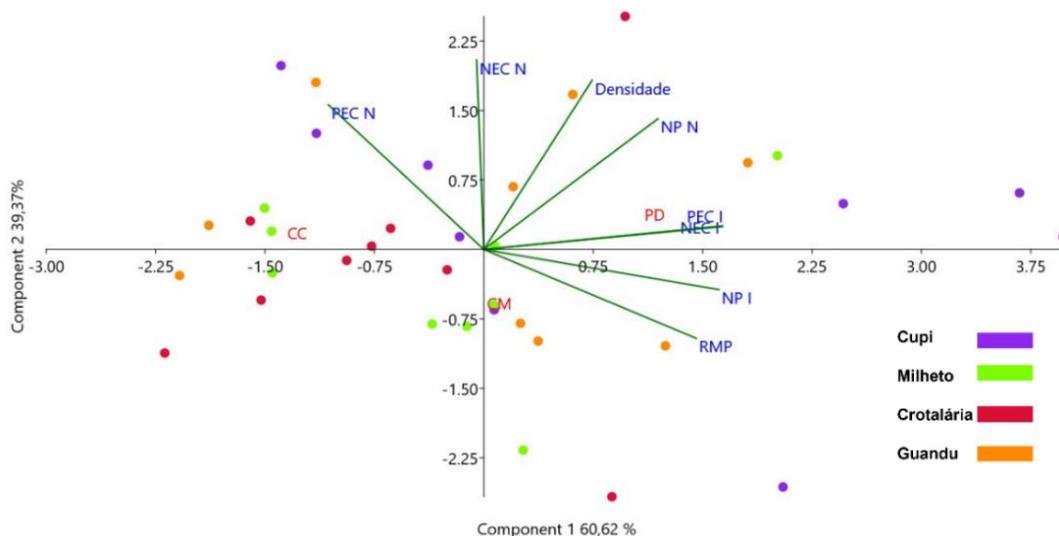
A eficiência da inoculação de bactérias fixadoras de nitrogênio pode ser determinada por fatores bióticos (Ferrarezi *et al.*, 2022), pela forte influência do genótipo e do ambiente na resposta da planta a inoculação com bactérias diazotróficas promotoras de crescimento vegetal

(Barrios e Baldani, 2021). Os fatores analisados neste estudo ressaltam a matéria orgânica como o parâmetro químico mais relevante para produtividade do milho e eficiência da inoculação pois, a ciclagem de nutrientes do solo e acúmulo do teor de matéria orgânica influenciam diretamente a diversidade microbiana natural do solo, bem como as relações associativas entre os microrganismos e as plantas.

O número de plantas nos dois tratamentos não foi diferenciado entre os sistemas de cultivo e se correlacionaram mais com o plantio direto. O teor de P agrupou a maior parte das culturas antecedentes entre os sistemas de cultivo convencional e cultivo mínimo.

A correlação de características físicas do solo e produtividade do milho na ACP apresentou a diferenciação dos parâmetros de produtividade entre os sistemas de cultivo e culturas antecedentes, apresentada na Figura 6. O preparo do solo é uma prática que atua diretamente sobre a estrutura, sendo determinante na resistência a compactação do solo, influenciando a porosidade e densidade do solo e interferindo diretamente no desenvolvimento e produtividade das culturas (Borges *et al.*, 2020).

Figura 6. Análise de componentes principais das características físicas da camada (0-10 cm) do solo sob cultivo convencional (CC), cultivo mínimo (CM) ou plantio direto (PD) e dos dados de produtividade do milho.



Produtividade do milho: número de plantas (NP), número de espigas comerciais (NEC) e peso das espigas comerciais (PEC). Tratamento adubação 100% nitrogenada (N), tratamento inoculação e 50% de N (I). Número em parêntese indica a porcentagem do total da variação dos dados explicado por cada eixo da PCA.

O número e peso de espigas do tratamento inoculado se correlacionou mais com o plantio direto e a RMP, cupi e guandu foram as culturas antecedentes mais próximas a esses

parâmetros de produtividade no eixo 1 que explicou 60,62% da variação dos dados. A introdução de plantas de cobertura em sistemas de cultivo tropical sob plantio direto é fundamental para melhorar as propriedades químicas e físicas do solo, bem como a sustentabilidade do sistema (Leite *et al.*, 2021).

O número e peso de espigas do tratamento nitrogenado se correlaciona positivamente com o sistema de cultivo convencional e a densidade do solo, o caupi foi a cultura antecedente que mais se aproximou desses parâmetros no eixo 2 que explica 39,37% da variação dos dados.

#### 4. CONCLUSÕES

- Os níveis mais elevados dos parâmetros de fertilidade do solo foram melhor favorecidos pelos sistemas de cultivo conservacionistas estudados, como o plantio direto e cultivo mínimo;
- As culturas antecedentes quando são associadas ao sistema de cultivo Plantio direto favorecem níveis mais elevados dos atributos químicos do solo, mas não interferem negativamente em aumentos dos valores da densidade do solo nas camadas superficiais.
- O Plantio direto e o teor de matéria orgânica se correlacionam positivamente com a produtividade do milho verde inoculado com *Azospirillum brasilense*

#### REFERÊNCIAS

- ANDOGNINI, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; WARMLING, M. I.; TELES, J. S.; SILVA, G. B. DA. Soil compaction effect on black oat yield in Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 44, p. 1–16, 2020.
- ANGHINONI, G.; TORMENA, C. A.; LAL, R.; ZANCANARO, L.; KAPPES, C. Enhancing soil physical quality and cotton yields through diversification of agricultural practices in central Brazil. **Land Degradation and Development**, v. 30, n. 7, p. 788–798, 2019.
- BARBOSA, J. Z.; ROBERTO, L. DE A.; HUNGRIA, M.; CORRÊA, R. S.; MAGRI, E.; CORREIA, T. D. Meta-analysis of maize responses to *Azospirillum brasilense* inoculation in Brazil : Benefits and lessons to improve inoculation efficiency. **Applied Soil Ecology**, v. 170, 2022.
- BARRIOS, S. C. L.; BALDANI, J. I. Avaliação da resposta de cultivares de *Brachiaria brizantha* a inoculação com bactérias diazotrófi cas para caracteres de produção de forragem e valor nutritivo. **Embrapa Gado de Corte**, n. 48, 2021.
- BENNETT, A. B.; PANKIEVICZ, V. C. S.; ANÉ, J. M. A Model for Nitrogen Fixation in Cereal Crops. **Trends in Plant Science**, v. 25, n. 3, p. 226–235, 2020.
- BHUTANI, N.; MAHESHWARI, R.; KUMAR, P.; SUNEJA, P. Bioprospecting of endophytic bacteria from nodules and roots of *Vigna radiata*, *Vigna unguiculata* and *Cajanus cajan* for their potential use as bioinoculants. **Plant Gene**, v. 28, n. December 2020, p. 100326, 2021.

- BORGES, M. C. R. Z.; NOGUEIRA, K. B.; ROQUE, C. G.; BARZOTO, G. R. Atributos físicos de um Latossolo vermelho e produtividade da soja em diferentes sistemas de preparo após o consórcio sorgo-brachiaria. **Acta Iguazu**, v. 9, p. 1–10, 2020.
- FERRAREZI, J. A.; CARVALHO-ESTRADA, P. D. A.; BATISTA, B. D.; ANICETO, R. M.; TSCHOEKE, B. A. P.; ANDRADE, P. A. D. M.; LOPES, B. D. M.; BONATELLI, M. L.; ODISI, E. J.; AZEVEDO, J. L.; QUECINE, M. C. Effects of inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria from the Brazilian Amazon on the bacterial community associated with maize in field Est a. v. 170, n. November 2021, 2022.
- GITHONGO, M. W.; KIBOI, M. N.; NGETICH, F. K.; MUSAFIRI, C. M.; MURIUKI, A.; FLIESSBACH, A. The effect of minimum tillage and animal manure on maize yields and soil organic carbon in sub-Saharan Africa: A meta-analysis. **Environmental Challenges**, v. 5, n. August, p. 100340, 2021.
- LEITE, H. M. F.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A.; MENDES, L. W.; MORAES, L. N. DE; GROTO, R. M. T.; ARAUJO, F. F.; PEREIRA, A. P. DE A.; MELO, V. M. M.; ARAUJO, A. S. F. Cover crops shape the soil bacterial community in a tropical soil under no-till. **Applied Soil Ecology**, v. 168, n. January, 2021.
- LUZ, F. B. DA; SILVA, V. R. DA; KOCHER MALLMANN, F. J.; BONINI PIRES, C. A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; CHERUBIN, M. R. Monitoring soil quality changes in diversified agricultural cropping systems by the Soil Management Assessment Framework (SMAF) in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 281, n. May, p. 100–110, 2019.
- MOMESSO, L.; CRUSCIOL, C. A. C.; LEITE, M. F. A.; BOSSOLANI, J. W.; KURAMAE, E. E. Agriculture , Ecosystems and Environment Forage Grasses Steer Soil Nitrogen Processes , Microbial Populations , and Microbiome Composition in A Long-term Tropical Agriculture System. v. 323, n. September 2021, 2022.
- MORTENSEN, E. Ø.; NOTARIS, C. DE; PEIXOTO, L.; OLESEN, J. E.; RASMUSSEN, J. Short-term cover crop carbon inputs to soil as affected by long-term cropping system management and soil fertility. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 311, n. September 2020, 2021.
- MUINDI, M. M.; MUTHINI, M.; NJERU, E. M.; MAINGI, J. Symbiotic efficiency and genetic characterization of rhizobia and non rhizobial endophytes associated with cowpea grown in semi-arid tropics of Kenya. **Heliyon**, v. 7, n. 4, 2021.
- NASCIMENTO, G.; SOUZA, T. A. F. DE; SILVA, L. J. R. DA; SANTOS, D. Soil physico-chemical properties, biomass production, and root density in a green manure farming system from tropical ecosystem, North-eastern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 21, n. 6, p. 2203–2211, 2021.
- OLIVEIRA, F. C. C.; PEDROTTI, A.; FELIX, A. G. S.; SOUZA, J. L. S.; HOLANDA, F. S. R.; MELLO, A. V. Chemical characteristics of Ultisols and the corn yield at Coastal Plains of Sergipe, Brazil. **Revista Brasileirade Ciencias Agrarias**, v. 12, n. 3, p. 354–360, 2017.
- PEIXOTO, D. S.; SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G. C. DE; MOREIRA, S. G.; SILVA, F. DA; CURI, N. A soil compaction diagnosis method for occasional tillage recommendation under continuous no tillage system in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 194, n. January, p. 104307, 2019.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Nobel/USP-ESALQ, 1990. v. 13. ed.

PINHEIRO JUNIOR, C. R.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; BEUTLER, S. J.; SILVA, C. F. Fertilidade do solo e dinâmica da matéria orgânica em áreas no perímetro irrigado Jaguaribe-Apodi, CE. **Agropecuária Científica No Semiárido**, v. 17, n. 1, p. 1, 2021.

POSSAMAI, E. J.; CONCEIÇÃO, P. C.; AMADORI, C.; BARTZ, M. L. C.; RALISCH, R.; VICENSI, M.; MARX, E. F. Adoption of the no-tillage system in Paraná State: A (re)view. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 46, p. 1–24, 2022.

QI, J.; JENSEN, J. L.; CHRISTENSEN, B. T.; MUNKHOLM, L. J. Soil structural stability following decades of straw incorporation and use of ryegrass cover crops. **Geoderma**, v. 406, n. September 2021, p. 115463, 2022.

RAWAL, N.; PANDE, K. R.; SHRESTHA, R.; VISTA, S. P. Soil Nutrient Balance and Soil Fertility Status under the Influence of Fertilization in Maize-Wheat Cropping System in Nepal. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2022, p. 1–11, 2022.

REICHERT, J.; GUBIANI, P.; RHEINHEIMER DOS SANTOS, D.; REINERT, D.; AITA, C.; GIACOMINI, S. Soil properties characterization for land-use planning and soil management in watersheds under family farming. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 10, n. 1, p. 119–128, 2022.

REICHERT, J. M.; MENTGES, M. I.; RODRIGUES, M. F.; CAVALLI, J. P.; AWE, G. O.; MENTGES, L. R. Compressibility and elasticity of subtropical no-till soils varying in granulometry organic matter, bulk density and moisture. **Catena**, v. 165, n. February 2017, p. 345–357, 2018.

SILVA, M. DE O.; VELOSO, C. L.; NASCIMENTO, D. L. DO; OLIVEIRA, J. DE; PEREIRA, D. DE F.; COSTA, K. D. DA S. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 47838–47855, 2020.

SITHOLE, N. J.; MAGWAZA, L. S. Long-term changes of soil chemical characteristics and maize yield in no-till conservation agriculture in a semi-arid environment of South Africa. **Soil and Tillage Research**, v. 194, n. June, p. 104317, 2019.

SOBRAL, L. F.; BARRETO, M. C. V.; SILVA, A. J. DA; ANJOS, J. L. DOS. Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo. **Embrapa Tabuleiros Costeiros-Documentos (INFOTECA-E)**, p. 13, 2015.

SOUZA, R.; HARTZELL, S.; FREIRE FERRAZ, A. P.; ALMEIDA, A. Q. DE; SOUSA LIMA, J. R. DE; DANTAS ANTONINO, A. C.; SOUZA, E. S. DE. Dynamics of soil penetration resistance in water-controlled environments. **Soil and Tillage Research**, v. 205, n. July 2020, p. 104768, 2021.

TEZOLIN, T. DE A.; MONTEIRO, F. DAS N.; FALCÃO, K. DOS S.; MENEZES, R. DA S.; XIMENES, T. S.; PANACHUKI, E.; CARVALHO, L. A. DE. Physical attributes of soil in different agricultural productions systems. **Research, Society and Development**, v. 10, p. 1–15, 2021.

THOMÉ, H. M.; SEIDEL, E. P.; STEIN, J. M.; PAN, R.; RIBEIRO, L. L. O. Physical properties of Latossolo Vermelho after maize and cover crop cultivated in monoculture or consortium. **Research, Society and Development**, v. 10, 2021.

WASAYA, A.; TAHIR, M.; YASIR, T. A.; AKRAM, M.; FAROOQ, O.; SARWAR, N. Soil physical properties, nitrogen uptake and grain quality of maize (*Zea mays* L.) as affected by tillage systems and nitrogen application. **Italian Journal of Agronomy**, v. 13, n. 4, p. 324–331, 2018.

XIONG, P.; ZHANG, Z.; HALLETT, P. D.; PENG, X. Variable responses of maize root architecture in elite cultivars due to soil compaction and moisture. **Plant and Soil**, v. 455, n. 1–2, p. 79–91, 2020.

YANG, M.; YANG, Q.; ZHANG, K.; LI, Y.; WANG, C.; PANG, G. Effects of content of soil rock fragments on calculating of soil erodibility. **Acta Pedologica Sinica**, v. 58, n. 5, p. 1157–1167, 2022.

ZULUAGA, M. Y. A.; MILANI, K. M. L.; GONÇALVES, L. S. A.; OLIVEIRA, A. L. M. DE. Diversity and plant growth-promoting functions of diazotrophic/N-scavenging bacteria isolated from the soils and rhizospheres of two species of *Solanum*. **PLoS ONE**, v. 15, n. 1, p. 1–25, 2020.

**CAPÍTULO IV- ANÁLISE ECONÔMICA DA PRODUTIVIDADE DE MILHO  
VERDE**

## **Análise econômica da associação de sistemas de manejo convencional e conservacionistas, culturas antecedentes e inoculação de *Azospirillum brasilense* para produtividade de milho verde em experimento de longa duração**

### **Resumo**

Um dos desafios da agricultura sustentável é reduzir os custos de produção e impactos ambientais garantindo os benefícios econômicos da produção da cultura. O milho (*Zea mays*) é uma cultura de grande importância socioeconômica, mas apresenta alta demanda nutricional de nitrogênio que é um nutriente que onera a produção agrícola e causa impactos ambientais pelas perdas. O presente trabalho objetivou avaliar a eficiência econômica da adoção de diferentes sistemas de cultivo, uso de culturas antecedentes e inoculação de *Azospirillum brasilense* para determinar o melhor pacote tecnológico em diferentes cenários do cultivo do milho verde em experimento de longa duração. Foram realizadas avaliações econômicas das variáveis de um o experimento de longa duração implantado na Fazenda Experimental da UFS em 2001, os dados se referem à 20ª e 21ª safra do milho verde em 2020 e 2021 respectivamente. O delineamento experimental foi em três faixas experimentais onde foram implantados diferentes sistemas de cultivo e uso de culturas antecedentes em parcelas subdivididas. Após 90 dias em campo, realizou-se a semeadura do milho, foram aplicados dois tratamentos que combinaram inoculação de *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada na forma de ureia. Para análise econômica da produtividade do milho foi utilizada a estrutura do custo operacional total de produção usada pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos desdobradas e comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Os resultados dos parâmetros avaliados indicaram que a safra 2021 apresentou nível de lucratividade superior ao da safra 2020. O Plantio direto foi o sistema de cultivo que melhor favoreceu a compensação nutricional de nitrogênio pelo uso da inoculação e o caupi associado ao Cultivo Mínimo potencializando a inoculação resultando em maior lucratividade que a adubação nitrogenada isolada na safra 2021. O uso das estratégias conservacionistas associadas a inoculação de *Azospirillum brasilense* representam tecnologias economicamente eficientes ao cultivo mais sustentável do milho verde na região dos Tabuleiros Costeiros Sergipano.

Palavras-chave: Economia agrícola, Custo de produção, Lucratividade, Inoculantes, Manejo de solo.

## 1. INTRODUÇÃO

A importância de uma produção ser viável economicamente tanto para economia global, local e para o agricultor requer o desenvolvimento de modelos de alternativas agrícolas que alcancem maior produtividade e renda, ao mesmo tempo em que reduzam os impactos ambientais (Reis, Dos *et al.*, 2020). O desempenho da agricultura e da economia, refletem a real situação da produção e viabiliza também análises comparativas de desempenho de atividades entre regiões e países (Acco, Guzatt e Franco, 2020). Além disso, subsidiam políticas abrangentes, não apenas aos fatores ligados à produção agropecuária, como também apoiam os agricultores no sentido de reduzir as disparidades e dar a eles condições de sustentabilidade econômica e socioambiental (Peixoto e Santos, 2021).

O milho (*Zea mays*) é uma cultura de importância socioeconômica pela sua versatilidade de aplicações apresentando bom valor nutricional. Possui grande capacidade de adaptação a diversos climas, permitindo que seu cultivo seja realizado em todas as partes do mundo (Sabri *et al.*, 2020). O milho verde possui maior valor econômico quando comparado ao milho comercializado em grãos (Oliveira *et al.*, 2020).

Os custos de produção do milho são fatores limitantes ao lucro devido à alta demanda de insumos, que garantem a produtividade da cultura como fertilizante nitrogenado (Nunes *et al.*, 2021). A fertilização tem um papel importante na fertilidade do solo e nutrição mineral do milho, especialmente em relação ao nitrogênio, o nutriente mais requerido pelo cultura (Souza *et al.*, 2019). Em solos degradados, quanto mais degradado, maior o custo monetário para sua recuperação, devido ao uso de corretivos e fertilizantes necessários para viabilizar a produção (Wolschick *et al.*, 2020).

Segundo o Levantamento Sistemático da Produção Agrícola do Brasil, em 2021 houve queda na produtividade de milho segunda safra, devido a falta de chuvas em diversas regiões produtoras, em Sergipe houve um declínio de produção de -10,9% em relação a 2020. O declínio na produção do milho em 2021 impulsionou os preços do produto pela baixa oferta (IBGE, 2022).

Os impactos causados pela falta de umidade no solo causaram prejuízos justamente nos municípios com maiores plantios, quando as lavouras estavam em pleno desenvolvimento vegetativo fator importante que impacta no rendimento e na produtividade das áreas (CONAB, 2021).

Na região Nordeste do Brasil, embora os solos sejam relativamente mais férteis e a área destinada ao cultivo do milho tenha aumentado nos últimos anos, a produtividade de grãos

é menor do que em outras regiões, devido as altas temperaturas, altas taxas de evapotranspiração, distribuição e longos períodos de seca (Silveira *et al.*, 2022). Porém nas áreas dos Tabuleiros Costeiros, especificamente no Litoral Sergipano, os solos são pobres por conta da origem de sedimentos do Grupo Barreiras (EMBRAPA, 1999), tornando um desafio, embora se localize próximo do maior contingente populacional consumidor de milho verde. Desta forma, evidenciam-se a necessidade de tecnologias eficientes não somente dos pontos de vista ambiental e técnico, mas também econômico. Desta forma, a identificação e mensuração dos custos da atividade agrícola dependem de fatores de produção, bem como diferentes recursos que são utilizados desde o preparo do solo, plantio, cultivo, colheita e a comercialização (Bonetti *et al.*, 2021).

Entre os recursos para produção, a adubação desempenha um papel importante na fertilidade do solo e nutrição mineral do milho, principalmente em relação ao N, nutriente mais exigido pela safra (Souza *et al.*, 2021). O nitrogênio é um nutriente essencial ao desenvolvimento do cultivo e a necessidade da cultura do uso de adubação nitrogenada química representa grande parte dos custos de produção tanto pelo alto custo desse insumo como pelas perdas de aproveitamento do fertilizante que chegam a 50% por lixiviação (Waller *et al.*, 2020).

A tendência ao aumento nos custos de produção vem sendo influenciada pela alta do preço dos fertilizantes, de janeiro a julho de 2021, o valor médio da tonelada de ureia negociada nos principais portos do mundo ficou 60,3% acima do registrado no mesmo período do ano passado devido ao conflito no leste europeu, que resultou em sanções econômicas impostas pelos Estados Unidos, União Europeia e outros sobre a Rússia (OSAKI, 2021).

Além do alto custo nas formas assimiláveis de nitrogênio a cultura, as perdas desse fertilizante podem representar grandes impactos ambientais (Zhang *et al.*, 2022). Quando lixiviado o fertilizante nitrogenado pode poluir os corpos d'água, os lençóis freáticos e favorecer a eutrofização de ambientes aquáticos desequilibrando estes ecossistemas (Irfan *et al.*, 2018).

Os índices econômicos de custos de produção envolvem a Receita Bruta-RB (quantidade produzida x preço), o custo operacional efetivo- COT (envolve todos os gastos assumidos pela propriedade ao longo do ciclo produtivo ou período analisado) e o custo operacional total-COE (somando-se despesas variáveis ao COE) (EPAGRI, 2021). Os custos de produção das culturas e os benefícios do solo variam amplamente dentro e fora das práticas regionais e das condições locais (Jacobs *et al.*, 2022).

Entre as estratégias para reduzir os custos de produção e impactos ambientais destacam-se a adoção de sistemas de manejo mais conservacionistas, uso de culturas

anteriores e inoculação de sementes com bactérias promotoras de crescimento (Araujo, de *et al.*, 2021; Barrios e Baldani, 2021; Nascimento *et al.*, 2021; Telles *et al.*, 2020). Essas diferentes práticas visam o desenvolvimento de sistemas de produção mais sustentáveis que possam preservar os recursos naturais obtendo boa produtividade da cultura (Mendoza-fern *et al.*, 2021).

Os sistemas de cultivo conservacionistas causam menor impacto como a perda de carbono causado pelo constante revolvimento do solo decorrente do cultivo convencional (Medeiros *et al.*, 2020). No Cultivo Mínimo há um menor revolvimento do solo com uso apenas da grade niveladora para o controle de ervas daninhas, esse sistema garante uma maior preservação da estruturação do solo devido ao menor impacto causado pelo tráfego do maquinário agrícola reduzindo os riscos de compactação e erosão (He *et al.*, 2021).

O Plantio Direto é o sistema que garante a melhor preservação do solo devido a proteção exercida pela cobertura dos restos culturais que favorecem o maior teor de matéria orgânica pelo não revolvimento do solo bem como as características químicas e físicas. É uma das principais estratégias de manejo para a proteção e manutenção da sustentabilidade do solo (Pedrotti *et al.*, 2018; Possamai *et al.*, 2022). O Plantio direto possibilita melhor estruturação do solo, com maior incremento na matéria orgânica, aumentando a estabilidade de agregados (Tezolin *et al.*, 2021), além de maior retorno financeiro em regiões tropicais irrigadas (Keshavarz Afshar *et al.*, 2022).

As culturas anteriores ou plantas de cobertura são aplicadas como forma de proteger o solo garantindo um ambiente favorável à manutenção da microbiota natural, umidade, favorecendo o aporte nutricional e reduzindo a necessidade de adubação pelo benefício da manutenção das características químicas (Bertolino *et al.*, 2021). Os agentes ligantes de plantas de cobertura, como as raízes, aumentam a estabilização de macroagregados e a incorporação da palha que está relacionada ao carbono orgânico do solo pelo aumento da entrada de matéria orgânica garantindo a manutenção da estabilidade estrutural do solo (Qi *et al.*, 2022).

O uso de inoculantes é uma tecnologia que vem sendo aplicada com o uso de bactérias promotoras de crescimento que podem favorecer a produtividade das culturas reduzindo os custos de produção. Espécies de bactérias como *Azospirillum brasilense* (Hungria, 2011), podem fixar o nitrogênio atmosférico e torná-lo assimilável as plantas por meio do seu complexo enzimático nitrogenase (Reis, V.M; Teixeira, 2006). Além disso outros mecanismos promotores de crescimento como produção de fito hormônios, solubilização de fosfato, produção de sideróforos podem atuar em conjunto na garantia do crescimento das plantas e melhoria da produtividade (Zuluaga *et al.*, 2020).

A espécie *Azospirillum brasilense* já vem sendo recomendada a inoculação de Poáceas como milho, arroz, trigo, mas a garantia de sucesso da inoculação ainda é um desafio pois embora a inoculação possa suprir até 50% da demanda de fertilizante nitrogenado os fatores bióticos e abióticos influenciam diretamente a ação dos microrganismos (Ferrarezi *et al.*, 2022).

Determinar as melhores condições de manejo de solo e adubação podem potencializar a ação das bactérias, sendo necessária a investigação do uso da inoculação de acordo com a realidade local referentes às condições climáticas e características do solo. A inoculação juntamente com as práticas conservacionistas de manejo, representam uma tecnologia promissora principalmente aos produtores menos capitalizados ou que buscam além da diminuição dos custos de produção a redução dos danos ambientais provocadas pelas práticas tradicionais.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência econômica da adoção de diferentes sistemas de cultivo, associados ao uso de culturas antecedentes e inoculação de *Azospirillum brasilense* para determinar o melhor pacote tecnológico em diferentes cenários do cultivo do milho verde em experimento de longa duração.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Implantação e delineamento experimental**

O presente estudo foi realizado no experimento de longa duração no “Campus Rural” – Fazenda Experimental da Universidade Federal de Sergipe (10°55’S e 37°11’O), no ano de 2001. Foram realizadas avaliações econômicas das variáveis aplicadas. Os resultados referem-se ao 20° e 21° ano de cultivo. O solo do local, de acordo com Embrapa (1999) é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, derivado de sedimentos do grupo Barreiras.

O delineamento experimental adotado consiste em faixas experimentais com subparcelas divididas (Pimentel Gomes, 1990), onde nas faixas há a implantação de três sistemas de cultivo: Cultivo convencional (CC), Cultivo mínimo (CM) e o Plantio direto (PD) que se diferem pelas formas de preparação do solo, e nas parcelas subdivididas as culturas antecedentes crotalária (*Crotalaria juncea* L.), caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) e milheto (*Pennisetum americanum* L.) aleatorizadas dentro de cada faixa em três repetições

Cada faixa possui 84x10m, sendo dividida em 12 parcelas com área de 60 m<sup>2</sup>, espaçadas entre si a cada 1 m, para receber as culturas antecedentes. As culturas antecedentes foram, anualmente, semeadas (espaçamento médio de 0,5 m na linha e 0,2 m na entrelinha)

entre os meses de janeiro a abril. Após aproximadamente 90 dias em campo, as plantas foram cortadas e aportadas ao solo. Cada faixa experimental foi, anualmente, preparada de acordo com o sistema de cultivo a ser avaliado.

No CC utilizou-se grade niveladora, seguida de aradora e grade niveladora, no CM, utilizou-se grade niveladora leve fechada e no PD, após o 1º ano de condução do experimento, nenhum implemento de preparo do solo foi utilizado. No PD, as plantas daninhas foram controladas por capina manual associada ao uso de herbicidas de ação total (antes da semeadura - *Glyphosate*) ou seletivo (após semeadura do milho - *Nicosulfuron*).

A semeadura do milho foi realizada com semeadora em espaçamento médio de 0,2 m na linha e 0,8 m na entrelinha. A semente utilizada foi a variedade híbrido convencional para consumo de milho-verde e produção de silagem BM3066 (Biomatrix) tratada previamente com CropStar.

Para adubação foram adotados dois tratamentos que diferiram onde combinou-se à tecnologia da inoculação da bactéria *Azospirillum brasilense* com a adição de N na forma de ureia. No 20º ano os tratamentos de adubação consistiram em: (1) tratamento inoculado- 50% da dose recomendada de N, com inoculante; (2) tratamento nitrogenado- nitrogênio da dose total recomendada, sem inoculante. No ano 21º ano os tratamentos consistiram em: (1) tratamento inoculado- 75% da dose recomendada de N, com inoculante; (2) tratamento nitrogenado- nitrogênio da dose total recomendada, sem inoculante.

Empregou-se a combinação de Sistemas de Cultivo: (1) Cultivo Convencional (CC); Cultivo Mínimo (CM) e Plantio Direto (PD) com as Culturas antecedentes: (A) Crotalária; (b) Milheto; (C) Caupi e (D) Guandu. Assim, ao total foram combinados para compor os tratamentos: 2 tratamentos para fonte de N, 3 para s sistemas de cultivo e 4 culturas, perfazendo um total de 2X3X4, ou seja, 24 tratamentos. Estes foram instalados em 3 faixas aleatorizadas no campo.

A dose de nitrogênio aplicada foi de 120 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio na forma de ureia (45% de N), parcelados entre a semeadura, 30 e 45 dias posteriores à germinação das plântulas. Na safra 2020 a ureia foi dividida em 40% na adubação de base e 50% nas adubações de cobertura, já na safra 2021 a ureia foi dividida em 25% na adubação de base e 75% nas adubações de cobertura.

As sementes do milho BM3066 (Biomatrix) foram tratadas e inoculadas com um inoculante líquido comercial *Azospirillum brasilense* Azo Total (Total-bio) e complementada a adubação nitrogenada na forma de ureia. Todos as parcelas também receberam 90 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triplo (19% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 110 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio (59% de K<sub>2</sub>O) (Sobral et

al., 2007). Cada parcela útil foi constituída de um total de 160 plantas, em 4 linhas de 4m para cada tratamento com espaçamento 0,8 por 0,2 m.

## **2.2 Análise econômica**

Para análise econômica, utilizou-se a estrutura do custo operacional total de produção, usada pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA). O custo operacional efetivo (COE), composto pelas despesas com operações mecanizadas, operações manuais e materiais consumidos é somado ao COE, outras despesas se obtendo o custo operacional total (COT) (Matsunaga *et al.*, 1976).

Os custos foram obtidos com base nos seguintes itens: Operações manuais, operações mecanizadas, insumos; para outras despesas foi considerada a taxa de 5% do custo operacional efetivo (COE) segundo (Kaneko *et al.*, 2015). Para irrigação foi calculado o custo com o consumo de energia elétrica de acordo com o tempo diário da irrigação multiplicado pelo valor do kw do mês e ano avaliado. O custo com a água não foi contabilizado devido a água ser proveniente de um poço da Fazenda Experimental. O custo de oportunidade foi desconsiderado por se tratar de um experimento já consolidado.

Para análise da rentabilidade foi determinada a receita bruta (RB), a produtividade de espigas comerciais foi multiplicada pelo valor unitário da espiga de milho verde comercializada na região de Sergipe, para o ano de 2020 foi considerado o valor máximo de R\$ 0,50 por espiga (EMDAGRO,2020) e para 2021 foi considerado o valor máximo de R\$ 0,40 por espiga (EMDAGRO,2021).A lucratividade foi calculada subtraindo-se o custo operacional total do valor da receita bruta, obtendo-se o lucro final (Matsunaga *et al.*, 1976).

## **2.3 Coleta e análise de dados**

A avaliação da produtividade foi realizada dentro de cada parcela útil com a colheita do milho onde foram avaliados o número de espigas comerciais (NEC). As espigas comerciais foram determinadas como aquelas que apresentaram comprimento médio entre 15cm e 17cm, verificado no momento da colheita. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos desdobradas e comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade com o auxílio do software SISVAR (Ferreira, 2003).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os custos de produção do milho verde estão apresentados na Tabela 1. Ao se analisar os dados apresentados, observa-se que os valores dos custos com fertilizante nitrogenado foram reduzidos ao utilizar o inoculante bacteriano de *Azospirillum brasilense*.

**Tabela 1-** Valores dos custos de produção para os diferentes tratamentos adotados no milho verde cultivado sobre diferentes sistemas de cultivo, culturas antecedentes e uso de inoculante referente as safras 2020 e 2021.

Especificação	Valor unitário (R\$)	Valor Total (R\$)			
		PD	CM	CC	
<b>A. INSUMOS</b>					
Glyphosato	l	26,15	13,07	0	0
Atrazine	l	16,03	15,02	15,02	15,02
2,4-D	l	25,35	12,67	0	0
Lannate	l	26,6	7,91	7,91	7,91
Inoculante <sup>2</sup>	1,5l	122	2,72	2,72	2,72
Ureia tratamento inoculado 50% 2020	kg	15,34	35,92	35,92	35,92
Ureia tratamento inoculado 75% 2021	kg	15,34	47,94	47,94	47,94
Ureia tratamento não inoculado	kg	15,34	79,84	79,84	79,84
Cloreto de Potássio	kg	4,48	10,08	10,08	10,08
Superfosfato Simples	kg	3,18	14,31	14,31	14,31
Semente de milho BM3066	kg	28	14,58	14,58	14,58
Semente de Milheto	kg	3,7	4,62	4,62	4,62
Semente de Crotalaria	kg	15	8,62	8,62	8,62
Semente de Caupi	kg	7,5	11,25	11,25	11,25
Semente de Guandu	kg	15,48	9,67	9,67	9,67
<b>B. OPERAÇÕES MECANIZADAS</b>					
Grade Aradora	HM	6,74	0	0	13,29
Grade Niveladora	HM	6,74	0	18,85	18,85
Semeadeira	HM	6,74	13,29	13,29	13,29
Pulverizador	HM	6,74	13,29	0	0
Irrigação	KW.H <sup>-1</sup>	0,44	7,86	7,86	7,86
<b>C. OPERAÇÕES MANUAIS</b>					
Aplicação de Herbicida	HH	6,74	7,58	7,58	7,58
Replântio	HH	6,74	10,11	10,11	10,11
Adubação	HH	6,74	10,11	10,11	10,11
Capina	HH	6,74	15,16	15,16	15,16
Aplicação de Lagartida	HH	6,74	10,16	10,16	10,16
Preparação de adubo e sementes	HH	6,74	2,52	2,52	2,52
<b>Total</b>			<b>378,3</b>	<b>358,12</b>	<b>371,41</b>

Tratamento inoculado safra 2020= 50% nitrogênio, Tratamento inoculado safra 2021= 75% nitrogênio.

Os custos com operações mecanizadas refletem maior despesa associada ao emprego do sistema de cultivo convencional, pela maior utilização de implementos agrícolas como a grade (aradora) e niveladora (duas vezes) em comparação ao Plantio Direto e Cultivo Mínimo. Os custos com operações manuais não diferem entre os sistemas de manejo empregados (Tabela

1). Os implementos agrícolas necessários ao sistema de cultivo convencional, aqui demonstraram a elevação nos custos de produção, mas além disso podem também prejudicar as propriedades físicas e biológicas do solo ao longo do tempo, além de ser um sistema que mais consome energia da lavoura (Keshavarz Afshar e Dekamin, 2022; Wolschick *et al.*, 2020).

Já os custos com insumos revelam que o fertilizante nitrogenado foi o insumo de maior despesa por conta do seu valor mais elevado, seguido da aquisição e emprego dos herbicidas (Tabela 1). O inoculante de *Azospirillum brasilense* representou o insumo com menor custo revelando-se uma tecnologia de baixo impacto financeiro. O custos dos insumos aqui citados revelam a alta dependência da produção de insumos externos como os produtos agroquímicos que mais elevam os valores de produção (Wang, 2022) em comparação ao uso de inoculantes que podem favorecer a nutrição nitrogenada em uma tecnologia de baixo custo (Hungria, 2011).

Para safra 2020 o custo operacional total foi maior quando associado ao Plantio direto tanto para adubação 100% nitrogenada quanto aplicada a inoculação de *Azospirillum brasilense* que apresentaram valores de custo próximos (Tabela 2).

**Tabela- 2** Valores dos componentes do custo operacional total de produção da safra de milho verde cultivado sob diferentes sistemas de cultivo, culturas antecedentes e inoculação de *Azospirillum brasilense* 2020.

SC	Cultura	Nitrogenado – 100% N			Inoculado- 50% N + Inoculante		
		COE R\$	Outros R\$	COT R\$	COE R\$	Outros R\$	COT R\$
CC	Caupi	220,76	11,04	231,80	221,96	11,10	233,06
	Milheto	214,14	10,71	224,84	221,96	11,10	233,06
	Crotalária	218,14	10,91	229,04	221,96	11,10	233,06
	Guandu	219,19	10,96	230,15	221,96	11,10	233,06
CM	Caupi	207,47	10,37	217,84	208,67	10,43	219,10
	Milheto	200,84	10,04	210,88	208,67	10,43	219,10
	Crotalária	204,84	10,24	215,08	208,67	10,43	219,10
	Guandu	205,89	10,29	216,19	208,67	10,43	219,10
PD	Caupi	227,66	11,38	239,05	228,86	11,44	240,31
	Milheto	221,04	11,05	232,09	228,86	11,44	240,31
	Crotalária	225,04	11,25	236,29	228,86	11,44	240,31
	Guandu	226,09	11,30	237,39	228,86	11,44	240,31

SC= Sistema de cultivo, COE=Custo operacional efetivo, COT= Custo operacional total. Considerou-se 5% do COE para outras despesas.

Os resultados do custo operacional (Tabela 2) corroboram com Wolschick *et al.* (2020) que ao analisarem a produtividade do milho em Plantio direto identificaram que este sistema apresentou maiores custos que o cultivo convencional não favorecendo os lucros. Além disso outros fatores que aumentam os custos de produção são o número de sementes, a quantidade

de fertilizantes usados, quantidade de herbicidas e o número de trabalhadores necessários (Siagian *et al.*, 2021). O nitrogênio representa um dos insumos de maior custo para produção agrícola tanto pelos altos preços de mercado como também pelas perdas de aproveitamento que demanda a adição de altas dosagens do fertilizante (Waller *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2022).

Para safra 2021 os valores de custo operacional total apresentados na Tabela 3. foram próximos entre os diferentes sistemas de cultivo, mas, o tratamento nitrogenado apresentou custo operacional total maior em comparação ao tratamento inoculado.

**Tabela-3** Valores os componentes do custo operacional total de produção da safra de milho verde cultivado sob diferentes sistemas de cultivo, culturas antecedentes e inoculação de *Azospirillum brasilense* 2021.

SC	Cultura	Nitrogenado – 100% N			Inoculado- 50% N + Inoculante		
		COE R\$	Outros R\$	COT R\$	COE R\$	Outros R\$	COT R\$
CC	Caupi	262,0	13,1	275,1	232,8	11,6	244,4
	Milheto	255,3	12,8	268,1	226,2	11,3	237,5
	Crotalária	259,3	13,0	272,3	230,2	11,5	241,7
	Guandu	260,4	13,0	273,4	231,2	11,6	242,8
CM	Caupi	248,7	12,4	261,1	219,5	11,0	230,5
	Milheto	242,0	12,1	254,1	212,9	10,6	223,5
	Crotalária	246,0	12,3	258,3	216,9	10,8	227,7
	Guandu	247,1	12,4	259,4	217,9	10,9	228,8
PD	Caupi	268,9	13,4	282,3	239,7	12,0	251,7
	Milheto	262,2	13,1	275,3	233,1	11,7	244,7
	Crotalária	266,2	13,3	279,5	237,1	11,9	248,9
	Guandu	267,3	13,4	280,7	238,1	11,9	250,0

SC= Sistema de cultivo, COE=Custo operacional efetivo, COT= Custo operacional total. Considerou-se 5% do COE para outras despesas.

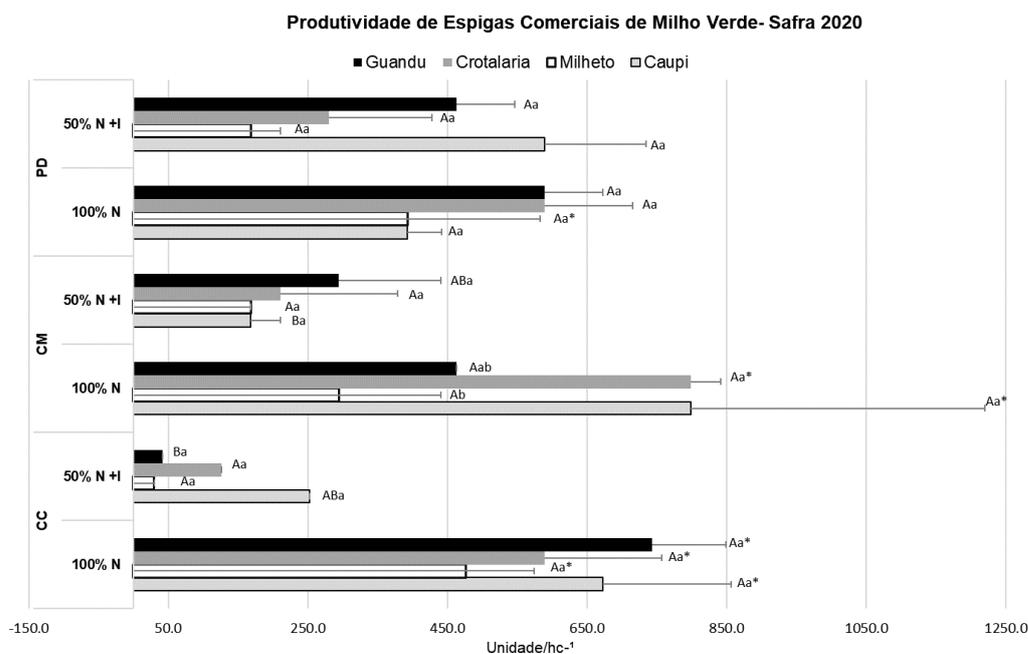
Os valores dos parâmetros de produtividade do milho verde em espigas referentes as safras 2020 estão apresentados na figura 1 e os da produtividade 2021 estão apresentados na figura 2. A produtividade da safra 2021 foi superior quando comparada a safra 2020.

Ao analisar os níveis da produtividade de espigas comerciais de milho verde na safra 2020 apresentados na Figura 1. comparando a adoção de cada cultura para cada tratamento de adubação entre sistemas de cultivo observou-se que o tratamento nitrogenado não diferiu estatisticamente de forma significativa em relação a produtividade.

Comparando a adoção de cada cultura para cada tratamento de adubação entre os sistemas de cultivo, não houve diferença estatística significativa para o tratamento nitrogenado. Para o tratamento inoculado apenas a adoção da cultura antecedente do guandu promoveu

diferenças estatísticas significativas no número de espigas entre os sistemas de cultivo onde no Plantio Direto obteve-se maior produtividade expressa em 463 espigas comerciais/ha.

**Figura 1-** Produtividade do milho verde (número de espigas/hectare) cultivado sob uso de diferentes sistemas de cultivo, culturas antecedentes adubação nitrogenada e inoculação de *Azospirillum brasilense*, na safra 2020.



PD= Plantio Direto, CM=Cultivo Mínimo, CC= Cultivo convencional. N=Nitrogênio, I= Inoculante. Letras maiúsculas diferentes diferem entre sistemas de cultivo para mesma cultura e adubação. Letras minúsculas diferentes diferem entre culturas para mesmo sistema de cultivo e adubação. Presença de \* diferem entre tratamentos de adubação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A interação entre o cultivo de gramíneas inoculadas com *Azospirillum brasilense*, sob uso do guandu como cultura antecedente aqui analisadas, corrobora com Araujo et al. (2021) que analisaram a adoção do guandu associado a inoculação de *Azospirillum brasilense* no arroz e identificaram o favorecimento da inoculação de *Azospirillum brasilense* devido ao aumento das taxas fotossintéticas, o que também pode ter ocorrido com o milho no presente estudo.

Além da interação entre culturas antecedentes e a inoculação aqui citada, associado a isto revela-se a contribuição do Plantio Direto que por ser um sistema conservacionista que favorece as características do solo (Nunes et al., 2022; Silveira et al., 2021) deve ter beneficiado os níveis mais elevados na produtividade de espigas comerciais de milho. Segundo Wolschick et al. 2020 ao avaliarem a produtividade do milho sob Plantio direto após anos de cultivo convencional observaram que a produtividade no sistema conservacionista foi superior ao sistema não conservacionista.

A associação entre o tratamento de adubação 100% nitrogenada com a adoção do Cultivo Mínimo e uso da cultura antecedente milho e resultou no menor número de espigas comerciais de 294,6 unidades/hectare. A associação entre o tratamento inoculado com os diferentes sistemas de cultivo e uso de culturas antecedentes não apresentou diferenças estatísticas significativas. A inoculação quando associada a adoção de culturas antecedentes demonstrou igual potencialização do efeito do inoculante entre as culturas analisadas, isso se deve ao fato deste micro-organismos poder se associar de forma simbiótica ou endofítica com uma diversidade de plantas, entre Poáceas e Fabáceas (Calzavara *et al.*, 2018; Gavilanes *et al.*, 2020).

O sistema de cultivo de solo foi o fator determinante para eficiência da inoculação pela associação de sistemas conservacionistas e culturas antecedentes, já que experimentos de campo apresentam enormes complexidades no que diz respeito às interações entre condições e sobrevivência de bactérias diazotróficas (Skonieski *et al.*, 2019). A produtividade do milho foi determinada em função do sistema de preparo do solo corroborando com Jacobs *et al.* (2022).

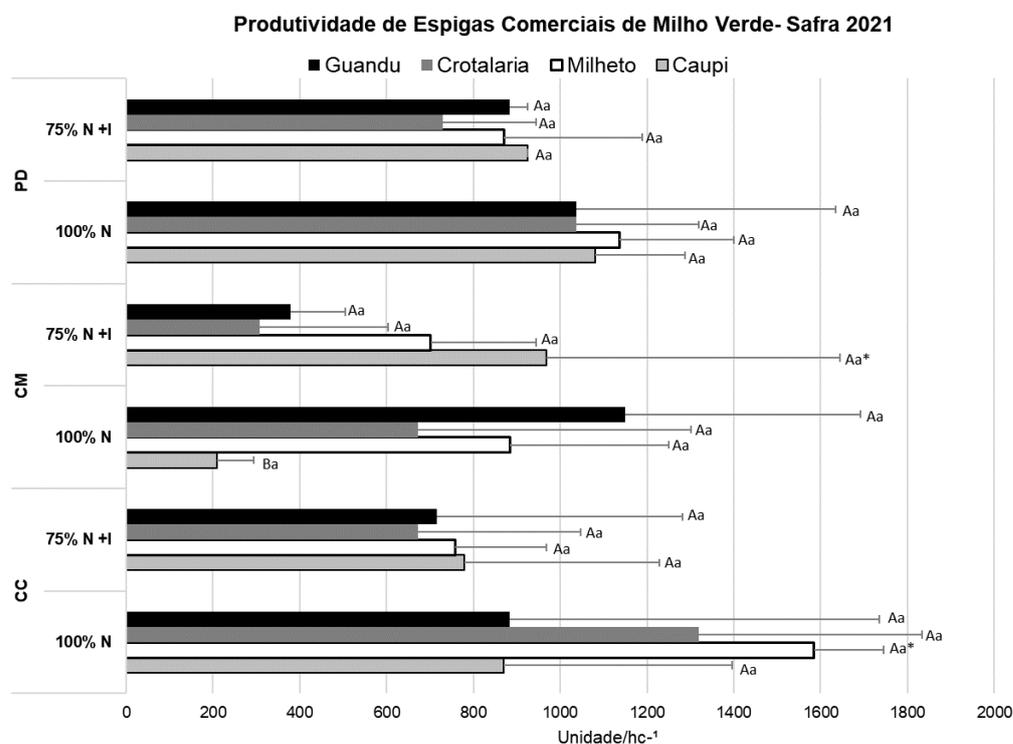
O uso da inoculação quando comparado a adubação 100% nitrogenada demonstrou que para o sistema de cultivo convencional o tratamento nitrogenado foi superior ao tratamento inoculado independente das culturas utilizadas. Para Cultivo Mínimo o uso de caupi ou crotalária associado a adubação nitrogenada foram superiores ao tratamento inoculado. A ação dos inoculantes como este analisado, refletem a complexidade das respostas das culturas à inoculação. O sistema de cultivo convencional demanda altas dosagens de nitrogênio que podem interferir nas interações de planta-micro-organismos (Barrios e Baldani, 2021; Salvo, Di *et al.*, 2018).

No Plantio direto apenas a produtividade associada ao milho e tratamento da inoculação foram inferiores ao tratamento nitrogenado, a associação das demais culturas não diferiram estatística de forma significativa entre os tratamentos de adubação para o número de espigas comerciais neste sistema de cultivo. Essa resposta positiva da inoculação se deve ao fato de que Plantio Direto possibilita melhor estruturação do solo, com maior incremento na matéria orgânica, aumentando a estabilidade de agregados (Possamai *et al.*, 2022; Tezolin *et al.*, 2021).

Para os parâmetros de avaliação da produtividade da safra 2021 apresentada na Figura 2., observa-se que o número de espigas comerciais sob o efeito das culturas antecedentes nos diferentes tratamentos de adubação entre os sistemas de cultivo foi menor apenas quando associado ao uso do caupi no Cultivo Mínimo e tratamento nitrogenado, as demais culturas não diferiram estatisticamente de forma significativa entre os sistemas de cultivo. Não se observou

diferenças estatísticas significativas para o efeito do uso das culturas avaliadas entre si para cada sistema de cultivo e adubação.

**Figura 2-** Produtividade do milho verde, expresso pelo número de espigas comerciais cultivado sob uso de diferentes sistemas de cultivo, culturas antecedentes adubação nitrogenada e inoculação de *Azospirillum brasilense* safra 2021.



PD= Plantio Direto, CM=Cultivo Mínimo, CC= Cultivo convencional. N=Nitrogênio, I= Inoculante. Letras maiúsculas diferentes diferem entre sistemas de cultivo para mesma cultura e adubação. Letras minúsculas diferentes diferem entre culturas para mesmo sistema de cultivo e adubação. Presença de \* diferem entre tratamentos de adubação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No Cultivo Mínimo a associação do caupi com tratamento inoculado superou a produtividade de espigas comerciais obtidas em relação ao tratamento nitrogenado com um aumento de 883,8 unidades/ha, o efeito do uso das demais culturas não representou diferença estatística significativa entre os tratamentos de adubação para este sistema de cultivo.

Os insumos orgânicos como o inoculante aqui analisado e o mínimo revolvimento do solo, como o Cultivo Mínimo e Plantio Direto, são propostos para aumentar a fertilidade em declínio do solo aumentando o crescimento e a produtividade das colheitas (Githongo *et al.*, 2021; Silveira *et al.*, 2021).

Os resultados da análise da receita bruta obtida na safra 2020 estão apresentados na tabela 4. O maior valor de receita obtida foi de R\$ 399,8 como resultado da produtividade

associada a adoção do Cultivo mínimo, culturas antecedentes caupi ou crotalária e o tratamento de adubação 100% nitrogenada, este resultado pode estar relacionado ao fato do Cultivo mínimo ser um sistema mais conservacionista pelo menor revolvimento do solo (He *et al.*, 2021) e quando associado as culturas leguminosas pode ter potencializado o efeito da adubação nitrogenada que é essencial para o desenvolvimento da cultura (Máximo, José *et al.*, 2019).

**Tabela 4-** Análise da receita bruta da produtividade de milho verde sob diferentes sistemas de cultivo, culturas antecedentes e inoculação de *Azospirillum brasilense* safra 2020

2020		100% de N e sem inoculante		50% de N + Inoculante	
SC	Cultura	Produtividade (unidade/ha)	Receita Bruta R\$	Produtividade (unidade/ha)	Receita Bruta R\$
CC	Caupi	673,4 Aba*	336,7 Aba*	252,5 ABa	126,3 ABa
	Milheto	477,0 Aa*	238,5 Aa*	30,1 Aa	15,1 Aa
	Crotalária	589,2 Aa*	294,6 Aa*	126,3 Aa	63,1 Aa
	Guandu	743,5 Aa*	371,8 Aa*	42,1 Ba	21,0 Ba
CM	Caupi	799,7 Aa*	399,8 Aa*	168,4 Ba	84,2 Ba
	Milheto	294,6 Ab	147,3 Ab	168,4 Aa	84,2 Aa
	Crotalária	799,7 Aa*	399,8 Aa*	210,4 Aa	105,2 Aa
	Guandu	463,0 Aab	231,5 Aab	294,6 ABa	147,3 ABa
PD	Caupi	392,8 Ba	196,4 Ba	589,2 Aa	294,6 Aa
	Milheto	392,8Aa	196,4 Aa	168,4 Aa	84,2 Aa
	Crotalária	589,2 Aa	294,6 Aa	280,6 Aa	140,3 Aa
	Guandu	589,2 Aa	294,6 Aa	463,0 Aa	231,5 Aa

Letras maiúsculas diferentes diferem significativamente entre sistemas de cultivo para mesma cultura antecedente e adubação. Letras minúsculas diferentes diferem significativamente entre culturas antecedentes para mesmo sistema de cultivo e adubação. Presença de (\*) difere significativamente entre tratamentos de adubação para mesmo sistema de cultivo e cultura antecedente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O menor valor de receita obtida foi de R\$ 15,01 (Tabela 4), como resultado da produtividade associada a adoção do sistema de cultivo convencional, uso do milho como cultura antecedente e tratamento de inoculação complementado com 50% de N. Esse baixo rendimento expressa a limitação da ação do inoculante para esta associação, podendo se relacionar ao fato de que o sistema de cultivo convencional demanda altas dosagens de nitrogênio que podem interferir nas interações de planta-micro-organismos (Barrios e Baldani, 2021). O aumento dos custos produção determinaram a baixa lucratividade do milho no presente estudo, esse aspecto pode ser impactado de forma considerável por fatores como a escala de gestão da terra, estrutura de trabalho, grau de mecanização e condições econômicas (Ouyang *et al.*, 2022).

O maior valor de receita bruta obtida associado ao tratamento inoculado foi de R\$ 294,6 associada a produtividade no Cultivo mínimo e uso do caupi como cultura antecedente, sendo considerado estatisticamente igual ao tratamento de adubação 100% nitrogenada. Esse

rendimento obtido expressa melhor a ação do inoculante para o melhor aproveitamento do N, superando o que é considerado um desafio para sucesso da inoculação (Kaminsky *et al.*, 2019), com a associação com o Plantio direto que possibilitou a melhor condição de eficiência pelos aspectos conhecidos de melhoria do solo relacionado a este sistema de manejo (Silveira *et al.*, 2021) e uso das culturas leguminosas que favorecem a nutrição do solo pela associação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio (Bhutani *et al.*, 2021).

Os resultados da análise econômica da produtividade do milho verde da safra 2020, estão apresentados nas Tabela 5. e refletem os lucros da produção. Pela baixa produtividade considerada, observou-se que os lucros do tratamento com 100% de N foram maiores quando comparados ao tratamento inoculado que apresentaram muitos valores de lucros negativos.

**Tabela 5-** Análise econômica da lucratividade de milho verde cultivado sob diferentes sistemas de cultivo, uso de culturas antecedentes e inoculação de *Azospirillum brasilense* safra 2020.

2020		100% de N e sem inoculante		50% de N + Inoculante	
SC	Cultura	COT R\$	Lucro R\$	COT R\$	Lucro R\$
CC	Caupi	233,1 ABa	103,6 Aba*	231,8 ABa	-105,5Aa
	Milheto	233,1 ABa	5,4 Aa*	224,8 Ba	-209,8Aa
	Crotalária	233,1 ABa	61,6 Aa*	229,0 ABa	-165,9Aa
	Guandu	233,1 ABa	138,7 Aa*	230,ABa	-209,1Ba
CM	Caupi	219,1 Ba	180,7 Aa*	217,8 Ba	-133,7Aa
	Milheto	219,1Ba	-71,8 Ab	210,9 ABa	-126,7Aa
	Crotalária	219,1 Ba	180,7 Aa*	215,1 Ba	-109,9Aa
	Guandu	219,1 Ba	12,4 Aa	216,2 Ba	-68,9ABa
PD	Caupi	240,3 Aa	-43,9 Ba	239,0 Aa	55,6Aa*
	Milheto	240,3 Aa	-43,9 Aa	232,1 Aa	-147,9Aa
	Crotalária	240,3 Aa	54,3 Aa	236,3 Aa	-96,0Aa
	Guandu	240,3 Aa	54,3 Aa	237,4 Aa	-5,9Aa

RB= Receita bruta, COT= Custo operacional total. Letras maiúsculas diferentes diferem significativamente entre sistemas de cultivo para mesma cultura antecedente e adubação. Letras minúsculas diferentes diferem significativamente entre culturas antecedentes para mesmo sistema de cultivo e adubação. Presença de (\*) difere significativamente entre tratamentos de adubação para mesmo sistema de cultivo e cultura antecedente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O maior valor de lucro obtido na safra 2020 foi de R\$180,7/há (Tabela 5) resultante da associação da adoção entre Cultivo mínimo, uso de caupi ou crotalária e adubação 100% nitrogenada. A lucratividade associada ao tratamento de adubação 100% nitrogenada e Cultivo Mínimo com as culturas milheto e a associada ao Plantio direto com caupi e milheto apresentaram valor de lucro negativo.

A lucratividade econômica da produção associada ao tratamento inoculado com 50% de N associado ao Plantio Direto e ao caupi apresentou valor positivo de R\$55,6/há (Tabela 5), sendo estatisticamente superior ao uso de caupi no PD associado ao tratamento de 100% N que

apresentou valor negativo de R\$-43,9/ha pois o lucro não superou os custos de produção. Este resultado indica que o custo/ benefício do Plantio direto nesta associação foi superior ao sistema de cultivo convencional como obtido por Dekamin et al. (2022) que apontaram o Plantio direto como sistema favorável a obtenção de lucro quando calculado também valor de desperdício de materiais e energia.

Apesar da baixa lucratividade econômica da safra, o Plantio Direto por favorecer a fertilidade natural dos solos e minimizar impactos como a perda de carbono ocasionado no cultivo convencional (Souza Medeiros, de *et al.*, 2020) possibilitou uma lucratividade positiva, bem como a inoculação de *Azospirillum brasilense* compensou a demanda nutricional de N, pois este sistema de cultivo pode proporcionar um ambiente mais favorável a potencialização da ação de inoculantes bacterianos (Barrios e Baldani, 2021) e quando associados a cultura antecedente caupi favoreceram a lucratividade da produção. O Plantio direto pode apresentar maiores retornos financeiros a longo prazo em regiões tropicais irrigadas (Keshavarz Afshar *et al.*, 2022) semelhante a nossa área experimental.

Os resultados da análise da receita bruta obtida na safra 2021 estão apresentados na Tabela 6. O maior valor de receita bruta obtida foi de R\$527,5/há como resultado da produtividade associada ao sistema de cultivo convencional, uso de crotalária e tratamento de adubação 100% nitrogenada.

**Tabela 6-** Análise da receita bruta da produtividade de milho verde sob diferentes sistemas de cultivo, culturas antecedentes e inoculação de *Azospirillum brasilense* safra 2021

2021		100% de N e sem inoculante		50% de N + Inoculante	
SC	Cultura	Produtividade (unidade/ha)	Receita Bruta R\$/ha	Produtividade (unidade/ha)	Receita Bruta R\$/ha
CC	Caupi	869,8 Ab	347,9 Ab	778,7Aa	311,5 Aa
	Milheto	1585,2 Aa*	634,1 Aa*	757,5 Aa	303,0 Aa
	Crotalária	1318,7 Aab*	527,5 A ab*	673,4 ABa	269,4 ABa
	Guandu	883,8 Ab	353,5 Ab	715,4 ABa	286,2 ABa
CM	Caupi	210,4 Bc	84,2 B c	968,0 Aa*	387,2 Aa*
	Milheto	883,8 Bab	353,5 B ab	701,4 Aab	280,6 Aab
	Crotalária	673,4 Bb*	269,4 Bb*	308,6 Bb	123,4 Bb
	Guandu	1150,3 Aa*	460,1Aa*	378,7 Bb	151,5 Bb
PD	Caupi	1080,2 Ba	432,1Aa	925,9 Aa	370,4 Aa
	Milheto	1136,3 Ba	454,5 Ba	869,8 Aa	347,9 Aa
	Crotalária	1038,1 ABa	415,2 ABa	729,5 Aa	291,8 Aa
	Guandu	1038,1 Aa	415,2 Aa	883,8 Aa	353,5 Aa

Letras maiúsculas diferentes diferem significativamente entre sistemas de cultivo para mesma cultura antecedente e adubação. Letras minúsculas diferentes diferem significativamente entre culturas antecedentes para mesmo sistema de cultivo e adubação. Presença de (\*) difere significativamente entre tratamentos de adubação para mesmo sistema de cultivo e cultura antecedente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O menor valor de receita bruta obtida foi de R\$84,2/há (Tabela 6) resultante da produtividade associada ao uso do Cultivo mínimo, caupi como cultura antecedente adubação 100% nitrogenada. O valor de receita bruta obtida da associação entre Cultivo mínimo, caupi e inoculação foi de R\$387,2/ha sendo estatisticamente superior ao tratamento de adubação 100% nitrogenada.

A análise econômica da produtividade de milho verde na safra 2021 apresentada na Tabela 7. demonstrou maior lucratividade quando comparada a safra 2020 onde valores positivos foram predominantes, esses resultados também refletem a importância da adubação de base tanto para melhor aproveitamento do N quanto para potencializar o efeito dos inoculantes bacterianos pois a inoculação pode suprir a adubação de base, mas a adubação de cobertura é fundamental para o desenvolvimento das espigas, além disso, a massa de grãos é influenciada pelo genótipo, disponibilidade de nutrientes e condições climáticas durante a fase de enchimento de grão (Alves *et al.*, 2020).

Além da adubação em cobertura outro fator que pode ter influenciado estes resultados, foram as variações na precipitações que vem ocorrendo no estado de Sergipe, acentuadas oscilações com quedas e elevações no volume de produtividade de milho obtida, motivadas principalmente por dificuldades climáticas que ocorreram no estado no decorrer desses anos (Ferreira, Carvalho e Sobral, 2019).

Ao se avaliar os lucros referentes aos tratamentos de adubação observou-se que para o uso de 100% de N apenas lucratividade da produção do cultivo convencional associado com as culturas milheto e crotalária e do Cultivo Mínimo associado com o guandu foi superior ao tratamento inoculado com 75% de N.

O maior valor de lucro econômico obtido foi de R\$366,0/há (Tabela 6) resultante da associação entre sistema de cultivo convencional, milheto como cultura antecedente e adubação 100% nitrogenada. O menor valor de lucro obtido foi de R\$-176,9/há resultante da associação entre adoção de Cultivo mínimo, uso do caupi e adubação 100% nitrogenada.

A lucratividade obtida pela associação entre Cultivo mínimo, uso do caupi e inoculação foi de R\$156,7, sendo estatisticamente de forma significativa superior ao tratamento 100% nitrogenado.

Os resultados de lucratividade apresentados reforçam a dificuldade de comparação entre a adoção de sistemas de cultivo tradicional e conservacionistas já que a receita obtida de cada sistema varia, podendo ser local, clima, e específicos de gestão; fatores que dificultam o desenho geral e conclusões sobre a viabilidade (Keshavarz Afshar *et al.*, 2022).

**Tabela 7-** Análise econômica da lucratividade de milho verde cultivado sob diferentes sistemas de cultivo, uso de culturas antecedentes e inoculação de *Azospirillum brasilense* safra 2021.

2021		100% de N e sem inoculante		50% de N + Inoculante	
SC	Cultura	COT R\$	Lucro R\$	COT R\$	Lucro R\$
CC	Caupi	275,1 Aa	72,9 Ab	244,4 Aa	67,1 Aa
	Milheto	268,1 Aa	366,0 Aa*	237,5 Aa	65,5 Aa
	Crotalária	272,3 Aa	255,2 Aa*	241,7 Aa	27,7 Aa
	Guandu	273,4 Aa	80,1 Ab	242,8 Aa	43,4 ABa
CM	Caupi	261,1 Aa	-176,9 Bc	230,5 Aa	156,7 Aa*
	Milheto	254,1 Aa	99,4 Bab	223,5 Aa	57,1 Aab
	Crotalária	258,3 Aa	11,0 Bb*	227,7 Aa	-104,3 Bbc
	Guandu	259,4 Aa	200,7* Aa	228,8 Aa	-77,3 Bc
PD	Caupi	282,3 Aa	149,8 Aa	251,7 Aa	118,7 Aa
	Milheto	275,3 Aa	179,2 Ba	244,7 Aa	103,2 Aa
	Crotalária	279,5 Aa	135,7* ABa	248,9 Aa	42,9 Aa
	Guandu	280,7 Aa	134,6 Aa	250,0 Aa	103,5 Aa

RB= Receita bruta, COT= Custo operacional total. Letras maiúsculas diferentes diferem significativamente entre sistemas de cultivo para mesma cultura antecedente e adubação. Letras minúsculas diferentes diferem significativamente entre culturas antecedentes para mesmo sistema de cultivo e adubação. Presença de (\*) difere significativamente entre tratamentos de adubação para mesmo sistema de cultivo e cultura antecedente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O uso da inoculação de *Azospirillum brasilense* associada ao uso do caupi no Cultivo Mínimo apresentou lucratividade superior em ao tratamento de adubação com 100% de nitrogênio o uso das demais culturas não diferiu estatisticamente de forma significativa entre os tratamentos de adubação. Este resultado pode se relacionar diretamente ao feijão caupi, pois este desempenha um papel importante na ciclagem de nutrientes, particularmente a fixação biológica de nitrogênio em regiões áridas e regiões semi-áridas. É uma cultura que está associada a uma grande diversidade de bactérias rizóbios de alto valor ecológico, melhorando a fertilidade biológica do solo e a produção de safras (Muindi *et al.*, 2021). Além disso o sucesso da inoculação pode estar diretamente ligado a variedade do milho utilizada que influencia nas respostas da inoculação na presença de N (Carneiro Dias *et al.*, 2021).

No Plantio Direto apenas a lucratividade associada ao uso da crotalária com o tratamento nitrogenado foi superior em relação ao uso da inoculação (Tabela 7). Esta lucratividade pode estar diretamente relacionada a maior entrada de N pela associação da maior dosagem do tratamento com a crotalária que naturalmente aumenta o N do solo devido à sua baixa relação C/N, potencializando a mineralização dos resíduos da planta e a disponibilidade de nutrientes (Leite *et al.*, 2021).

Não se observou diferença significativa entre as demais culturas antecedentes utilizadas independente do tratamento de adubação associados ao Plantio Direto, indicando que

a associação do Plantio Direto com a adoção do uso de culturas antecedentes atua suprindo a demanda nutricional da cultura do milho com o uso de inoculação (Tabela 7). Esse resultado representou boa associação entre as culturas sejam Poaceae ou Fabácea, mas o sucesso das plantas leguminosas se dá pela capacidade de fixação biológica de nitrogênio, seus nódulos e raízes fornecem um nicho rico em nutrientes para acomodar um grande pool de endófitos rizobianos e não rizobianos (Bhutani *et al.*, 2021).

Os custos de produção demonstram-se aqui como fatores limitantes aos benefícios econômicos do Plantio direto mas este sistema de cultivo já é apontado como potencialmente favorável para melhorar a sustentabilidade da produção de milho em agroecossistemas irrigados de superfície em médio e longo prazo como relatado por Afshar *et al.* (2022) que ao compararem os benefícios econômicos do cultivo do milho sob diferentes sistemas de cultivo identificaram maior lucro associado ao Plantio direto em comparação ao sistema de cultivo convencional. Os sistemas de plantio direto podem também aumentar os rendimentos ao longo prazo em locais com maior precipitação (Jacobs *et al.*, 2022). As estratégias destes cultivos conservacionistas favorecem a diminuição dos custos de produção e o aumento da receita.

## CONCLUSÕES

- O Plantio Direto é o sistema de cultivo que mais proporciona a compensação nutricional associada a inoculação do milho com a adoção das culturas antecedentes milheto, caupi e guandu com lucratividade econômica equivalente ao uso apenas de adubação nitrogenada;
- O cultivo convencional associado ao uso do milheto e adubação 100% nitrogenada representa condição de maior lucratividade do milho verde (R\$366,00/há);
- O Cultivo Mínimo associado ao uso do caupi e da inoculação do milho com *Azospirillum brasilense* complementado com 75% de N representa a condição de lucratividade superior ao uso apenas da adubação nitrogenada (R\$156,7/há);
- O comportamento dos dados obtidos no presente estudo permite afirmar que a vantagem também econômica da inoculação de *Azospirillum brasilense* está diretamente relacionada ao manejo de solo e a complementação ideal de adubação nitrogenada.

## REFERÊNCIAS

- ACCO, K. H. S.; GUZATT, N. C.; FRANCO, C. Analysis of cost of production and profitability in the production of conventional and transgenic corn in mato grosso. **Custos e Agronegócio**, v. 16, n. 1, p. 250–275, 2020.
- ALVES, M. V.; NESI, C. N.; NAIBO, G.; BARRETA, M. H.; LAZZARI, M.; FIORESE, A.; SKORONSKI, E. Corn seed inoculation with *Azospirillum brasilense* in different nitrogen fertilization management. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 3, p. 6–11, 2020.
- ARAUJO, F. C. DE; NASCENTE, A. S.; FILIPPI, M. C. C. DE; SILVA, M. A.; SOUSA, V. S.; LANNA, A. C. Cover crops and multifunctional microorganisms can affect development of upland rice. **Australian Journal of Crop Science**, v. 15, n. 1, p. 137–144, 2021.
- BARRIOS, S. C. L.; BALDANI, J. I. Avaliação da resposta de cultivares de *Brachiaria brizantha* a inoculação com bactérias diazotróficas para caracteres de produção de forragem e valor nutritivo. **Embrapa Gado de Corte**, n. 48, 2021.
- BERTOLINO, K. M.; DUARTE, G. R. B.; VASCONCELOS, G. M. P. DE V. E; BOTREL, É. P. Desempenho de crotalária consorciada com milho na produção de biomassa. **ForScience**, v. 9, n. 1, p. e00895, 2021.
- BHUTANI, N.; MAHESHWARI, R.; KUMAR, P.; SUNEJA, P. Bioprospecting of endophytic bacteria from nodules and roots of *Vigna radiata*, *Vigna unguiculata* and *Cajanus cajan* for their potential use as bioinoculants. **Plant Gene**, v. 28, n. December 2020, p. 100326, 2021.
- BONETTI, A. P. M.; RUFATTO, I.; ZANIN, A.; MAGRO, C. B. D. Análise Dos Custos Variáveis Da Produção De Milho No. v. 8329, p. 84–104, 2021.
- CALZAVARA, A. K.; PAIVA, P. H. G.; GABRIEL, L. C.; OLIVEIRA, A. L. M.; MILANI, K.; OLIVEIRA, H. C.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A.; OLIVEIRA, M. C. N. DE; DIAS-PEREIRA, J.; STOLF-MOREIRA, R. Associative bacteria influence maize (*Zea mays* L.) growth, physiology and root anatomy under different nitrogen levels. **Plant Biology**, v. 20, n. 5, p. 870–878, 2018.
- CARNEIRO DIAS, V.; PELUZIO, J. M.; AFFÉRI, F. S.; LIMA, M. D. DE; RIBEIRO DOS SANTOS, D. B.; BENKO, G.; SANTOS, W. F. DOS; SODRÉ SANTOS, L. F.; BARBOSA, A. S.; FARIA, L. A. DE. Efficiency and response of corn cultivars to nitrogen, associated or not with *Azospirillum brasilense*. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 8, n. 4, p. 217–224, 2021.
- CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira. **Boletim da Safra 2021**, v. 8, n. Terceiro levantamento, p. 59, 2021.
- EPAGRI. Conceitos e métodos aplicados à gestão de empreendimentos rurais e custos de produção nos programas da Epagri. **Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina**, 2021.
- FERRAREZI, J. A.; CARVALHO-ESTRADA, P. D. A.; BATISTA, B. D.; ANICETO, R. M.; TSCHOEKE, B. A. P.; ANDRADE, P. A. D. M.; LOPES, B. D. M.; BONATELLI, M. L.; ODISI, E. J.; AZEVEDO, J. L.; QUECINE, M. C. Effects of inoculation with plant

growth-promoting rhizobacteria from the Brazilian Amazon on the bacterial community associated with maize in field Est a. v. 170, n. November 2021, 2022.

FERREIRA, A. L. B.; CARVALHO, J. F.; SOBRAL, P. H. M. **Plano Plurianual 2020-2023-PROGRAMA TEMÁTICO: Desenvolvimento e Rural Inclusão Produtiva** GOVERNO DE SERGIPE SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA, DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO E DA PESCA PLANO, , 2019.

GAVILANES, F. Z.; SOUZA ANDRADE, D.; ZUCARELI, C.; HORÁCIO, E. H.; SARKIS YUNES, J.; BARBOSA, A. P.; ALVES, L. A. R.; CRUZATTY, L. G.; MADDELA, N. R.; GUIMARÃES, M. DE F. Co-inoculation of *Anabaena cylindrica* with *Azospirillum brasilense* increases grain yield of maize hybrids. **Rhizosphere**, v. 15, n. June, p. 100224, 2020.

GITHONGO, M. W.; KIBOI, M. N.; NGETICH, F. K.; MUSAFIRI, C. M.; MURIUKI, A.; FLIESSBACH, A. The effect of minimum tillage and animal manure on maize yields and soil organic carbon in sub-Saharan Africa: A meta-analysis. **Environmental Challenges**, v. 5, n. August, p. 100340, 2021.

HE, D.; LU, C.; TONG, Z.; ZHONG, G.; MA, X. Research Progress of Minimal Tillage Method and Machine in China. **AgriEngineering**, v. 3, n. 3, p. 633–647, 2021.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasiliense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Londrina: [s.n.].

IBGE. Indicadores IBGE - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, Estatística da Produção Agrícola. **Ibge**, p. 148, 2022.

IRFAN, S. A.; RAZALI, R.; KUSHAARI, K. Z.; MANSOR, N.; AZEEM, B.; FORD VERSYPT, A. N. A review of mathematical modeling and simulation of controlled-release fertilizers. **Journal of Controlled Release**, v. 271, n. December 2017, p. 45–54, 2018.

JACOBS, A. A.; EVANS, R. S.; ALLISON, J. K.; GARNER, E. R.; KINGERY, W. L.; MCCULLEY, R. L. Cover crops and no-tillage reduce crop production costs and soil loss, compensating for lack of short-term soil quality improvement in a maize and soybean production system. **Soil and Tillage Research**, v. 218, n. December 2021, p. 105310, 2022.

KAMINSKY, L. M.; TREXLER, R. V.; MALIK, R. J.; HOCKETT, K. L.; BELL, T. H. The Inherent Conflicts in Developing Soil Microbial Inoculants. **Trends in Biotechnology**, v. 37, n. 2, p. 140–151, 2019.

KANEKO, F. H.; SABUNDJIAN, M. T.; ARF, O.; FERREIRA, J. P.; GITTI, D. C.; NASCIMENTO, V.; LEAL, A. J. F. Análise Econômica do Milho em Função da Inoculação com *Azospirillum*, Fontes e Doses de N em Cerrado de Baixa Altitude. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 1, p. 23–37, 2015.

KESHAVARZ AFSHAR, R.; CABOT, P.; IPPOLITO, J. A.; DEKAMIN, M.; REED, B.; DOYLE, H.; FRY, J. Corn productivity and soil characteristic alterations following transition from conventional to conservation tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 220, n. February, p. 105351, 2022.

KESHAVARZ AFSHAR, R.; DEKAMIN, M. Sustainability assessment of corn production in conventional and conservation tillage systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 351, n. March, p. 131508, 2022.

LEITE, H. M. F.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A.; MENDES, L. W.; MORAES, L. N. DE; GROTTTO, R. M. T.; ARAUJO, F. F.; PEREIRA, A. P. DE A.; MELO, V. M. M.; ARAUJO, A. S. F. Cover crops shape the soil bacterial community in a tropical soil under no-till. **Applied Soil Ecology**, v. 168, n. January, 2021.

MATSUNAGA, M.; BEMELMANS, P. F.; TOLEDO, P. E. N. DE; DULLEY, R. D.; OKAWA, H.; PEDROSO, I. BY A. **Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEAAgricultura em Sao Paulo (Brasil)**, 1976.

MÁXIMO, JOSÉ, P.; DE, M.; PINTO, A. A.; THOMAZ, F.; MOTA, M. D.; EDCARLA, F.; NICOLAU, D. A. Revista de Agricultura Neotropical Adubação nitrogenada em cobertura em dois cultivares de milho no. p. 23–28, 2019.

MENDOZA-FERN, A. J.; PEÑA-FERN, A.; MOLINA, L.; AGUILERA, P. A. The Role of Technology in Greenhouse Agriculture : Towards a Sustainable Intensification in Campo de Dal í as ( Almer í a , Spain ). p. 1–14, 2021.

MUINDI, M. M.; MUTHINI, M.; NJERU, E. M.; MAINGI, J. Symbiotic efficiency and genetic characterization of rhizobia and non rhizobial endophytes associated with cowpea grown in semi-arid tropics of Kenya. **Heliyon**, v. 7, n. 4, 2021.

NASCIMENTO, G.; SOUZA, T. A. F. DE; SILVA, L. J. R. DA; SANTOS, D. Soil physico-chemical properties, biomass production, and root density in a green manure farming system from tropical ecosystem, North-eastern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 21, n. 6, p. 2203–2211, 2021.

NUNES, D. O.; FAVARO, J. H. D. S.; CHARLO, H. C. D. O.; LOSS, A.; BARRETO, A. C.; TORRES, J. L. R. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Green and sweet corn grown under different cover crops and phases of the no-tillage system 1 Milhos verde e doce cultivados sob diferentes coberturas e estádios do sistema de plantio direto. p. 173–179, 2022.

NUNES, R. DE O.; DOMICIANO ABRAHÃO, G.; SOUSA ALVES, W. DE; APARECIDA DE OLIVEIRA, J.; CÉSAR SOUSA NOGUEIRA, F.; PASQUALOTO CANELLAS, L.; LOPES OLIVARES, F.; BENEDETA ZINGALI, R.; SOARES, M. R. Quantitative proteomic analysis reveals altered enzyme expression profile in *Zea mays* roots during the early stages of colonization by *Herbaspirillum seropedicae*. **Proteomics**, v. 21, n. 7–8, p. 1–12, 2021.

OLIVEIRA, F. DE A.; SILVA, J. C.; SANTOS, D. P. DOS; BARRETO, J. A. S.; SILVA, C. B. DA; SANTOS, M. A. L. DOS; SANTOS, V. R. DOS. Níveis crescentes de irrigação e maior densidade de plantas aumentam a produtividade do milho verde. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 43371–43381, 2020.

OUYANG, S.; HU, J.; YANG, M.; YAO, M.; LIN, J. Temporal and Regional Differences and Empirical Analysis on Sensitive Factors of the Corn Production Cost in China. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 12, n. 3, 2022.

PEDROTTI, A.; FILHO, R. N. DE A.; ASSUNÇÃO, S. J. R.; RESENDE, S. C.; FILHO, R. R. G.; OLIVEIRA, F. C. C. DE; HOLANDA, F. S. R.; SANTOS, D.; DIAS, J. L. A.; SANTANA, A. P. S. DE. Productivity of Sweet Maize (*Zea mays* L.) under Previous Crops and Cropping Systems in the Brazilian Northeast. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 26, n. 1, p. 1–9, 2018.

PEIXOTO, R. DA S.; SANTOS, G. R. DOS. MEDIDAS DE PRODUTIVIDADE DA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA: UMA BREVE DISCUSSÃO SOBRE A IMPORTÂNCIA DO ENFOQUE REGIONAL. *In: Boletim Regional, Urbano e Ambiental*. Brasília DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2021. .

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Nobel/USP-ESALQ, 1990. v. 13. ed.

POSSAMAI, E. J.; CONCEIÇÃO, P. C.; AMADORI, C.; BARTZ, M. L. C.; RALISCH, R.; VICENSI, M.; MARX, E. F. Adoption of the no-tillage system in Paraná State: A (re)view. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 46, p. 1–24, 2022.

QI, J.; JENSEN, J. L.; CHRISTENSEN, B. T.; MUNKHOLM, L. J. Soil structural stability following decades of straw incorporation and use of ryegrass cover crops. **Geoderma**, v. 406, n. September 2021, p. 115463, 2022.

REIS, V.M; TEIXEIRA, K. R. S. Fixação Biológica de Nitrogênio – Estado da Arte. *In: Processos Biológicos no sistema solo-planta*. [s.l: s.n.]. p. 151–180.

REIS, J. C. DOS; KAMOI, M. Y. T.; LATORRACA, D.; CHEN, R. F. F.; MICHETTI, M.; WRUCK, F. J.; GARRETT, R. D.; VALENTIM, J. F.; RODRIGUES, R. D. A. R.; RODRIGUES-FILHO, S. Assessing the economic viability of integrated crop-livestock systems in Mato Grosso, Brazil. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 35, n. 6, p. 631–642, 2020.

SABRI, N.; KASSIM, N. S.; IBRAHIM, S.; ROSLAN, R.; MANGSHOR, N. N. A.; IBRAHIM, Z. Nutrient deficiency detection in maize (*Zea mays* L.) leaves using image processing. **IAES International Journal of Artificial Intelligence**, v. 9, n. 2, p. 304–309, 2020.

SALVO, L. P. DI; CELLUCCI, G. C.; CARLINO, M. E.; GARCÍA DE SALAMONE, I. E. Plant growth-promoting rhizobacteria inoculation and nitrogen fertilization increase maize (*Zea mays* L.) grain yield and modified rhizosphere microbial communities. **Applied Soil Ecology**, v. 126, n. July 2017, p. 113–120, 2018.

SIAGIAN, V.; RESMAYETI; YUNIARTI, S.; HIDAYAH, I. Analysis of factors that influence production and cost of corn in Banten province. **E3S Web of Conferences**, v. 232, p. 1–9, 2021.

SILVEIRA, B. D. S.; TORRES, J. L. R.; ORIOLI JÚNIOR, V.; FAVARO, J. H. D. S.; COSTA, L. L.; CHARLO, H. C. D. O. Cover crops in the production of green and sweet corn. **Horticultura Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 94–101, 2021.

SILVEIRA, E. S.; SILVA, A. F.; SANTOS, B. N.; HUGO, G.; OLIVEIRA, F. Morphological characterization and selection of maize genotypes for the semiarid region. p. 1–17, 2022.

SKONIESKI, F. R.; VIÉGAS, J.; MARTIN, T. N.; CARLOS MINGOTTI, C. A.; NAETZOLD, S.; TONIN, T. J.; DOTTO, L. R.; MEINERZ, G. R. Effect of nitrogen topdressing fertilization and inoculation of seeds with *azospirillum brasilense* on corn yield and agronomic characteristics. **Agronomy**, v. 9, n. 12, p. 1–11, 2019.

SOUZA, Ê. G. F.; CRUZ, E. A. DA; FRANÇA, R. F. DA; SANTOS, M. G. DOS; SILVA, T. G. F. DA; LEITE, M. L. DE M. V.; JÚNIOR, A. P. B.; NETO, F. B. Economic nitrogen doses via fertigation for corn cultivation in a semiarid environment. **Acta Scientiarum** -

**Agronomy**, v. 43, p. 1–11, 2021.

SOUZA, Ê. G. F.; CRUZ, E. A. DA; FRANÇA, R. F. DA; SILVA, J. M. DA; JÚNIOR, A. P. B.; NETO, F. B. Economic nitrogen rate for fertigation of green corn crop in the Brazilian semiarid. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 54, 2019.

SOUZA MEDEIROS, A. DE; MALTA FERREIRA MAIA, S.; SANTOS, T. C. DOS; ARAÚJO GOMES, T. C. DE. Soil carbon losses in conventional farming systems due to land-use change in the Brazilian semi-arid region. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 287, n. December 2018, p. 106690, 2020.

TELLES, T. S.; RIGHETTO, A. J.; LOURENÇO, M. A. P.; BARBOSA, G. M. C. No-tillage system participatory quality index. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 128–133, 2020.

TEZOLIN, T. DE A.; MONTEIRO, F. DAS N.; FALCÃO, K. DOS S.; MENEZES, R. DA S.; XIMENES, T. S.; PANACHUKI, E.; CARVALHO, L. A. DE. Physical attributes of soil in different agricultural productions systems. **Research, Society and Development**, v. 10, p. 1–15, 2021.

WALLER, S.; WILDER, S. L.; SCHUELLER, M. J.; HOUSH, A. B.; FERRIERI, R. A. Quantifying plant-borne carbon assimilation by root-associating bacteria. **Microorganisms**, v. 8, n. 5, 2020.

WANG, X. Managing Land Carrying Capacity: Key to Achieving Sustainable Production Systems for Food Security. **Land**, v. 11, n. 4, p. 484, 2022.

WOLSCHICK, N. H.; BERTOL, I.; BAGIO, B.; WROBLESCKI, F. A.; BERNARDI, L. Chemical Recovery of Degraded Soil and Consequence in the Cost of Corn Production. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 63, p. 1–9, 2020.

ZHANG, S.; ZHANG, Y.; WANG, Y.; HAO, Y.; SU, W.; SUN, G.; LIU, H.; CHEN, R.; SONG, S. Nitrogen Absorption Pattern Detection and Expression Analysis of Nitrate Transporters in Flowering Chinese Cabbage. **Horticulturae**, v. 8, n. 3, 2022.

ZULUAGA, M. Y. A.; MILANI, K. M. L.; GONÇALVES, L. S. A.; OLIVEIRA, A. L. M. DE. Diversity and plant growth-promoting functions of diazotrophic/N-scavenging bacteria isolated from the soils and rhizospheres of two species of Solanum. **PLoS ONE**, v. 15, n. 1, p. 1–25, 2020.

## CONCLUSÕES GERAIS

Baseado nas condições do presente estudo e nos resultados obtidos, permite-se concluir as importantes questões:

- As tecnologias conservacionistas quando associadas, podem reduzir entre 25% e 50% a necessidade do uso do fertilizante químico nitrogenado, proporcionando benefícios econômicos e ambientais.
- A associação entre CC, milheto e adubação 100% nitrogenada, representa condição de maior produtividade (1585 espigas comerciais/há) e maior lucratividade (R\$366,00/há) do milho verde.
- A associação entre PD, caupi e inoculação de *Azospirillum brasilense* +75% de N, garante produtividade (778 espigas comerciais/há) e lucratividade equivalente ao uso de 100% de adubação nitrogenada (até R\$ 118,70/há).
- A associação entre CM, caupi como cultura antecedente e inoculação de *Azospirillum brasilense* +75% de N, garante produtividade (968 espigas comerciais /há) e lucratividade (R\$ 156,70/há) do milho verde, superior ao uso de adubação 100% nitrogenada nas condições edafoclimáticas de Sergipe.
- O uso a longo prazo dos sistemas de manejo conservacionistas são fontes potenciais para redução de custos de produção e aumento na obtenção dos lucros, ao mesmo tempo em que reduzem a pressão ambiental de sistemas convencionais de manejo que ameaçam a fertilidade dos solos cultiváveis.