

2025

Uso de Azospirillum brasilense ABV5 e ABV6 e Pseudomonas fluorescens no desenvolvimento inicial de plantas

Edouard, Lovely Santia

Universidade Estadual do Norte do Paraná

EDOUARD, Lovely Santia. Uso de Azospirillum brasilense Abv5 e Abv6 E Pseudomonas fluorescens no desenvolvimento inicial de plantas. Orientador: Leopoldo Sussumu Matsumoto. 2025. 42 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Campus Luiz Meneghel, Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2025.

<https://repositorio.uenp.edu.br/handle/123456789/852>

Baixado de Repositório Institucional UENP



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ
CAMPUS LUIZ MENEGHEL
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

LOVELY SANTIA EDOUARD

**USO DE *Azospirillum brasilense* Abv5 e Abv6 E *Pseudomonas fluorescens*
NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DE PLANTAS**

BANDEIRANTES - PR

2025

LOVELY SANTIA EDOUARD

**USO DE *Azospirillum brasilense* Abv5 e Abv6 E *Pseudomonas fluorescens*
NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DE PLANTAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em
Agronomia (PPAGRO), da Universidade Estadual do
Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel.

Orientador: Prof. Dr. Leopoldo Sussumu Matsumoto.

BANDEIRANTES - PR

2025

LOVELY SANTIA EDOUARD

USO DE *Azospirillum brasilense* Abv5 e Abv6 E *Pseudomonas fluorescens* NO
DESENVOLVIMENTO INICIAL DE PLANTAS

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado
em Agronomia da Universidade Estadual do Norte
do Paraná – Campus Luiz Meneghel

Aprovada em: ____ / ____ / ____

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Leopoldo Sussumu Matsumoto – UENP

Prof. Dr. Oriel Tiago Kölln – UENP

Profa. Dra. Karina Aline Alves Dário – IDR-PARANÁ

Ficha catalográfica elaborada na Biblioteca do Campus "Luiz Meneghel", vinculada ao Sistema de Bibliotecas Universitárias da Universidade Estadual do Norte do Paraná (SBU-UENP)

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

E2436u Edouard, Lovely Santia.
Uso de *Azospirillum brasilense* Abv5 e Abv6 e *Pseudomonas fluorescens* no desenvolvimento inicial de plantas / Lovely Santia Edouard. – 2025.
42 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Leopoldo Sussumu Matsumoto.
Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-graduação em Agronomia, 2025.
Inclui bibliografia.

1. Cana-de-açúcar - Dissertação. 2. Rizobactérias promotoras do crescimento de plantas - Dissertação. 3. Fertilidade do solo - Dissertação. 4. Fixação biológica de nitrogênio - Dissertação. 5. Bioinsumos. I. Matsumoto, Leopoldo Sussumu. II. Universidade Estadual do Norte do Paraná. Campus Luiz Meneghel. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-graduação em Agronomia. III. Título.

CDD: 631.86 (22.ed)

Bibliotecário Elísio Custódio Brentan Junior (CRB-9/1955)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de expressar minha gratidão a Deus Todo-Poderoso, que me sustentou nos momentos difíceis e guiou meus passos ao longo deste caminho. Obrigado, Senhor, por me dar a força para perseverar e não desistir.

Agradeço aos meus pais, Maurice Edouard e Yvette Olivier Edouard, pelo amor, pelo apoio incondicional, pelo carinho e pelos valores que me transmitiram. A educação rigorosa e os princípios que me ensinaram continuam a me guiar em todos os aspectos da minha vida.

Aos meus queridos irmãos e irmãs, pelo apoio constante, pelo amor, pelos conselhos sábios e pelo encorajamento.

Ao meu querido esposo, Cherno Pierre, pelo amor, pelo carinho, pelo apoio incondicional e pelo conforto que me ofereceu durante os momentos difíceis. Seus incentivos e conselhos sempre foram uma fonte de motivação para seguir em frente.

Aos meus filhos amados, obrigada pelo amor e pelo carinho.

À minha querida tia Solène Olivier, que é para mim uma segunda mãe e que contribuiu muito para o meu desenvolvimento pessoal. Obrigada pelos seus conselhos valiosos e pelo constante encorajamento.

Ao meu orientador Prof. Dr. Leopoldo Sussumu Matsumoto, por ter aceitado me guiar neste trabalho, pela paciência e pela compreensão comigo.

Ao Professor Rone Batista de Oliveira, pelo acolhimento caloroso, pelo apoio e pelos conselhos valiosos, que foram de grande utilidade ao longo deste processo.

Ao professor Diego Resende Rodrigues, pela sua ajuda na realização das análises estatísticas.

A todos os professores do curso, expressei minha gratidão pelo ensino e pela compreensão ao longo de toda esta formação.

Aos meus colegas de mestrado, pela parceria e disponibilidade em me ajudar sempre que precisei. A colaboração de vocês foi essencial para a realização deste trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Microbiologia dos Solos – Lab MicroS, especialmente Guilherme Augusto Shinozaki e Anderson de Souza Santos, pela colaboração ao longo da experiência e pela ajuda sempre que necessário.

À CAPES, pelo financiamento da bolsa que permitiu a realização desta pesquisa.

Finalmente, desejo expressar meus agradecimentos a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

MUITO OBRIGADA!

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Porcentagem de germinação das sementes de soja após 8 dias.

Tabela 2. Porcentagem de germinação das sementes de milho após 7 dias

Tabela 3. Porcentagem de inibição do crescimento de *Sclerotinia sclerotiorum*, *Fusarium solani* e *Macrophomina phaseolina*

Tabela 4. Atributos microbiológicos do solo

Tabela 5. Parâmetros agronômicos da Cana-de-açúcar

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vasos de plantas em câmara climatizada de crescimento de plantas

Figura 2. Teste de germinação da semente de soja após 8 dias

Figura 3. Teste de germinação da semente de milho após 7 dias

Figura 4. Plaqueamento pareado – confronto dos bioinsumos com *Sclerotinia sclerotiorum*

Figura 5. Plaqueamento pareado – confronto dos bioinsumos com *Fusarium solani*

Figura 6. Plaqueamento pareado – confronto dos bioinsumos com *Macrophomina phaseolina*

LISTA DE ABREVIATURAS

ACT	Actinomicetos;
AMI	Amilolíticos;
BaCl₂	Cloreto de Bário;
BMS	Biomassa Microbiana do Solo;
BPH	Bactérias Heterotróficas
CaCl₂	Cloreto de Cálcio;
Ca	Cálcio;
CBM	Carbono da Biomassa Microbiana do Solo;
CEL	População de Celulolíticos;
CLM	Campus Luiz Meneghel;
C.O.T	Carbono Orgânico Total;
CO₂	Gás Carbônico;
Cm	Centímetros;
COT	Carbono Orgânico Total;
CTC	Capacidade de Troca de Cátions;
g	Gramas;
HCl	Ácido Clorídrico;
H₂SO₄	Ácido Sulfúrico;
H₃PO₄	Ácido Ortofosfórico;
IVCM	Índice de Velocidade de Crescimento Micelial
K	Potássio;
Kg	Quilogramas;
K₂SO₄	Sulfato de Potássio

K₂Cr₂O₇	Dicromato de Potássio
L	Litro;
MFPA	Massa Fresca da Parte Aérea;
MFR	Massa Fresca da Raiz;
Mg	Magnésio;
mL	Mililitro;
mm	Milímetros;
MFR	Massa Fresca Raiz;
M.O.	Matéria Orgânica;
MSPA	Massa Seca da Parte Aérea;
NFB	Fixadores de Nitrogênio Livre
P	Fósforo;
pH	Potencial Hidrogênioônico;
PRO	Proteolíticos;
PSF	<i>Pseudomonas Fluorescens</i> ;
qCO₂	Quociente Metabólico;
qMIC	Quociente Microbiano;
RBS	Respiração Basal do Solo;
SF	Solubilizadores de Fosfato;
SFP	Fungos Saprofíticos;
UENP	Universidade Estadual do Norte do Paraná.

EDOUARD LOVELY S. *Use of Azospirillum brasilense Abv5 and Abv6 and Pseudomonas fluorescens in the initial development of plants*. Dissertação de Mestrado em Agronomia - Universidade Estadual do Norte do Paraná – *Campus* Luiz Meneghel, Bandeirantes, 2024.

RESUMO

A agricultura sustentável é imprescindível para enfrentar os desafios relacionados à segurança alimentar e à proteção ambiental. O uso de bioinsumos como *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* surge como uma alternativa promissora aos insumos químicos para melhorar a fertilidade do solo e a produtividade da cultura de cana-de-açúcar, ao mesmo tempo que reduz os impactos ambientais. Esses microrganismos, frequentemente chamados de PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria), atuam por meio de diversos mecanismos, como a fixação de nitrogênio atmosférico, a solubilização de nutrientes e a produção de fitohormônios que favorecem o desenvolvimento das raízes e aumentam a resistência das plantas ao estresse abiótico. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia do bioinsumo a base de *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* produzidos em biorreatores em fermentação isolada e combinadas, no desenvolvimento da Cana-de-açúcar. Foram avaliadas ação destes bioinsumos quanto a germinação de semente de soja e milho, e a ação biocontrole contra fungos fitopatogênicos. Foram também avaliados a influência dos bioinsumos na comunidade microbiana do solo e nos parâmetros agronômicos da cana-de-açúcar. O ensaio foi conduzido em Câmara de Crescimento de Plantas com temperatura, fotoperíodo e umidade controlada. A utilização de *Azospirillum* e *Pseudomonas* isoladamente não apresentou interferência na germinação, no entanto, o uso combinado destes apresentou influência negativa na germinação do milho e soja. As cepas avaliadas não apresentaram atividade de biocontrole. Do ponto de vista microbiológico, o estudo revelou que a aplicação de bioinsumos aumentou significativamente a biomassa microbiana e a atividade biológica do solo, confirmando seu papel na regeneração da estrutura microbiana do solo, um fator-chave para manter a fertilidade e a sustentabilidade das terras agrícolas. A melhora nos atributos microbiológicos influenciou nos parâmetros agronômicos, demonstrando maior altura das plantas, maior massa fresca e seca da parte aérea e raiz. Assim, podemos concluir que os bioinsumos à base de *Azospirillum brasilense Abv5 e Abv6 e Pseudomonas fluorescens*, de fermentação isolada ou conjunta, apresentou impacto positivo na qualidade do solo, melhorando tanto sua estrutura quanto sua capacidade de reter nutrientes essenciais para as culturas.

Palavras-chave: Agricultura sustentável; bioinsumos; rizobactérias; PGPR; Cana-de-açúcar

EDOUARD LOVELY S. **Uso de *Azospirillum brasilense* Abv5 e Abv6 e *Pseudomonas fluorescens* no desenvolvimento de plantas.** Dissertação de Mestrado em Agronomia - Universidade Estadual do Norte do Paraná – *Campus* Luiz Meneghel, Bandeirantes, 2025.

ABSTRACT

Sustainable agriculture is essential to address challenges related to food security and environmental protection. The use of bioinputs such as *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens* emerges as a promising alternative to chemical inputs to improve soil fertility and sugarcane crop productivity, while reducing environmental impacts. These microorganisms, often called PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria), act through several mechanisms, such as atmospheric nitrogen fixation, nutrient solubilization, and the production of phytohormones that favor root development and increase plant resistance to abiotic stress. The objective of this study was to evaluate the effectiveness of the bioinput based on *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens* produced in bioreactors in isolated and combined mixtures, in the development of sugarcane. The actions of bioinputs on the germination of soybean and corn seeds and their biocontrol action against phytopathogenic fungi were evaluated. The influence of bioinputs on the soil microbial community and the agronomic parameters of sugarcane were also evaluated. The trial was conducted in a Plant Growth Chamber with controlled temperature, photoperiod and humidity. The use of *Azospirillum* and *Pseudomonas* alone did not interfere with germination; however, their combined use had a negative influence on the germination of corn and soybeans. The strains evaluated did not evaluate biocontrol activity. From a microbiological point of view, the study revealed that the application of bioinputs significantly increased the microbial biomass and biological activity of the soil, confirming their role in the regeneration of the soil microbial structure, a key factor in maintaining the fertility and sustainability of agricultural lands. The improvement in microbiological attributes influenced the agronomic parameters, demonstrating greater plant height, greater fresh and dry mass of the aerial part and root. Thus, we can conclude that the bioinputs based on *Azospirillum brasilense* Abv5 and Abv6 and *Pseudomonas fluorescens*, collected separately or together, had a positive impact on soil quality, improving both its structure and its capacity to retain essential nutrients for crops.

Keywords: Sustainable agriculture; bioinputs; rhizobacteria; PGPR; Sugarcane

Sumário

1-	INTRODUÇÃO	13
2-	JUSTIFICATIVA.....	14
3-	OBJETIVOS	15
3.1.	Objetivo Geral	15
3.2.	Objetivos Específicos.....	15
4-	REVISÃO DA LITERATURA.....	15
4.1.	A Cultura da Cana-de-Açúcar	15
4.2.	Biofertilizantes	16
4.3.	Qualidade do solo	17
4.4.	Microrganismos do solo	19
4.4.1.	Grupos funcionais.....	20
4.4.1.1.	Bactérias do solo	20
4.4.1.2.	Fungos do solo.....	20
4.4.1.3.	<i>Azospirillum brasilense</i>	21
4.4.1.4.	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	21
5-	MATERIAL E MÉTODOS	22
5.1.	Teste de Germinação.....	22
5.2.	Teste de biocontrole	23
5.3.	Avaliação Microbiológica do Solo.....	24
5.3.1-	Carbono de biomassa microbiana	24
5.3.2.	Respiração do solo basal.....	25
5.3.3.	Quociente metabólico (qCO_2) e quociente microbiano ($qMIC$).....	25
5.4.	Análise de parâmetros agronômicos.....	26
6-	ANÁLISE ESTATÍSTICA	26
7-	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	26
7.1-	Teste de Germinação	26
7.2-	Teste de biocontrole	29
7.3-	Análise Microbiológica do Solo.....	31
7.4-	Avaliação dos parâmetros agronômicos da Cana-de-açúcar	33
8-	CONCLUSÃO	35
9-	REFERÊNCIAS	36

1- INTRODUÇÃO

A agricultura sustentável tornou-se um imperativo global diante dos crescentes desafios de segurança alimentar, preservação dos recursos naturais e combate às mudanças climáticas. À medida que a população mundial continua a crescer, a necessidade de adotar práticas agrícolas que aumentem a produtividade, minimizando o impacto ambiental, torna-se cada vez mais urgente (FAO, 2023). Nesse contexto, a integração de bioinsumos, também conhecidos como insumos biológicos, representa uma abordagem inovadora e promissora para enfrentar esses desafios. Esses produtos biológicos, muitas vezes derivados de microrganismos vivos como bactérias e fungos, são projetados para melhorar a fertilidade dos solos e estimular o crescimento das plantas, reduzindo ao mesmo tempo o uso de insumos químicos tradicionais.

O uso de bioinsumos visa fortalecer os processos naturais nos agroecossistemas, com o objetivo de melhorar a saúde do solo e promover a resiliência das culturas aos estresses bióticos (patógenos, parasitas) e abióticos (seca, temperaturas extremas). Esses produtos desempenham importante papel ao modificar favoravelmente as dinâmicas biológicas e bioquímicas do solo, contribuindo assim para a formação de solos mais férteis e produtivos. Entre os bioinsumos, inoculantes microbianos como *Pseudomonas fluorescens* e *Azospirillum brasilense* são particularmente eficazes em estimular o crescimento vegetal graças às suas capacidades de fixação de nitrogênio, solubilização de fosfatos e produção de fitormônios, favorecendo assim um desenvolvimento radicular (Hungria *et al.*, 2010).

A atividade biológica do solo, ou seja, o conjunto de processos realizados pelos organismos vivos presentes no solo, representa importante indicador de sua saúde e fertilidade. Os microrganismos do solo, como bactérias, fungos e microfauna, desempenham um papel essencial na decomposição da matéria orgânica, liberação de nutrientes e formação de húmus, que são elementos essenciais para o crescimento das plantas (Bhaduri *et al.*, 2022). Ao integrar bioinsumos nas práticas agrícolas, é possível fortalecer esses processos naturais, aumentando a diversidade e a atividade das comunidades microbianas do solo, o que tem efeitos diretos na produtividade das culturas.

A importância dos bioinsumos na gestão sustentável dos solos também está relacionada à sua capacidade de influenciar a biomassa microbiana e atividade metabólica do solo. De fato, o uso desses produtos biológicos determina o aumento significativo da biomassa microbiana e conseqüentemente melhoria nos parâmetros como respiração do solo e o carbono microbiano, ao mesmo tempo em que reduz o quociente metabólico (qCO_2), que é um indicador

da eficiência metabólica dos microrganismos do solo (Verma *et al.*, 2023). Essas melhorias resultam não apenas na melhoria da saúde do solo, mas também aumentam sua capacidade de reter água, limitar a erosão e oferecer maior resiliência frente a condições climáticas extremas.

Paralelamente, o desenvolvimento da bioprospecção, que consiste em descobrir e explorar novas moléculas bioativas provenientes da biodiversidade microbiana, se observa o aumento do potencial dos bioinsumos na gestão sustentável dos agroecossistemas. Os metabólitos secundários produzidos por esses microrganismos são eficazes na regulação das interações microbianas no solo, favorecendo um microbioma equilibrado e resiliente contra patógenos (Almeida, 2017; Guo, 2017). Os bioinsumos não apenas estimulam a atividade microbiana, mas também criam condições favoráveis para as populações microbianas benéficas, ao mesmo tempo em que reduzem a prevalência de agentes patogênicos. Essa abordagem contribui não apenas para melhoria da produtividade das culturas, mas também para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

O presente estudo destaca o efeito dos bioinsumos em cultura como cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), que é de suma importância na economia agrícola global e recursos energéticos. No Brasil, essa cultura ocupa um lugar de destaque não apenas por seu valor econômico, mas também por sua importância estratégica na produção de energia alternativa e limpa.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho agrônomo dos bioinsumos à base de *Pseudomonas fluorescens* e *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento de Cana-de-açúcar. Além dessas avaliações agrônomicas, esta pesquisa buscou avaliar o efeito desses sobre a fertilidade e a microbiota solo, por meio da análise do carbono da biomassa microbiana, da atividade biológica do solo e das propriedades físico-químicas.

2- JUSTIFICATIVA

O uso de bactérias benéficas na cultura da cana-de-açúcar representa alternativa promissora para reduzir os custos e as perdas associadas ao manejo de fertilizantes, mantendo níveis elevados de produtividade. Esses microrganismos, como *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens*, permitem substituir parcial ou totalmente os fertilizantes tradicionais. *Azospirillum brasilense* fixa o nitrogênio atmosférico, enquanto *Pseudomonas fluorescens* favorece a disponibilidade de fósforo para as plantas. Assim, seu uso reduz a

dependência de fertilizantes sintéticos, o que é especialmente atrativo para os agricultores preocupados em minimizar os custos de produção sem comprometer os rendimentos.

Além disso, a abordagem agroecológica apresenta consideráveis benefícios ambientais. Ao reduzir o uso de fertilizantes sintéticos, contribui para a preservação dos recursos naturais e dos ecossistemas aquáticos, limitando a contaminação dos cursos d'água pelo escoamento de nutrientes. Ao utilizar essas bactérias benéficas, os agricultores também reduzem o consumo de insumos externos, otimizando a eficiência energética e promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis e ambientalmente responsáveis.

3- OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

Avaliar o desempenho agronômico dos bioinsumos à base de *Pseudomonas fluorescens* e *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento da cana-de-açúcar.

3.2. Objetivos Específicos

- Avaliar os atributos microbiológicos do solo: biomassa microbiana, respiração basal, metabolitos do solo e quociente microbiano;
- Avaliar os atributos agronômicos da planta cana-de-açúcar em desenvolvimento inicial;
- Avaliar a germinação das sementes de soja e milho
- Mensurar a ação biocontroladora de fungos fitopatogênicos (*Sclerotinia sclerotiorum*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani* e *Macrophomina phaseolina*).
- Medir a atividade microbiana do solo;

4- REVISÃO DA LITERATURA

4.1. A Cultura da Cana-de-Açúcar

A cana-de-açúcar é uma cultura emblemática do Brasil, cultivada em mais de 100 países em diferentes continentes (América, África, Ásia e Oceania). Apesar do número de países

produtores, apenas 10 países concentram 80% da produção mundial (FAO 2019). A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma planta monocotiledônea pertencente ao gênero *Saccharum* L. e à família Poaceae (Singh *et al.*, 2018). Originária da Ásia, suas principais características correspondem à forma da inflorescência (espiga), o crescimento do caule em colmos e folhas com lâminas de sílica. Desenvolve-se em forma de touceiras e possui raízes fasciculadas (Silva; Silva, 2012). Existem seis espécies de *Saccharum*, incluindo *S. spontaneum* e *S. robustum*, que são encontradas na natureza, enquanto *S. officinarum*, *S. barberi*, *S. sinense* e *S. edule* foram cultivadas no passado. As variedades comerciais atualmente cultivadas são híbridos complexos resultantes de duas ou mais espécies (Julien; Irvine; Benda 1989). O Brasil se destaca como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com produção estimada na safra 2024/25 de 678,67 milhões de toneladas, sendo 4,8% inferior a safra passada (CONAB, 2024a), o que corresponde a cerca de 39% da produção mundial dessa cultura, seguido pela Índia (19%), China (6%) e Tailândia (6%) (Silalertruksa; Gheewala, 2018).

A produção brasileira de cana-de-açúcar durante a safra 2023/2024 alcançou 713,2 milhões de toneladas, estabelecendo novo recorde na série histórica acompanhada pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2024b). Esse volume representa um aumento de 168% em relação ao ciclo anterior. Além da boa produção do país, importantes produtores como Índia e Paquistão registraram menores exportações, beneficiando os produtores brasileiros (CONAB, 2024b). Os principais destinos das exportações brasileiras de açúcar são China, Índia e Arábia Saudita. A China é a principal destinatária do açúcar exportado pelo Brasil durante a safra 2023/24, com compras que somam 12 bilhões de dólares entre abril e outubro, seguida pela Índia com 809 milhões de dólares e a Arábia Saudita com 564 milhões de dólares. Juntos, esses países representam mais de 27% do volume total exportado pelo Brasil (CONAB, 2024b).

4.2. Biofertilizantes

Os biofertilizantes são produtos naturais, não sintetizados quimicamente, biodegradáveis e que contêm microrganismos vivos, como as rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPR), capazes de solubilizar fosfato e fixar nitrogênio atmosférico (Paula; Demétrio, Matsumoto, 2021). Esses microrganismos promovem o crescimento das plantas aumentando o aporte de nutrientes, aumento da biomassa e área radicular. Alguns biofertilizantes produzem fitohormônios como o ácido indolacético (AIA), que estimulam o

crescimento vegetal, além de substâncias que inibem a proliferação de agentes patogênicos (Noumavo *et al.*, 2015). Esses biofertilizantes estão ganhando importância como soluções ecologicamente viáveis, melhorando o rendimento das culturas e a fertilidade dos solos por meio de diversos mecanismos.

As PGPRs oferecem numerosos benefícios para o meio ambiente e estimulam o desenvolvimento das plantas por meio de interações simbióticas. Elas também são consideradas soluções promissoras para o biocontrole (Azevedo; Silva; Matsumoto, 2023; Vieira Junior *et al.*, 2013). Algumas PGPRs podem estimular o crescimento das plantas mesmo na ausência de agentes patogênicos. Entre os mecanismos diretos, encontra-se a melhoria da nutrição das plantas, fornecendo absorção de elementos como P, K, Zn, Fe e outros minerais essenciais. Elas também favorecem a regulação dos fitohormônios envolvidos no crescimento das plantas (Gouda, 2018). Indiretamente, produzem agentes biológicos que protegem as plantas contra patógenos, criando um ambiente saudável (Dutta *et al.*, 2023; Santos *et al.*, 2020).

Os principais gêneros de PGPR utilizados em biofertilizantes incluem *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Streptomyces* e *Rhizobia* (Merara; Hammada; Hassani, 2022; Khalifa; Bouchair, 2022). Essas bactérias possuem propriedades específicas que contribuem para o manejo sustentável dos solos e para a melhoria do crescimento das plantas. Por exemplo, *Azospirillum* e *Azotobacter* facilitam a fixação biológica do nitrogênio, aumentando a disponibilidade desse nutriente para as plantas. Por outro lado, *Bacillus* e *Pseudomonas* produzem antibióticos naturais e compostos antifúngicos que participam do biocontrole de patógenos (Matsumoto; Sena; Azevedo, 2023).

Em resumo, os biofertilizantes e as PGPRs são amplamente reconhecidos por melhorar a produtividade agrícola e a qualidade dos solos, ao mesmo tempo que reduzem os impactos ambientais das práticas agrícolas convencionais. A aplicação de biofertilizantes no sulco de plantio ou por pulverização visa favorecer a rizosfera das plantas, permitindo colonização rápida por bactérias fixadoras de nitrogênio, como *Rhizobium*, facilitando melhor nodulação após a germinação das sementes e conseqüentemente aumentando a produtividade das culturas (Bucher; Reis, 2008).

4.3. Qualidade do solo

A qualidade do solo é um conceito fundamental para a agricultura sustentável e a saúde dos ecossistemas terrestres. Ela se define pela capacidade do solo de funcionar como um sistema vivo, capaz de sustentar a produtividade das culturas, manter a qualidade da água e do ar, e promover a biodiversidade, ao mesmo tempo em que resiste às perturbações e se regenera. A qualidade do solo é influenciada por interações complexas entre suas propriedades físicas, químicas e biológicas, bem como pelas práticas de manejo aplicadas (Sandini *et al.*, 2024).

As propriedades físicas do solo, como textura, estrutura, densidade aparente e porosidade, são importantes para determinar capacidade de reter água, permitir a infiltração e favorecer o crescimento das raízes. Por exemplo, um solo com textura argilosa retém adequadamente a água, mas pode limitar a aeração, enquanto um solo arenoso drena rapidamente a água, mas pode ser suscetível à secagem rápida (Hillel, 2004). A estrutura do solo, que corresponde ao arranjo das partículas em agregados, favorece na manutenção da qualidade, pois agregados bem formados aumentam a porosidade, favorece a aeração e o movimento da água no solo, oferecendo maior resistência à erosão (Bronick; Lal, 2005).

No aspecto químico, características como pH, matéria orgânica, níveis de nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) e a capacidade de troca catiônica (CTC) são determinantes para a qualidade do solo. Um pH equilibrado é essencial para a disponibilidade de nutrientes e atividade microbiana; a maioria das plantas e microrganismos prefere um solo ligeiramente ácido a neutro (pH 6-7), onde os nutrientes estão mais disponíveis (Sparks, 2021). A matéria orgânica do solo, proveniente principalmente da decomposição de plantas e animais, melhora a estrutura do solo, aumentando sua capacidade de retenção de água e na provisão de nutrientes essenciais para as plantas. Essa matéria orgânica se transforma em húmus, uma substância estável e necessária para manter a fertilidade de longo prazo do solo (Lehmann; Kleber, 2015).

Os aspectos biológicos do solo são frequentemente considerados os indicadores mais dinâmicos de sua qualidade. A diversidade e a atividade dos microrganismos, como bactérias, fungos, nematoides e outros organismos, são essenciais para o ciclo de nutrientes e a decomposição da matéria orgânica. Esses microrganismos regulam processos ecológicos fundamentais, facilitando a liberação de nutrientes para as plantas e contribuindo para a formação e estabilização dos agregados do solo (Alves *et al.*, 2021; Fierer, 2017).

Indicadores biológicos, como a respiração microbiana, o carbono da biomassa microbiana e as atividades enzimáticas, são utilizados para avaliar a atividade biológica e a saúde do solo. Alta atividade microbiana é frequentemente sinônimo de decomposição eficiente

da matéria orgânica, o que é essencial para a fertilidade e produtividade do solo (Liu *et al.*, 2020; Matsumoto; Marques, 2015).

As práticas de manejo das terras determinam influência significativa na qualidade do solo. O cultivo intensivo, o uso excessivo de fertilizantes químicos e a monocultura podem degradar a qualidade do solo ao reduzir sua matéria orgânica, promover acidificação e diminuir a biodiversidade microbiana. Isso aumenta o risco de erosão, compactação e perda de nutrientes, comprometendo a sustentabilidade a longo prazo dos sistemas agrícolas (Montgomery, 2018). Por outro lado, práticas agrícolas sustentáveis, como a agricultura regenerativa, uso de plantas de cobertura e rotações de culturas, são benéficas para a qualidade do solo, pois favorecem o acúmulo de matéria orgânica, reduzem a erosão e aumentam a diversidade microbiana, o que fortalece a resiliência dos solos frente às perturbações ambientais e às mudanças climáticas (Pittelkow *et al.*, 2015).

4.4. Microrganismos do solo

Os microrganismos do solo são componentes essenciais dos ecossistemas terrestres, desempenhando um papel importante na saúde e produtividade dos solos. As comunidades microbianas, frequentemente chamadas de microbiota do solo, englobam grande diversidade de organismos microscópicos, como bactérias, fungos, vírus e arqueobactérias, que interagem de maneira complexa com o ambiente e entre si. Eles estão no centro dos processos biológicos do solo, influenciando diretamente o ciclo de nutrientes, a fertilidade do solo e o crescimento das plantas.

A presença e a atividade da microbiota do solo são fundamentais para decomposição da matéria orgânica, estabilização da estrutura do solo e supressão de agentes patogênicos. Ao transformar os resíduos orgânicos em nutrientes, esses microrganismos tornam esses nutrientes acessíveis às plantas, apoiando seu desenvolvimento e contribuindo para uma produção agrícola sustentável (Jansson; Hofmockel, 2018). A diversidade e o equilíbrio das comunidades microbianas também são indicadores importantes da saúde do solo, pois uma microbiota rica e variada geralmente está associada à maior resiliência às perturbações ambientais e às doenças (Berg *et al.*, 2016).

As interações complexas da microbiota do solo influenciam sua estrutura e função, determinando sua capacidade de se adaptar às condições ambientais em mudança. Pesquisas

recentes mostram que algumas espécies microbianas desempenham um papel central na manutenção do equilíbrio dessas comunidades, atuando como espécies-chave que modulam as interações ecológicas e os processos do solo (Banerjee; Schlaeppi; Van Der Heijden, 2018).

4.4.1. Grupos funcionais

4.4.1.1. Bactérias do solo

As bactérias constituem um dos grupos mais prolíficos e diversificados no solo. Elas são responsáveis por muitos processos biológicos essenciais, como a fixação de nitrogênio, que permite converter o nitrogênio atmosférico em formas utilizáveis pelas plantas, como amônio e nitratos. Os gêneros *Azospirillum*, *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* são reconhecidos por seu papel na fixação simbiótica e não simbiótica de nitrogênio, especialmente em sistemas agrícolas. Essas bactérias também promovem o crescimento das plantas pela produção de fitohormônios, como auxinas, giberelinas e citocininas, que estimulam o alongamento das raízes e melhoram a absorção de nutrientes (Hayat *et al.*, 2010).

Além de seu papel na nutrição das plantas, algumas bactérias têm funções de biocontrole ao produzirem substâncias antimicrobianas que inibem o crescimento de patógenos (Vasques; Nogueira; Hungria, 2024). Por exemplo, espécies do gênero *Pseudomonas* produzem compostos como sideróforos, antibióticos e enzimas líticas, que lhes permitem competir de maneira eficaz contra patógenos presentes no solo (Glick *et al.*, 2007). Esses mecanismos fortalecem a resistência das plantas a doenças e melhoram a saúde geral do solo.

4.4.1.2. Fungos do solo

Fungos do solo são os principais decompositores da matéria orgânica, transformando materiais complexos, como a celulose, lignina e quitina, em formas mais simples, acessíveis a outros organismos. Os fungos saprófitas, como os dos gêneros *Penicillium* e *Aspergillus*, desempenham papel essencial na liberação de nutrientes minerais a partir de matéria orgânica morta, enriquecendo o solo com nutrientes disponíveis para as plantas (Treseder; Lennon, 2015).

Os fungos micorrízicos arbusculares (AMF), como os do gênero *Glomus*, formam simbioses com as raízes das plantas, aumentando significativamente a área radicular para absorção de água e nutrientes, especialmente o fósforo. Essa relação simbiótica melhora a tolerância das plantas a condições de estresse, como seca e solos pobres em nutrientes, e contribui para maior estabilidade dos ecossistemas (Smith; Read, 2010).

4.4.1.3. *Azospirillum brasilense*

Azospirillum brasilense é uma bactéria diazotrófica capaz de fixar nitrogênio atmosférico, o que a torna particularmente benéfica para culturas de cereais, como milho, trigo e arroz. Converte o nitrogênio atmosférico em amônio, uma forma de nitrogênio assimilável pelas plantas, e produz fitohormônios como auxinas, citocininas e giberelinas que estimulam o crescimento das raízes e aumentam a absorção de nutrientes (Bashan; Bashan 2010).

Azospirillum brasilense coloniza as raízes das plantas e forma biofilmes, facilitando a troca de nutrientes entre a bactéria e a planta. Essa interação pode melhorar a tolerância das plantas ao estresse abiótico, como a seca e salinidade. Segundo Cassán *et al.* (2020), o processo de colonização por bactérias e a formação de biofilmes contribuem para favorecer o crescimento das plantas, especialmente gramíneas. Na agricultura sustentável, *A. brasilense* é utilizado como biofertilizante, com formulações comerciais aplicadas no revestimento das sementes ou misturadas ao solo, reduzindo assim a dependência de fertilizantes químicos e diminuindo os custos de produção, além de mitigar o impacto ambiental (Hungria *et al.* 2010).

4.4.1.4. *Pseudomonas fluorescens*

Pseudomonas fluorescens é uma bactéria não patogênica conhecida por suas propriedades benéficas para as plantas, no biocontrole de doenças. Produzem antibióticos naturais, enzimas que degradam as paredes celulares dos patógenos e compostos voláteis que inibem o crescimento de agentes patogênicos, tornando-a eficaz contra patógenos como *Pythium*, *Fusarium* e *Rhizoctonia* (O'Sullivan; O'Gara, 1992).

Além de suas capacidades de biocontrole, *Pseudomonas fluorescens* pode favorecer o crescimento das plantas por meio da produção de fitohormônios, como o ácido indolacético, e pela solubilização de fosfato, melhorando a absorção de nutrientes (Glick, 2012). A bactéria

também reforça a tolerância das plantas ao estresse abiótico, induzindo respostas de defesa sistêmicas e modificando sua fisiologia, o que pode aumentar a resiliência das plantas a condições adversas (Beneduzi; Ambrosini; Passaglia, 2012). Utilizada como agente de biocontrole e biofertilizante, *Pseudomonas fluorescens* é aplicada em suspensão para revestir sementes ou pulverizar culturas, contribuindo para a redução do uso de pesticidas químicos e oferecendo uma alternativa mais sustentável e ambientalmente amigável (Berg, 2009).

Esses grupos funcionais de microrganismos interagem de maneira complexa e sinérgica para manter a saúde dos solos, promover o crescimento das plantas e apoiar a produtividade agrícola. A gestão sustentável dos solos, baseada na promoção e preservação dessa diversidade microbiana, é crucial para melhorar a resiliência dos ecossistemas agrícolas frente às mudanças climáticas e às práticas intensivas de uso do solo (Matsumoto *et al.*, 2005).

O objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia do bioinsumo a base de *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* produzidos em biorreatores em fermentação isolada e combinadas, no desenvolvimento da Cana-de-açúcar.

5- MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Laboratório de Microbiologia do Solo da Universidade Estadual do Norte do Paraná, no Campus Luiz Meneghel. Os bioinsumos testados foram *Pseudomonas fluorescens*, *Azospirillum brasilense* Abv5 e Abv6 com produção em biorreatores isolados e *Azospirillum* + *Pseudomonas* com produção em mesmo biorreator com 0 dias e 180 dias de armazenamento.

5.1. Teste de Germinação

Pelo número insuficiente de gemas de cana-de-açúcar, os testes de germinação foram realizados para as cultivares NEOGEN 630 (soja) e MORGAN 593 (milho). Os tratamentos aplicados incluíram *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Azo* + *Pseudo* (0 dias), *Azo* + *Pseudo* (180 dias), além de um grupo controle que recebeu somente água. Conforme Brasil (2009) utilizando-se quatro repetições de 50 sementes de cada lote, distribuídos em rolos de papel filtro, previamente umedecidos com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel seco. Inoculação de bactérias *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens*, conforme tratamentos descritos acima mais testemunha (água). Foram embalados em sacos plásticos

transparentes e, mantidos em câmara de germinação sob temperatura alternada de 20-30 °C. As avaliações foram realizadas no 5º e 8º dia após a instalação, contando-se o número de plântulas normais, avaliadas conforme as regras para análise de sementes 'RAS'. Primeira leitura do teste de germinação 'PLG': contabilizou-se o número de plântulas normais obtidas no 5º dia após a instalação do teste de germinação

5.2. Teste de biocontrole

A atividade antifúngica dos bioinsumos foram avaliadas pela técnica de cultura pareada em placa de Petri contra *Fusarium solani*, *Macrophomina phaseolina* e *Sclerotinia sclerotiorum* em meio de cultura BDA. Um disco de 8 mm de diâmetro contendo o micélio do fungo fitopatogênico foi colocado no centro da placa e as bactérias foram inoculadas em quatro pontos equidistantes. O ensaio consistiu em medir diariamente o crescimento micelial do fungo, para obter o Índice de Velocidade do Crescimento Micelial (IVCM). As placas foram mantidas em estufa de demanda biológica de oxigênio (BOD) a 25 °C até que o micélio fúngico do tratamento Testemunha atingisse crescimento radial em toda placa.

Índice de velocidade de crescimento micelial (IVCM)

O crescimento diário do micélio foi medido com auxílio de régua milimetrada, e os valores foram utilizados na fórmula descrita por Oliveira (1991):

$$IVCM (mm \text{ dia}^{-1}) = \sum ((D-Da)/N)$$

sendo:

IVCM = índice de velocidade de crescimento micelial (mm dia⁻¹); D = diâmetro médio atual da colônia (mm);

Da = diâmetro médio da colônia do dia anterior (mm); N = número de dias após a inoculação

5.3. Avaliação do desenvolvimento da cana-de-açúcar em vasos

O ensaio foi conduzido em Câmara de Crescimento de Plantas com controle de temperatura de 28 °C e umidade de 60%. Para o preparo dos vasos, o LATOSSOLO VERMELHO eutroférico (EMBRAPA, 2018) foi coletado e misturado com areia em uma proporção de 3 para 1. Foi realizada análise físico-química do solo para avaliar as necessidades

de correção, e a umidade do solo foi ajustada a 60% da capacidade de campo. O solo apresentou as seguintes características iniciais, matéria orgânica (MO)= 30,5 g kg⁻¹, pH = 5,0, Fósforo (P) = 6,5 mg dm⁻³; Potássio (K) = 0,40 mol_c dm⁻³; Cálcio (Ca) 7,0 mol_c dm⁻³; Magnésio (Mg) = 0,7 mol_c dm⁻³; Alumínio (Al) = 1,7 mol_c dm⁻³; H+Al = 5,5 mol_c dm⁻³; CTC = 13,6 mol_c dm⁻³; Saturação de bases (V%) = 59,5%. Os testes foram conduzidos em vasos contendo 9 kg de solo. Esta foi submetida a cinco tratamentos (T1 = Testemunha; T2 = *Azospirillum brasilense*, T3 = *Pseudomonas fluorescens*; T4 = *Azospirillum brasilense* + *Pseudomonas fluorescens* 0 dias; T5 = *Azospirillum brasilense* + *Pseudomonas fluorescens* 180 dias), com cinco repetições.

Cada vaso recebeu apenas 1 gema pré-germinada, totalizando 25 vasos. Todos os tratamentos receberam 5 mL do bioinsumo com auxílio de uma micropipeta, conforme o tratamento, na testemunha foi adicionado água destilada.

Os ensaios foram conduzidos em condições controladas (Câmara Climática de Crescimento de Plantas – Tipo Grow) com controle de temperatura e umidade (Figura 1). Procedeu-se monitoramento regular dos solos e plantas, a fim de compreender melhor as interações entre os bioinsumos e o microbioma do solo. Cada vaso recebeu diariamente 300 mL de água para garantir condições ideais para o crescimento das plantas.



Figura 1. Vasos de cana-de-açúcar na câmara de crescimento de plantas

5.3. Avaliação Microbiológica do Solo

5.3.1- Carbono de biomassa microbiana

O carbono de biomassa microbiana (CBM) foi avaliado utilizando-se o método proposto por Vance *et al.* (1987), por fumigação-extração das amostras. As amostras de solo de cada zona foram separadas e pesadas a 20 g, com e sem fumigação, permanecendo no escuro a uma temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 24 horas. Para a extração do carbono microbiano, 50 mL de sulfato de potássio (K_2SO_4) a 0,5 M foram adicionados às amostras, que foram agitadas por 30 minutos a 220 rpm. Em seguida, as amostras foram filtradas, 4 mL foram retirados do sobrenadante e adicionou-se 1 mL de dicromato de potássio 0,066 M ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), 5 mL de ácido sulfúrico P.A. (H_2SO_4) e 5 mL de ácido ortofosfórico (H_3PO_4) a 85%. Após o resfriamento, 35 mL de água deionizada e 1% de difenilamina (C_6H_5)₂NH foram adicionados às amostras. Sulfato de amônio ferroso [$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$] a 0,033 M foi utilizado para titulação, sendo o ponto de viragem a mudança de roxo para verde. Para a obtenção do carbono da biomassa microbiana de cada amostra, foi realizada a subtração entre os teores de carbono do solo fumigado e não fumigado.

5.3.2. Respiração do solo basal

A respiração basal do solo (RBS) foi determinada conforme proposto por Silva; Azevedo; de-Polli (2007). Para isso, 50 g de cada amostra de solo foram adicionados a frascos de vidro com tampas de pressão, e 10 mL da solução receptora de NaOH 1 M foram separados e transferidos com as amostras de solo para frascos de vidro de 2 L hermeticamente fechados e armazenados por sete dias no escuro ($25 \pm 2^\circ\text{C}$). Após 7 dias, 2 mL de cloreto de bário a 10% (BaCl_2) e 2 gotas de fenolftaleína a 1% foram adicionados à solução de NaOH. A titulação foi realizada com ácido clorídrico (HCl) 0,5 M. A mudança de cor de rosa para incolor indicou o ponto de viragem.

5.3.3. Quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) e quociente microbiano ($q\text{MIC}$)

O quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) foi obtido pela relação entre a respiração basal do solo e o carbono da biomassa microbiana, enquanto o quociente microbiano ($q\text{MIC}$) foi obtido pela relação entre o carbono da biomassa microbiana (CBM) e o carbono orgânico total (COT).

5.4. Análise de parâmetros agronômicos

As plantas foram avaliadas aos 60 dias quanto aos parâmetros de altura (cm), massa fresca (g) e massa seca (g) da parte aérea, comprimento (cm), volume (m³/v), massa fresca (g) e massa seca radicular (g), conforme EMBRAPA (2009). A parte aérea das plantas foi cortada na altura do colar e, por meio de fita métrica, foi medida do topo do caule maior até a copa, obtendo-se assim a altura da planta. Para a raiz, foi utilizado o mesmo procedimento, medindo-se desde a base da planta até a ponta.

Para obtenção da massa fresca da parte aérea (MFPA), as plantas foram pesadas em balança semi-analítica, colocadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada de ar a 60°C, pesadas diariamente até atingir peso constante para obtenção da massa seca da parte aérea (MSPA). O mesmo procedimento foi realizado para obtenção da massa fresca (MFR) e massa seca (MSR) da raiz (EMBRAPA, 2009). Para determinar o volume da raiz, foi utilizado um tubo de ensaio graduado com água, submergindo a raiz e observando o deslocamento da coluna d'água.

6- ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística foi realizada utilizando o software Rstudio (R Core Team, 2023). Foram avaliados os pressupostos da análise de variância (ANOVA): normalidade e homocedasticidade das variáveis. Após confirmá-los, foram realizados ANOVA e teste post hoc de Tukey (5% de probabilidade).

7- RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1- Teste de Germinação

Na avaliação de germinação das sementes de soja, notou-se que os tratamentos com bioinsumo *A.brasilense* e *P. fluorescens* isolados apresentou um leve aumento, no entanto, nos tratamentos onde os microrganismos foram produzidos em fermentação conjunto, houve diminuição da germinação, ou seja, o número de sementes com germinação anormais foi maior (Tabela 1) (Figura 2). Tal fato, pode estar relacionada produção de metabólitos secundários

produzidos por *Pseudomonas fluorescens* no momento da multiplicação conjunta no mesmo biorreator.

Tabela 1. Porcentagem de germinação das sementes de soja após 8 dias.

Tratamentos	Taxa de germinação (%)				
	Normais	Anormais	Fungo	Deterioradas	Mortas
Test.	52,0 ^{ab}	43,5 ^{abc}	2,5	2,0	0,0
Azo	60,0 ^{ab}	38,5 ^{bc}	0,0	1,0	0,5
Pseudo	67,0 ^a	31,0 ^c	0,0	1,5	0,5
Azo + Pseudo 0 D	49,5 ^b	49,5 ^{ab}	0,0	1,0	0,0
Azo + Pseudo 180 D	31,5 ^c	61,0 ^a	3,0	3,0	1,5
C.V.(%)	15,08	17,98	247,30	165,68	212,92

Dados: Testemunha [Test]; Azo [*Azospirillum brasilenses*]; Pseudo [*Pseudomonas fluorescens*]; Azo+Pseudo 0 D [*Azospirillum brasilense* + *Pseudomonas fluorescens* fermentação conjunta com 0 dias de armazenamento]; Azo+Pseudo 180 D [*Azospirillum brasilense* + *Pseudomonas fluorescens* fermentação conjunta com 180 dias de armazenamento]



Figura 2. Teste de germinação da semente de soja após 8 dias

No teste de germinação do milho, os tratamentos T3 e T4 não apresentou diferença significativa à testemunha, no entanto, os tratamentos T2 e T5 apresentou menor taxa de germinação, com destaque do T5, que apresentou aumento das sementes anormais e mortas (Tabela 2) (Figura 3).

Tabela 2. Porcentagem de germinação das sementes de milho após 7 dias

Tratamentos	Taxa de germinação (%)				
	Normais	Anormais	Fungo	Deterioradas	Mortas
Test.	85,0 ^a	13,5 ^{ab}	0,0	0,5	1,0
Azo	75,5 ^{ab}	23,5 ^{ab}	0,0	0,0	1,0
Pseudo	85,0 ^a	12,0 ^b	0,5	0,0	2,5
Azo + Pseudo 0 D	86,0 ^a	11,0 ^b	2,0	0,0	1,0
Azo + Pseudo 180 D	63,0 ^b	34,5 ^a	0,0	0,0	2,5
C.V. (%)	12,65	51,21	225,09	447,21	122,90

Dados: Testemunha [Test]; Azo [*Azospirillum brasilenses*]; Pseudo [*Pseudomonas fluorescens*]; Azo+Pseudo 0 D [*Azospirillum brasilense* + *Pseudomonas fluorescens* fermentação conjunta com 0 dias de armazenamento]; Azo+Pseudo 180 D [*Azospirillum brasilense* + *Pseudomonas fluorescens* fermentação conjunta com 180 dias de armazenamento]



Figura 3. Teste de germinação da semente de milho após 7 dias

7.2- Teste de biocontrole

O controle sobre os fungos fitopatogênicos *Sclerotinia sclerotiorum* e *Macrophomina phaseolina*, não foi observado em nenhum dos tratamentos testados. No entanto, para o fungo *Fusarium solani* a inibição foi discreta, atingindo até 30% no tratamento de somente *Azospirillum* isoladamente e 13% somente *Pseudomonas fluorescens* (Tabela 3) (Figura 4, 5, 6). Tal fato, deve ser melhor estudado, pois sabe-se que *Pseudomonas*, apresenta como característica colonizar a rizosfera de forma eficiente, promovendo o desenvolvimento e ocupando sítios de infecção (competindo com outros microrganismos e ocupando portas de entradas que seriam utilizadas por patógenos), auxiliando no controle biológico (Paula; Demétrio; Matsumoto, 2021).

Muitas *Pseudomonas* spp. controlam patógenos de plantas e desempenham um papel eficaz no controle de doenças por meio de mecanismos diretos e indiretos. Tais como, disponibilização de nutriente (nitrogênio, fósforo e potássio), produção de fitohormônios, enzimas líticas, compostos voláteis e metabólitos secundários. Estes metabólitos induzem à planta resistência sistêmicas (Mehmood *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2022).

Azospirillum spp. são bactérias reconhecidas como PGPRs devido às suas atividades como produção de hormônios, solubilização de fosfato, biorremediação de xenobióticos, tolerância ao estresse abióticos, produção de sideróforos e atividade de biocontrole de fitopatógenos. No entanto, a sua principal utilização é como biofertilizante que realiza a fixação biológica de nitrogênio (Pedraza *et al.*, 2020).

O fato de as cepas avaliadas neste trabalho não apresentarem ação biocontroladora, pode estar relacionada a ausência de genes. Assim sendo, as características de biocontrole pode não estar presente em todas as cepas bacterianas.

Tabela 3. Porcentagem de inibição do crescimento de *Sclerotinia sclerotiorum*, *Fusarium solani* e *Macrophomina phaseolina*

Tratamento	<i>S. sclerotiorum</i>		<i>F. solani</i>		<i>M. phaseolina</i>	
	IVCM	% INIB	IVCM	% INIB	IVCM	% INIB
Test.	1,28		1,04		1,92	
Azo	1,26	1,56	0,72	30,82	1,92	0
Pseudo	1,26	1,56	0,90	13,70	1,92	0
Azo + Pseudo 0 D	1,28	0	1,04	0	1,92	0
Azo + Pseudo 180 D	1,26	1,56	0,86	17,12	1,92	0

Dados: [Test] = Testemunha; [Azo] = *Azospirillum brasilenses*; [Pseudo] = *Pseudomonas fluorescens*; [Azo+Pseudo 0 D] = *Azospirillum brasilense* + *Pseudomonas fluorescens* fermentação conjunta com 0 dias de armazenamento; [Azo+Pseudo 180 D] = *Azospirillum brasilense* + *Pseudomonas fluorescens* fermentação conjunta com 180 dias de armazenamento; [IVCM] = Índice de Velocidade de Crescimento Micelial; [%INIB] = Porcentagem de inibição.

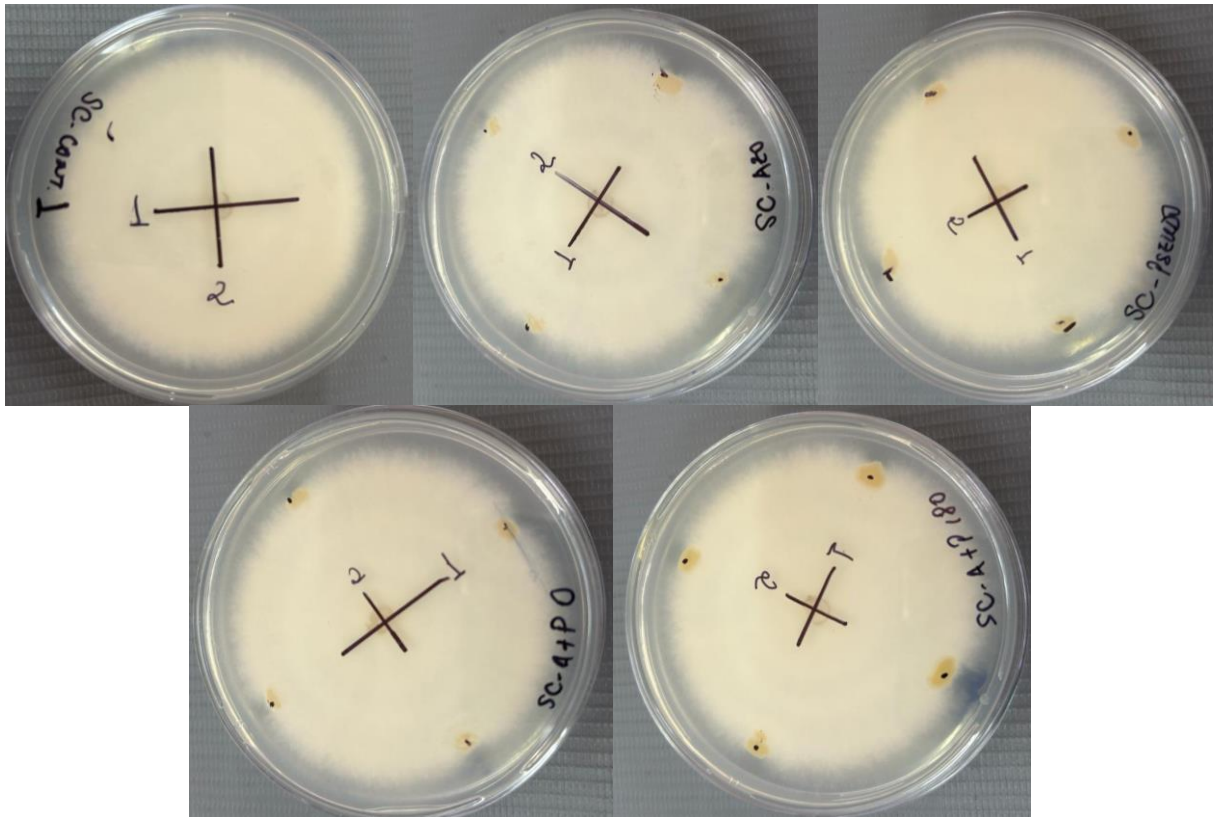


Figura 4. Plaqueamento pareado – confronto dos bioinsumos com *Sclerotinia sclerotiorum*

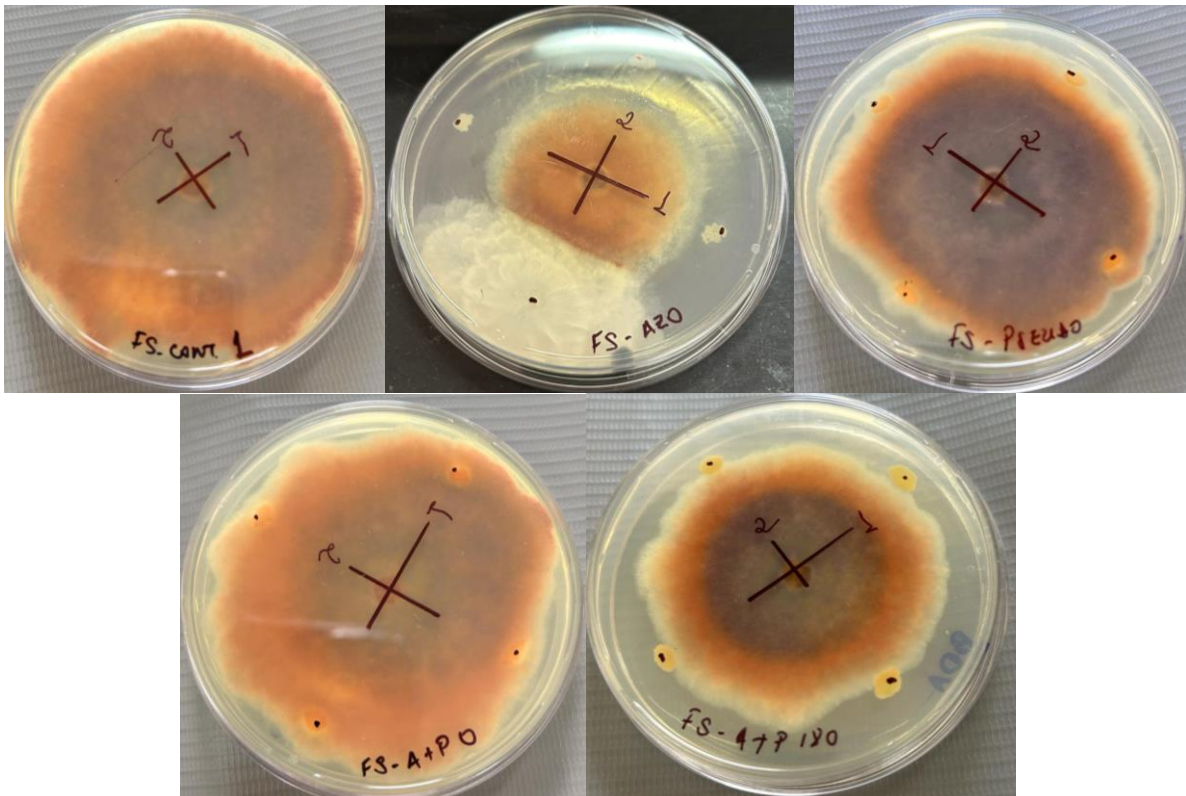


Figura 5. Plaqueamento pareado – confronto dos bioinsumos com *Fusarium solani*

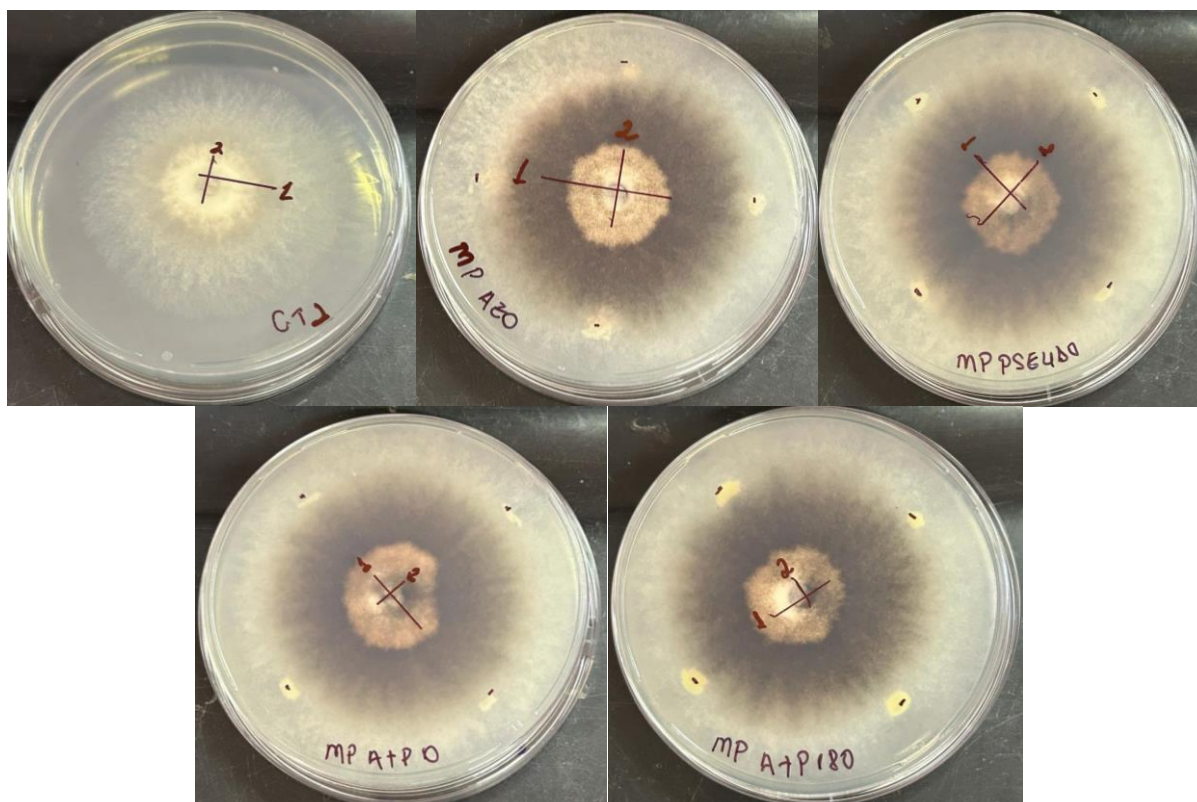


Figura 6. Plaqueamento pareado – confronto dos bioinsumos com *Macrophomina phaseolina*

7.3- Análise Microbiológica do Solo

A análise microbiológica dos solos revela informações importantes sobre a saúde dos solos, pois os microrganismos desempenham um papel central na decomposição da matéria orgânica, no ciclo dos nutrientes e na supressão de patógenos.

Na análise microbiológica do solo, todos tratamentos com aplicação de microrganismos apresentaram melhores resultados em todos os atributos biológicos avaliados, sendo que a biomassa microbiana (CBM) demonstrou aumento significativo quando comparado com a testemunha.

O quociente microbiano ($qMIC$) apresentou melhora considerável com uso de bioinsumos, com destaque no tratamento T3, que demonstrou índice considerado ideal (1,5 a 1,8%) para decomposição e mineralização da matéria orgânica pelos microrganismos, ou seja, não houve perda ou acúmulo de matéria orgânica no solo (Baretta *et al.*, 2005).

O uso combinado de microrganismos demonstra quociente microbiano ($qMIC$) mais alto, isso demonstra carbono imobilizado na forma orgânica (Tabela 4).

A razão entre a RBS e o CBMS gera o quociente metabólico (qCO_2), capaz de apontar tendências de estresses causados por distúrbios, sendo tais níveis representados por valores de eficiência em desempenhar funções metabólicas e utilizado como bioindicador, quando mais longe de 0 (zero) isso representa um sinal de estresse no solo (Matsumoto; Marques, 2015). Assim, nota-se que o uso de biofertilizante ou bioinsumos de origem microbiano diminui o estado de estresse no solo. O tratamento Testemunha teve maior índice com 1,10 (Tabela 4).

Tabela 4 – Atributos microbiológicos do solo

TRAT	CBM	$qMIC$	RBS	qCO_2
	mg C kg ⁻¹	(%)	mg C-CO ₂ Kg ⁻¹ h ⁻¹	RBS C_BMS ⁻¹
Test	149,61 ^c	0,76 ^c	0,16 ^b	1,10 ^a
AZO	270,28 ^b	1,07 ^c	0,18 ^b	0,67 ^{bc}
PSEUDO	360,70 ^a	1,73 ^b	0,15 ^b	0,42 ^c
A+P 0 D	356,79 ^a	2,18 ^a	0,16 ^b	0,45 ^c
A+P 180 D	367,96 ^a	2,39 ^a	0,28 ^a	0,78 ^{ab}
c.v (%)	10,83	14,76	14,48	24,95

Dados: TEST (Testemunha); AZO (*Azospirillum Brasilense*); PSEUDO (*Pseudomonas fluorescens*); A+P 0 D (*Azospirillum Brasilense* + *Pseudomonas fluorescens* 0 dias de armazenamento); A+P 180 D (*Azospirillum Brasilense* + *Pseudomonas fluorescens* 180 dias de armazenamento); Carbono de Biomassa Microbiano (CBM); Quociente Microbiano ($qMIC$); Respiração Basal do Solo (RBS); Quociente Metabólico do Solo (qCO_2). Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade.

O carbono microbiano (CBM) é um indicador da biomassa microbiana presente no solo, refletindo a quantidade de microrganismos ativos, que sugerem uma intensa atividade microbiana, que é geralmente um sinal de boa saúde do solo. Uma biomassa microbiana elevada está frequentemente associada a uma decomposição mais eficiente da matéria orgânica e à rápida liberação dos nutrientes essenciais ao crescimento das plantas (Anderson; Domsch, 2010; Joergensen; Emmerling 2006).

A respiração basal do solo (RBS) é um indicador direto da atividade metabólica dos microrganismos, expressa em produção de CO₂ (Vieira, 2011). Os valores de RBS observados foram relativamente baixos, o que pode indicar uma atividade metabólica moderada e uma decomposição equilibrada da matéria orgânica. Uma respiração basal excessiva poderia indicar uma perturbação recente ou uma decomposição rápida da matéria orgânica, frequentemente associada a uma perturbação do solo ou a um alto teor de matéria orgânica facilmente decomponível (Totola; Chaer 2002).

O quociente microbiano (q_{MIC}), representa a relação entre o carbono microbiano e o carbono orgânico total. Ele reflete a eficiência da comunidade microbiana em assimilar o carbono do solo. Os solos com q_{MIC} entre 1,5 a 1,8 apresenta maior eficiência de assimilação de carbono, o que poderia sugerir um solo mais saudável, com uma comunidade microbiana ativa, sendo que índice abaixo denota pouca atividade microbiana por excesso ou falta de microrganismos no solo para decomposição da matéria orgânica, ou seja, o Carbono presente no solo é perdido, enquanto que índices superiores a 1,8% o Carbono do solo está imobilizado na forma orgânico, no entanto, na morte microbiana o carbono é prontamente disponível (Baretta *et al.*, 2005).

O quociente metabólico (q_{CO_2}) mede a eficiência dos microrganismos em utilizar os recursos carbonados disponíveis. Os valores relativamente baixos de q_{CO_2} observados sugerem uma utilização eficiente dos recursos disponíveis, indicando uma estabilidade do solo e uma baixa perturbação. Um q_{CO_2} baixo está frequentemente associado a uma comunidade microbiana estável e eficiente na utilização de recursos, um sinal de solo saudável (Matsumoto; Marques, 2015).

7.4- Avaliação dos parâmetros agrônômicos da Cana-de-açúcar

A massa fresca da raiz é essencial para avaliar o desenvolvimento subterrâneo da planta. O tratamento T3 e T4 mostram uma massa fresca de raiz mais elevada, o que indica um melhor desenvolvimento radicular em comparação com os outros tratamentos. O tratamento T3 apresentou a maior massa fresca para a parte aérea, indicando um melhor crescimento global da planta em comparação com os outros tratamentos. Isso sugere que *Pseudomonas fluorescens* favorece um melhor crescimento da parte aérea (Tabela 6). Esse resultado é apoiado por pesquisas que mostram que os *Pseudomonas* melhoram a absorção de nutrientes e estimulam o crescimento das plantas por meio de mecanismos como a produção de ácido indol-3-acético (AIA) e a solubilização de fosfato (Bashan *et al.*, 2014; Spaepen; Vanderleyden; Remans, 2007).

O tratamento Testemunha apresentou a menor massa fresca, sugerindo um crescimento menos otimizado sob esse tratamento. *Pseudomonas fluorescens* se destaca ao melhorar os parâmetros de biomassa foliar e radicular, o que indica um crescimento geral aprimorado, provavelmente devido à sua capacidade de produzir fitohormônios e solubilizar fosfatos, mecanismos cruciais para a nutrição das plantas.

Tabela 5 - Parâmetros agronômicos da Cana-de-açúcar.

TRAT	ALT	MFPA	MSPA	CMPR	VOLR	MFR	MSR
	m	g	g	cm	mL	g	g
Test	1,37 ^b	57,16 ^b	11,45 ^b	53,25 ^c	38,75 ^b	30,47 ^c	8,3 ^c
Azo	1,56 ^a	72,13 ^{ab}	13,57 ^{ab}	83,50 ^b	67,50 ^a	59,31 ^b	10,2 ^b
Pseudo	1,66 ^a	75,82 ^a	15,71 ^a	101,25 ^a	86,90 ^a	73,24 ^a	14,8 ^a
A+P 0 D	1,58 ^a	66,61 ^{ab}	13,82 ^{ab}	75,75 ^b	80,00 ^a	67,95 ^{ab}	14,2 ^a
A+P 180 D	1,67 ^a	73,16 ^{ab}	11,46 ^b	98,70 ^a	67,00 ^a	57,14 ^b	11,3 ^b
C.V.(%)	4,62	11,21	10,92	7,98	13,84	10,25	11,40

Dados: TEST (Testemunha); AZO (*Azospirillum Brasilense*); PSEUDO (*Pseudomonas fluorescens*); A+P 0 D (*Azospirillum Brasilense* + *Pseudomonas fluorescens* 0 dias de armazenamento); A+P 180 D (*Azospirillum Brasilense* + *Pseudomonas fluorescens* 180 dias de armazenamento); TRAT(Tratamento); ALT (Altura); MFPA (Massa Fresca da Parte Aérea); MSPA (Massa seca parte aérea); CMPR (Comprimento da raiz); VOLR (Volume da raiz); MFR (Massa Fresca da Raiz); MSR (Massa seca raiz). Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade.

Os tratamentos com combinações Azo + Pseudo mostram uma maior dispersão dos dados de altura das plantas, indicando uma variabilidade na resposta das plantas a esses tratamentos. Isso pode refletir a complexidade das interações entre as diferentes espécies microbianas do solo e da planta, bem como a necessidade de ajustar as proporções ou as doses de inoculantes. Segundo estudos recentes, a aplicação de consórcios microbianos pode levar a respostas variáveis devido à competição ou à sinergia entre microrganismos (Backer *et al.*, 2018; Souza; Ambrosini; Passaglia, 2015).

Azospirillum sozinho apresentou o maior diâmetro de caule, indicando caules mais robustos (dados não mostrados). No entanto, essa melhoria não se traduziu em um crescimento ótimo da planta como um todo, conforme observado para o tratamento com *Pseudomonas*. Esses resultados confirmam que a eficácia dos bioinsumos varia de acordo com os parâmetros de crescimento, com alguns influenciando mais a estrutura e outros a absorção de nutrientes e a regulação hormonal (Van Loon, 2007).

Os resultados das avaliações do comprimento da raiz (CMPR), volume da raiz (VOLR) e número de folhas (NF). Em relação ao CMPR, o resultado da ANOVA mostra uma diferença significativa entre os tratamentos ($p < 0,001$), com o tratamento Pseudo sendo o mais eficaz em termos de comprimento da raiz, seguido por Azo + Pseudo 180 D. Esses dois tratamentos são significativamente superiores ao tratamento controle. Para o VOLR, todos os tratamentos com biológico foi mais eficaz para aumentar o volume das raízes, com uma diferença significativa em relação ao controle. Os outros tratamentos (Pseudo e Azo) também determinaram aumento, mas a diferença em relação ao controle não foi tão acentuada, exceto para Pseudo, que se aproxima da significância estatística (Tabela 5). Quanto ao NF, o tratamento Pseudo apresentou

o melhor desempenho em termos de número de folhas, enquanto o tratamento Testemunha apresentou os resultados mais baixos (dados não mostrados).

A associação entre *Azospirillum* e *Pseudomonas* também mostra uma sinergia benéfica no volume e no comprimento das raízes, características importantes para a absorção de água e nutrientes em profundidade. Essa combinação maximiza os benefícios das duas bactérias, aumentando não apenas a biomassa, mas também a capacidade da planta de resistir aos estresses ambientais, como confirmam várias pesquisas sobre a influência das rizobactérias promotoras de crescimento no sistema radicular (Bhattacharyya; Jha, 2012).

O número de folhas, como reflexo da capacidade fotossintética, é também um indicador-chave do desempenho vegetal. O efeito pronunciado de *Pseudomonas* nesse parâmetro confirma seu papel na promoção do crescimento por meio de mecanismos que aumentam a capacidade da planta de produzir energia e armazenar recursos para o crescimento futuro (Vacheron *et al.*, 2013). O tratamento controle, por outro lado, apresenta resultados significativamente inferiores para todos os parâmetros, demonstrando claramente o impacto dos bioinsumos na melhoria do desempenho das plantas.

O tratamento com *Pseudomonas fluorescens* sozinho mostrou o maior potencial para melhorar o crescimento radicular da cana-de-açúcar, enquanto a associação com *Azospirillum brasilense* pode ser otimizada em função do momento de aplicação. Esses resultados confirmam o papel essencial das PGPR na promoção do crescimento vegetal, especialmente em sistemas de produção sustentáveis.

As Rizobactérias Promotoras de Crescimentos de Plantas (RPCP) solubilizam nutrientes como o fósforo, tornando disponível para cultura e favorecendo seu desenvolvimento. Quanto maior massa radicular maior o potencial do bioinsumo para controle do estresse hídrico, e uma planta com maior volume de raízes possibilita a buscar por nutrientes nas profundidades do solo (El-Nahal *et al.*, 2022).

8- CONCLUSÃO

A utilização dos bioinsumos *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* oferece alternativa promissora para melhorar a produtividade das culturas, reduzindo a dependência de fertilizantes químicos e promovendo uma agricultura mais sustentável. Esses

microrganismos demonstraram capacidade de estimular o crescimento das plantas agindo por meio de diversos mecanismos, como a fixação de nitrogênio, a solubilização de nutrientes e a produção de fitohormônios. Esse trabalho abre caminho para pesquisas futuras com cepas diferentes para maximizar seu potencial em sistemas agrícolas diversificados, contribuindo assim para transição em direção a uma agricultura mais sustentável.

9- REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. E. M. A legislação brasileira para a biodiversidade e produtos biológicos: importância e impactos. In ZAMBOM, M. A.; KUHN, O. J.; SILVA, N. L. S.; STANGARLIN, J. R.; NUNES, R. V.; FÜLBER, V. M.; EYNG, C. **Ciências Agrárias: Ética do cuidado, legislação e tecnologia na agropecuária**. 1ª Edição. Marechal Cândido Rondon. p.118-123, 2017.

ALVES, J. A.; SENE, D. W.; PAULA, G. F.; DEMÉTRIO, G. B.; MATSUMOTO, L. S. Influence of *Bacillus* sp. On soil chemical and microbiological attributes and development of soybean and maize. **Revista Mexicana Ciencias Agrícolas**, v.12, n.3, p.383-393. 2021.

ANDERSON, T.-H. & DOMSCH, K. H. Soil microbial biomass: The eco-physiological approach. **Soil Biology and Biochemistry**, v.42, n.12, p.2039-2043, 2010.

AZEVEDO, P. F.; SILVA, G. L. P.; MATSUMOTO, L. S. Metabólitos secundários microbianos no controle de fitopatógenos. In: KÖLLN, T. (Ed.) **Sistemas para produção agropecuária sustentável no norte pioneiro do Paraná**. Editora UENP. Bandeirantes-PR. p.271-302, 2023.

BANERJEE, S.; SCHLAEPPI, K.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A. Keystone taxa as drivers of microbiome structure and functioning. **Nature Reviews Microbiology**, v.16, n.9, p.567-576, 2018. doi: 10.1038/s41579-018-0024-1.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; FIGUEIREDO, S. R.; KLAUBERG, O. F. Efeito do monocultivo de Pinus e de queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no planalto sul Catarinense. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. v. 29, n.5, p. 715-724, 2005. doi:10.1590/S0100-06832005000500007

BASHAN, Y.; de-BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth—a critical assessment. **Advances in Agronomy**, v.108, p.77-136, 2010. doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08002-8

BASHAN, Y.; de-BASHAN, L. E.; PRABHU, S. R.; HERNANDEZ, J. P. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: Formulations and practical perspectives (1998–2013). **Plant and Soil**, v.378, p.1-33, 2014. doi 10.1007/s11104-013-1956-x

BENEDUZI, A.; AMBROSINI, A.; PASSAGLIA, L. M. P. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): their potential as antagonists and biocontrol agents. **Genetics and Molecular Biology**, v.35, n.4, p.1044-1051. 2012.

BERG, G. Plant–microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.84, n.1, p.11-18, 2009. doi:10.1007/s00253-009-2092-7

BERG, G.; RYBAKOVA, D.; GRUBE, M.; KÖBERL, M. The plant microbiome explored: Implications for experimental botany. **Journal of Experimental Botany**, v.67, n.4 p.995–1002, 2016. doi.org/10.1093/jxb/erv466

BHADURI, D.; SIHI, D.; BHOWMIK, A.; VERMA, B. C.; MUNDA, S.; DARI, B. A review on effective soil health bio-indicators for ecosystem restoration and sustainability. **Frontiers in Microbiology**, v.13, 938481, 2022. doi: 10.3389/fmicb.2022.938481

BHATTACHARYYA, P. N.; JHA, D. K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in agriculture. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.28, n.4, p.1327-1350, 2012. doi.org/10.1007/s11274-011-0979-9

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/DAS/ACS, 2009. 399p.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v.124, n.1-2, p.3-22, 2005. doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005

BUCHER, C. A.; REIS, V. M. **Biofertilizante contendo bactérias diazotróficas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2008. 17 p.

CASSÁN, F.; CONIGLIO, A.; LÓPEZ, G.; MOLINA, R.; NIEVAS, S.; CARLAN, C. LN.; DONADIO, F.; TORRES, D.; ROSAS, S.; PEDROSA, F. O.; SOUZA, E.; ZORITA, M. D.; de-BASHAN, L.; MORA, V. Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. **Biology and Fertility of Soils**, v.56, p.461-479, 2020. doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra Brasileira de Cana-de-açúcar**, Brasília, DF, safra 2024/25. 3º Levantamento, v. 12, n. 3 novembro 2024a.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-açúcar**, Brasília, DF, safra 2023/24. 4º Levantamento, v. 11, n.4, abril, 2024b.

DUTTA, P.; MAHANTA, M.; SINGH, S. B.; THAKURIA, D.; DEB, L.; KUMARI, A.; UPAMANYA, G. K.; BORUAH, S.; DEY, U.; MISHRA, A. K.; VANLALTANI, L.; REDDY, D. V.; HEISNAM, P.; PANDEY, A. K. Molecular interaction between plants and *Trichoderma* species against soil-borne plant pathogens. **Frontier Plant Science**, v. 14, 2023. doi: 10.3389/fpls.2023.1145715

EL-NAHAL, A. S. M.; EL-SAADONY, M. T.; SAAD, A. M.; DESOKY, E. S. M.; EL-TAHAN, A. M.; RADY, M. M.; ABUQAMAR, S. F.; EL-TARABILY, K. A. The use of microbial inoculants for biological control, plant growth promotion, and sustainable agriculture: A review. **European Journal of Plant Pathology**, v.162, n.4, p.759-792, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02393-7>

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Embrapa Solos. 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018. 306 p.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Ed. Fábio Cesar da Silva. Brasília, DF, Embrapa Informação Tecnológica, v.3, n.1, ed.2, 2009.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Food Outlook: biannual report on global food markets**. Rome/ Italy, FAO, 2019.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The State of Food and Agriculture 2023: Revealing the true cost of food to transform agrifood systems**. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2023.

FIERER, N. Embracing the unknown: disentangling the complexities of the soil microbiome. **Nature Reviews Microbiology**, v.15, p.579-590, 2017. doi.org/10.1038/nrmicro.2017.87

GLICK, B. R. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. **Scientifica**, 2012, 963401.

GLICK, B. R.; CHENG, Z.; CZARNY, J.; DUAN, J. Promotion of plant growth by ACC deaminase-producing soil bacteria. **European Journal of Plant Pathology**, v.119, p.329-339, 2007.

GOUDA, S.; KERRY, R. G.; DAS, G.; PARAMITHIOTIS, S.; SHIN, H. S.; PATRA, J. K. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. **Microbiological research**, v.206, p.131-140, 2018. doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.016

GUO, Z. The modification of natural products for medical use. **Acta Pharmaceutica Sinica B**, v.7, n.2, p.119–136, 2017. doi.org/10.1016/j.apsb.2016.06.003

HAYAT, R.; ALI, S.; AMARA, U.; KHALID, R.; AHMED, I. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: A review. **Annals of Microbiology**, v.60, n.4, p.579-598, 2010. doi 10.1007/s13213-010-0117-1

HILLEL, D. **Introduction to Environmental Soil Physics**. Elsevier, Academic Press. 2004. 494 p. doi.org/10.1016/B978-0-12-348655-4.X5000-X

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. doi:10.1007/s11104-009-0262-0

JANSSON, J. K.; HOFMOCKEL, K. S. The soil microbiome—From metagenomics to metaphenomics. **Current Opinion in Microbiology**, v.43, p 162-168, 2018. doi: 10.1016/j.mib.2018.01.013

JOERGENSEN, R. G.; EMMERLING, C. Methods for evaluating human impact on soil microorganisms based on their biomass, activity, and diversity in agricultural soils. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.169, n.3, p.295-309, 2006. doi 10.1002/jpln.200521941

JULIEN, M. H. R.; IRVINE, J. E.; BENDA, G. T. A. Sugarcane anatomy, morphology and physiology In: RICAUD, C., EGAN, B.T, GILLASPIE-JR, A.G., HUGHES, C.G. (ed.). **Diseases of Sugarcane: Major Diseases**. Amsterdam, Netherlands: Elsevier Science Publishers, 1989. p.1–17.

KHALIFA, B. B.; BOUCHAIR M. **Les PGPR et leur impact sur la biofertilisation**. Mémoire Master et Sciences de la Nature et de la Vie. Institut des Sciences et de la Technologie. Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf – Mila, 2022. 92 p.

LEHMANN, J.; KLEBER, M. The contentious nature of soil organic matter. **Nature**, v.528, p.60-68, 2015. doi.org/10.1038/nature16069

LIU, Z.; LIU, J.; YU, Z.; YAO, Q.; LI, Y.; LIANG, A.; ZHANG, W.; MI, G.; JIN, J.; LIU, X.; WANG, G. Long-term continuous cropping of soybean is comparable to crop rotation in mediating microbial abundance, diversity and community composition. **Soil & Tillage Research**, v.197, 104503, 2020. doi: 10.1016/j.still.2019.104503

MATSUMOTO, L. S.; MARQUES, R. D. **Bioindicadores da qualidade do solo**. In: Reunião Paranaense de Ciência do Solo. 4 ed. Curitiba : SBCS, p. 486-490, 2015.

MATSUMOTO, L. S.; MARTINES, A. M.; AVANZI, M. A.; ALBINO, U. B.; BRASIL, C. B.; SARIDAKIS, D. P.; RAMPAZO, L. G. L.; ZANGARO, W.; ANDRADE, G. Interactions among functional groups in the cycling of carbon, nitrogen and phosphorus in the rhizosphere of three successional species of tropical woody trees. **Applied Soil Ecology**, v.28, p. 57-65, 2005. doi:10.1016/j.apsoil.2004.06.008

MATSUMOTO, L. S.; SENA, M. F.; AZEVEDO, P. F. Rizobactérias promotoras de crescimento de plantas. KÖLLN, T. (Ed.) **Sistemas para produção agropecuária sustentável no norte pioneiro do Paraná**. Editora UENP. Bandeirantes-PR. p.105-138, 2023.

MEHMOOD, N.; SAEED, M.; ZAFARULLAH, S.; HYDER, S.; RIZVI, Z. F.; GONDAL, A. S.; JAMIL, N.; LQBAL, R.; ALI, B.; ERCISLI, S.; KUPE, M. Impactos multifacetados de *Pseudomonas* spp. benéficas para plantas no manejo de várias doenças de plantas e na melhoria da produtividade das culturas. **ACS Ômega**, v.8, n.25, p.22296-22315, 2023. doi: 10.1021/acsomega.3c00870

MERARA, K. B.; HAMMADA, M. B.; HASSANI, N. B. **Les PGPR et leur impact sur les mécanismes de bio controle**. Mémoire Master et Sciences de la Nature et de la Vie. Institut des Sciences et de la Technologie. Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf – Mila, 2022. 63 p.

MONTGOMERY, D. R. **Growing a Revolution: Bringing Our Soil Back to Life**. W.W. Norton & Company Ed. 2018. 320 p.

NOUMAVO, P. A.; AGBODJATO, N. A.; GACHOMO, E. W.; SALAMI, H. A.; BABA-MOUSSA, F.; ADJANOHOUN, A.; KOTCHONI, S. O; BABA-MOUSSA, L. Metabolic and biofungicidal properties of maize rhizobacteria for growth promotion and plant disease resistance. **African Journal of Biotechnology**, v.14, n.9, p.811-819, 2015. doi 10.5897/AJB2014.14132

O'SULLIVAN, D. J.; O'GARA, F. Traits of fluorescent *Pseudomonas* spp. involved in suppression of plant root pathogens. **Microbiological review**. v. 56, n. 4, p. 662-676, 1992. doi: 10.1128/mr.56.4.662-676.1992

PAULA, G. F.; DEMÉTRIO, G. B.; MATSUMOTO, L. S. Biotechnological potential of soybean plant growth-promoting rhizobacteria. **Revista Caatinga**, v.34, n.2, p.328-338, 2021. doi: 10.1590/1983-21252021v34n209rc.

PEDRAZA, R. O.; FILIPPONE, M. P.; FONTANA, C.; SALAZAR, S. M.; RAMÍREZ-MATA, A.; SIERRA-CACHO, D.; BACA, B. E. *Azospirillum*. In: AMARESAN, N.; KUMAR, S.; ANNAPURNA, K.; KUMAR, K.; SANKARANARAYANAN, A. **Micróbios benéficos na agroecologia**. Elsevier. p. 73-105, 2020.

PITTELKOW, C. M.; LIANG, X.; LINQUIST, B. A.; VAN GROENIGEN, K. J.; LEE, J.; LUNDY, M. E.; VAN GESTEL, N.; SIX, J.; VENTEREA, R. T.; VAN KESSEL, C. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. **Nature**, v.517, p.365-368, 2015. doi.org/10.1038/nature13809

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. 2023. <https://www.R-project.org/>

SANDINI, I. E.; MATSUMOTO, L. S.; BELANI, R. B.; DURIGAN, L. D.; TARABINI, M. C.; PACENTCHUK, F.; SANDINI A. H. Co-Inoculation with *Bacillus amyloliquefaciens* in soybean in different modalities of application and under different edaphoclimatic conditions. **International Journal of Agriculture & Biology**, v.31, n.5, p.375–382, 2024. doi: 10.17957/IJAB/15.2154

SANTOS, R. M.; DIAZ, P. A. E.; LOBO, L. L. B.; RIGOBELLO, E. C. Use of plant growth-promoting rhizobacteria in maize and sugarcane: characteristics and applications. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v.4, p.1-5, 2020. doi: 10.3389/fsufs.2020.00136

SILALERTRUKSA, T.; GHEEWALA, S. H. Land-water-energy nexus of sugarcane production in Thailand. **Journal of Cleaner Production**, v.182, p.521-528, 2018. doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.085

SILVA, E. E.; DE AZEVEDO, P. H. S.; de-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO_2)**. Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, v. 99, 2007. 4p.

SILVA, G. C.; KITANO, I. T.; RIBEIRO, I. A. F.; LACAVA, P. T. The potential use of actinomycetes as microbial inoculants and biopesticides in agriculture. **Frontier Soil Science**, v.2, 833181, 2022. doi.org/10.3389/fsoil.2022.833181

SILVA, J. P. N.; SILVA, M. R. N. **Noções da cultura da cana-de-açúcar**. Inhumas:IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2012. 105 p.

SINGH, R.; JONES, T.; WAI, C. M.; JIFON, J.; NAGAI, C.; MING, R.; YU, Q. Transcriptomic analysis of transgressive segregants revealed the central role of photosynthetic capacity and

efficiency in biomass accumulation in sugarcane. **Scientific Reports**, v.8, n.1, 4415, 2018. doi: 10.1038/s41598-018-22798-5.

SMITH, S. E.; READ, D. **Mycorrhizal Symbiosis (3rd ed.)**. Academic Press, 2010. 787 p. doi: 10.1016/B978-0-12-370526-6.X5001-6

SOUZA, R.; AMBROSINI, A.; PASSAGLIA, L. M. P. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. **Genetics and Molecular Biology**, v. 38, n.4, p.401-419, 2015. doi: 10.1590/S1415-475738420150053

SPAEPEN, S.; VANDERLEYDEN, J.; REMANS, R. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling. **FEMS Microbiology Reviews**, v.31, n.4, p.425-448, 2007. doi: 10.1111/j.1574-6976.2007.00072.x

SPARKS, D. L. **Environmental Soil Chemistry**. Elsevier, 2021. 352 p. doi.10.1016/B978-0-12-656446-4.X5000-2

TOTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos com indicadores da qualidade do solo. In: ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, v.2, p. 195-267, 2002.

TRESEDER, K. K.; LENNON, J. T. Fungal traits that drive ecosystem dynamics on land. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v.79, n.2, p.243-262, 2015. doi.org/10.1128/mmbr.00001-15

VACHERON, J.; DESBROSSES, G.; BOUFFAUD, M. L.; TOURAINE, B.; MOËNNE-LOCCOZ, Y.; MULLER, D.; LEGENDRE, L.; WISNIEWSKI-DYÉ, F.; PRIGENT-COMBARET, C. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. **Frontiers in Plant Science**, v.4, n.356, p.1-19, 2013. doi:10.3389/fpls.2013.00356

VAN LOON, L. C. Plant responses to plant growth-promoting rhizobacteria. **European Journal of Plant Pathology**, v.119, n.3, p.243-254, 2007. doi: 10.1007/s10658-007-9165-1

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, v.19, n.6, p.703-707, 1987. doi: 10.1016/0038-0717(87)90052-6

VASQUES, N. C.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Increasing Application of Multifunctional *Bacillus* for Biocontrol of Pests and Diseases and Plant Growth Promotion: Lessons from Brazil. **Agronomy**, v.14, n.8, 1654, 2024. doi: 10.3390/agronomy14081654

VERMA, R. C.; SINGH, N. K.; GANGAVATI, A. R.; ASHOKA, P.; KESARWANI, A.; ALI, I.; PANDEY S. K.; SINGH, B. V. A review of long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms. **International Journal of Plant & Soil Science**, v.35, v.20, p.1145-1155, 2023. doi:10.9734/IJPSS/2023/v35i203912

VIEIRA JUNIOR, J. R.; FERNANDES, C. F.; ANTUNES JÚNIOR, H.; SILVA, M. S.; SILVA, D. S. G.; SILVA, U. O. **Rizobactérias como agentes de controle biológico e promotores de**

crescimento de plantas. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia Documentos (INFOTECA-E), 2013.

VIEIRA, E. A. A (in) Sustentabilidade da indústria da mineração no Brasil. **Estação Científica (UNIFAP)**, v.1, n.2, p.1-15, 2011.