



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS II – LAGOA SECA  
CCAA – CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE BACHARELADO EM AGROECOLOGIA**

**ANDERSON KELVIN DE LUCENA SIQUEIRA**

**Desempenho agronômico de genótipo de feijão caupi *Vigna unguiculata* (L.)  
Walp (paulistinha) irrigado e fertilizado com microrganismos eficientes**

**LAGOA SECA - PB  
2024**

ANDERSON KELVIN DE LUCENA SIQUEIRA

**Desempenho agronômico de genótipo de feijão caupi *Vigna unguiculata* (L.) Walp (paulistinha) irrigado e fertilizado com microrganismos eficientes**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado à Coordenação do Curso Agroecologia da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito à obtenção do título de Bacharel em Agroecologia.

**Orientador:** Prof. Dr. Mário Sérgio Araújo.

**LAGOA SECA - PB  
2024**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S615d Siqueira, Anderson Kelvin de Lucena.

Desempenho agrônomo de genótipo de feijão Caupi *Vigna unguiculata* (L.) Walp (paulistinha) irrigado e fertilizado com microrganismos eficientes. [manuscrito] / Anderson Kelvin de Lucena Siqueira. - 2024.

31 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agroecologia) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, 2024.

"Orientação : Prof. Dr. Prof. Dr. Mário Sérgio Araújo., Coordenação do Curso de Arquivologia - CCBSA. "

1. Bioinsumo . 2. Semiárido Paraibano. 3. Agricultura Sustentável. 4. Produtividade Agrícola. 5. Irrigação. I. Título

21. ed. CDD 633.33

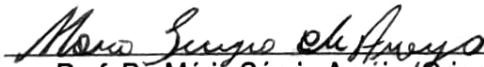
ANDERSON KELVIN DE LUCENA SIQUEIRA

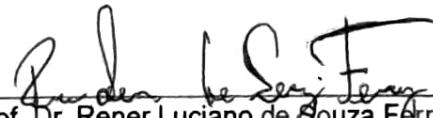
Desempenho agrônômico de genótipo de feijão caupi *Vigna unguiculata* (L.) Walp (paulistinha) irrigado e fertilizado com microrganismos eficientes

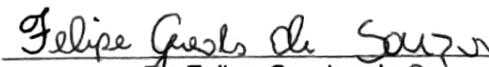
Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado à Coordenação do Curso Agroecologia da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito à obtenção do título de Bacharel em Agroecologia.

Aprovada em: 26/06/2024.

**BANCA EXAMINADORA**

  
Prof. Dr. Mário Sérgio Araújo (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

  
Prof. Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

  
Dr. Felipe Guedes de Souza  
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

## **Dedico essa obra-prima:**

Aos meus pais: Que sempre me incentivaram ensinaram que o conhecimento era o melhor presente que poderiam me dar (mesmo que eu tivesse preguiça de estudar e preferisse assistir televisão). Mainha, obrigado por me ensinar a ler e escrever (mesmo antes de saber o que era uma escola) e por ter paciência (às vezes nem tanta) com meus rabiscos pré-históricos.

À Tala e mãe Zuzinha: Que me carregaram nos ombros para que eu não perdesse um dia de aula. Espero recompensar cada esforço de vocês.

À Moção: meu amor, musa inspiradora e parceira de todas as horas, inclusive das madrugadas regadas a estresse de TCC. Você me ensinou que o amor não é só romance à luz de velas, mas também aguentar meu mau humor (e minhas piadas sem graça). Te amo mais que palavras podem expressar!

Ao meu irmão: Parceiro companheiro de todas as horas (principalmente durante os jogos do nosso Flamengo).

Ao Ximboleu: (Gandalf, Boleu, Cramunhãozinho... e tantos outros nomes) meu gato maluco, cheio de manias, que me acorda toda madrugada para pedir petiscos. Seus miados, carinhos e brincadeiras destrambelhadas foram o remédio perfeito para o estresse da faculdade.

A todos vocês: dedico essa conquista com imensa gratidão e um toque de humor. Obrigado por tudo!

## **AGRADECIMENTOS**

Aos amigos que fiz durante a graduação, meu mais sincero agradecimento. Léo, Evelyn, Mathaeus, Vitória, Heloisa, Ryan, Ivanilson, Túlio, Val, Robeilsa, Wesley, Severino, Adelson e Kaique, vocês foram fundamentais ao longo deste processo. Cada um de vocês tornou esta jornada mais leve e enriquecedora.

A todos aqueles que se dedicaram a partilhar o seu conhecimento, vocês são parte essencial da minha formação acadêmica e profissional. Agradeço também ao professor Alexandre, que me possibilitou desenvolver a extensão que me aproximou do meu objeto de pesquisa.

Ao meu orientador, Mário Sérgio, carinhosamente conhecido como a "delícia cremosa" do Campus II, expresso minha profunda gratidão. Seu apoio, paciência e ensinamentos foram indispensáveis para a realização deste trabalho. Obrigado por compartilhar seu vasto conhecimento. Sua orientação fez toda a diferença no desenvolvimento deste projeto e na minha formação acadêmica e profissional.

Agradeço também a todos aqueles que fazem o Campus II funcionar, sobretudo aos servidores, aos quais expresso profunda admiração e gratidão.

Além de tudo, agradeço aos meus familiares e amigos por todo o apoio.

A todos vocês, meu muito obrigado!

*“O segredo da vida é o solo, porque do solo dependem as plantas, a água, o clima e a nossa vida. Tudo está interligado. Não existe ser humano sadio se o solo não for sadio”*

Ana Primavesi

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Área Experimental / Plantio das Sementes nos Berços.....	18
Figura 2 –	Microrganismos Eficientes (ME), coletados na mata da Reserva do IBAMA – Campus da UEPB em Lagoa Seca.....	20
Figura 3 –	Amostras selecionadas para aferição da variável Comprimento de Vagem (CV) .....	21
Figura 4 –	Amostras selecionadas para aferição da variável Peso de Cem Grãos (PCG) .....	21
Figura 5 –	Gráfico de Regressão para a Variável Altura de Planta (AP) .....	22
Figura 6 –	Gráfico de Regressão para a Variável Diâmetro de Caule (DC) .....	22
Figura 7 –	Gráfico de Regressão para a Variável Número de Grãos por Vagem (NGV) .....	23
Figura 8 –	Gráfico de Regressão para a Variável Peso de Cem Grãos (PCG)..	23
Figura 9 –	Gráfico de Regressão para a Variável Número de Nódulos (NN) ....	24
Figura 10 –	Gráfico de Regressão para a Variável Massa Seca de Nódulos (MSN) .....	24

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características Químicas do Solo, Lagoa Seca - PB, 2023 .....	19
Tabela 2 – Análise de Variância para as Variáveis Altura de Planta (AP), Diâmetro de Caule (DC), Número de Nódulos (NN), Massa Seca dos Nódulos (MSN), Comprimento de Vagem (CdV) Números de Grãos por Vagem (NGV) e Peso de 100 Grãos (MCG) .....	22

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Altura de Planta
CCAA	Centro de Ciências Agrárias e Ambientais
CdV	Comprimento de Vagem
DC	Diâmetro de Caule
ETo	Evapotranspiração de Referência
FBN	Fixação Biológica de Nitrogênio
FV	Fonte de Variação
GL	Graus de Liberdade
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LSPA	Levantamento Sistemático da Produção Agrícola
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
ME	Microrganismos Eficientes
MSN	Massa Seca de Nódulos
N	Nitrogênio
NGV	Número de Grãos por Vagem
NN	Número de Nódulos
PCG	Peso de Cem Grãos
R <sup>2</sup>	Coeficiente de Determinação
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	13
2.1	Feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) .....	13
2.2	Microrganismos eficientes.....	14
2.2.1	<i>Fixação Biológica de Nitrogênio</i> .....	15
3.2.3	Irrigação localizada por gotejamento.....	17
3	METODOLOGIA .....	18
3.1	Delineamento experimental.....	18
3.2	Instalação do Experimento.....	18
3.2.1	<i>Captura, multiplicação e aplicação dos ME</i> .....	20
3.3	Avaliação.....	21
3.4	Análise estatística.....	21
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	22
5	CONCLUSÃO .....	25
5.1	Recomendações.....	25
	REFERÊNCIAS .....	25

**Desempenho agrônomo de genótipo de feijão caupi *Vigna Unguiculata* (L.) Walp (paulistinha) irrigado e fertilizado com microrganismos eficientes.**

**Agronomic Performance of *Vigna Unguiculata* (L.) Walp (Paulistinha) Genotype Irrigated and Fertilized with Efficient Microorganisms.**

Anderson Kelvin de Lucena Siqueira<sup>1\*</sup>

**RESUMO**

O presente estudo investiga o desempenho agrônomo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), variedade paulistinha, sob condições de irrigação localizada por gotejamento e inoculado com microrganismos eficientes (ME). O objetivo principal foi avaliar o impacto dos ME na qualidade e produtividade da cultura, proporcionando uma alternativa sustentável aos métodos convencionais de cultivo. Utilizou-se um delineamento experimental em blocos casualizados com diferentes doses de ME (2,5%, 5%, 7,5% e 10%) inoculadas nas sementes, e uma área experimental delimitada foi estabelecida para garantir a precisão dos resultados. Analisaram-se variáveis como número de nódulos, massa seca de nódulos, altura das plantas, diâmetro do caule, número de grãos por vagem e peso de cem grãos. Os resultados indicaram uma relação significativa entre o aumento das doses de ME e as variáveis de crescimento avaliadas, com altos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), sugerindo que os ME promovem melhorias substanciais no desenvolvimento e na produtividade das plantas. A irrigação localizada por gotejamento foi fundamental para otimizar a utilização da água e garantir a eficiência dos tratamentos com ME. Conclui-se que a aplicação de microrganismos eficientes pode ser uma estratégia eficaz para otimizar a produção do feijão-caupi, contribuindo para a sustentabilidade agrícola, especialmente em regiões áridas e semiáridas.

**Palavras-chave:** Bioinsumo, Semiárido Paraibano, Agricultura Sustentável, Produtividade Agrícola, Irrigação.

**ABSTRACT**

This study investigates the agronomic performance of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), variety Paulistinha, under localized drip irrigation conditions and inoculated with effective microorganisms (EM). The primary objective was to evaluate the impact of EM on crop quality and productivity, providing a sustainable alternative to conventional cultivation methods. A randomized block experimental design was used with different doses of EM (2.5%, 5%, 7.5%, and 10%) inoculated into the seeds, and a delineated experimental area was established to ensure result precision. Variables analyzed included nodule number, nodule dry mass, plant height, stem diameter, number of grains per pod, and weight of one hundred grains. The results indicated a significant relationship between increased EM doses and the evaluated growth variables, with high coefficients of determination ( $R^2$ ), suggesting that EM substantially improve plant development and productivity. Localized drip irrigation was crucial for optimizing water use and ensuring the efficiency of EM treatments.

---

<sup>1\*</sup> Aluno do Curso de Bacharelado em Agroecologia na Universidade Estadual da Paraíba – Campus II. E-mail: akelvinlucena@gmail.com.

The study concludes that the application of effective microorganisms can be an effective strategy to optimize cowpea production, contributing to agricultural sustainability, especially in arid and semi-arid regions.

**Keywords:** Article. Article Model. Word. Word.

## 1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), espécie muito cultivada na região Nordeste do Brasil, conhecida por diversos nomes, como feijão macassar, feijão-de-corda e feijão fradinho, pertence à família Fabaceae (MELO et al., 2018). Sua importância se dá não apenas pela ampla utilização como fonte de emprego e renda, mas também pelo seu alto valor nutritivo. Este feijão é uma significativa fonte de proteínas, fibras e outros nutrientes essenciais para o consumo humano, tanto na forma de grãos secos quanto verdes (BASTOS et al., 2012).

Embora seja uma cultura adaptada a condições adversas de clima, solo e umidade, o feijão-caupi não atinge seu máximo potencial produtivo em ambientes sem irrigação. A deficiência hídrica, aliada à alta temperatura e à incidência luminosa, são consideradas as principais restrições à sobrevivência e às produtividades agrônomicas (FLEXAS et al., 2002), especialmente em regiões áridas e semiáridas caracterizadas por baixas precipitações pluviais, altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar (PEDROSA et al., 2015), uma vez que a ocorrência de estresses abióticos desencadeia uma variedade de respostas nas plantas.

Diante dos desafios ambientais e da busca por alimentos produzidos de forma sustentável, os bioinsumos, como Microrganismos Eficientes (ME), surgem como tecnologias sustentáveis. Estudos demonstram que esses microrganismos promovem o crescimento das plantas, rentabilidade das culturas, qualidade fitossanitária e contribuem para a redução do uso de agrotóxicos e adubos sintéticos, minimizando os impactos ambientais (Rezende et al., 2021).

Microrganismos multifuncionais, benéficos para o crescimento vegetal, desempenham um papel crucial como tecnologia alternativa para uma agricultura sustentável. O aumento da demanda por produção agrícola com redução do uso de fertilizantes e pesticidas sintéticos é um desafio atual. O estudo desses microrganismos destaca-se devido à busca por tecnologias sustentáveis que reduzem custos de produção, aumentam a produtividade e a rentabilidade da agricultura familiar. Os mecanismos desses microrganismos incluem a regulação do equilíbrio hormonal, solubilização de nutrientes no solo e indução de resistência contra patógenos (Rezende et al., 2021).

Um dos destaques no uso dos ME é o auxílio na Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), que permite que as plantas aproveitem o nitrogênio atmosférico, reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos. Já a irrigação localizada por gotejamento se destaca como uma tecnologia essencial para o semiárido paraibano devido à sua eficiência no uso da água. Esta técnica de irrigação minimiza as perdas por evaporação e infiltração, garantindo que a água seja direcionada diretamente às raízes das plantas, o que é particularmente importante em uma região caracterizada pela irregularidade pluviométrica e escassez hídrica.

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho agrônomico do genótipo de feijão-caupi 'Paulistinha' quando irrigado e fertilizado com microrganismos eficientes. A pesquisa busca contribuir para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais sustentáveis e adaptadas às condições do semiárido paraibano, oferecendo alternativas viáveis para o aumento da produtividade e a melhoria das condições de vida dos agricultores da região.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O desenvolvimento de práticas agrícolas sustentáveis é um desafio contínuo, especialmente nas regiões áridas e semiáridas, onde fatores como deficiência hídrica e alta temperatura impactam significativamente a produtividade. Este capítulo apresenta uma revisão teórica sobre alguns dos componentes essenciais para a agricultura sustentável, com foco no feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), microrganismos eficientes, fixação biológica de nitrogênio (FBV) e técnicas de irrigação localizada por gotejamento.

Inicialmente, abordaremos a importância do feijão-caupi, uma cultura amplamente cultivada no Nordeste do Brasil, destacando seu valor econômico e nutritivo. Em seguida, discutiremos o papel dos microrganismos eficientes, que emergem como tecnologias sustentáveis capazes de promover o crescimento das plantas e melhorar a qualidade fitossanitária das culturas. A fixação biológica de nitrogênio será explorada como um processo crucial para a sustentabilidade agrícola, particularmente no contexto das leguminosas. Finalmente, examinaremos a irrigação localizada por gotejamento como uma técnica eficaz para otimizar o uso da água em ambientes de estresse hídrico.

### 2.1 Feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)

O feijão-caupi, também conhecido como feijão-de-corda, é uma leguminosa originária da África e amplamente cultivada nas regiões tropicais da Ásia e das Américas (EMBRAPA, 2003). Com seus grãos de alto valor nutricional, destacando-se pelo teor elevado de proteína, essa cultura é considerada uma das principais fontes de proteína vegetal e ferro, desempenhando um papel importante na alimentação das populações rurais e urbanas, especialmente as de menor poder aquisitivo (GRANGEIRO et al., 2005). Além disso, do ponto de vista socioeconômico, o feijão-caupi destaca-se como uma cultura de grande importância, contribuindo significativamente para a geração de emprego e renda.

No Brasil, o cultivo do feijão-caupi tem sido predominante nas regiões Norte e Nordeste, mostrando uma notável adaptação às condições adversas de clima e solo, graças à sua rusticidade e precocidade (DANTAS et al., 2002). Isso tem despertado interesse entre os agricultores da região Centro-Oeste, onde há uma crescente expansão da área cultivada. Apesar de ser largamente praticado por agricultores familiares, o cultivo em larga escala, aliado a tecnologias modernas, está se tornando comum nas regiões tradicionais de produção no estado do Pará (CRAVO et al., 2006). Entretanto, a produtividade média ainda é considerada baixa em relação ao potencial da cultura. Em 2008, nos principais municípios produtores, a produtividade variou de 657 a 1.218 kg/ha (IBGE - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola-LSPA/2003 a 2008). Diversos fatores contribuem para essa situação, incluindo a baixa adoção de tecnologia no sistema de produção, a fertilidade reduzida e a acidez elevada dos solos, além do manejo inadequado da adubação e a baixa resistência das variedades às doenças (CRAVO et al., 2006; CARDOSO et al., 1997).

Na região Nordeste, a produção tem sido tradicionalmente concentrada em áreas semiáridas, onde outras culturas leguminosas anuais não alcançam desenvolvimento satisfatório devido à irregularidade das chuvas e às altas temperaturas.

Como uma cultura emergente, o feijão-caupi enfrenta desafios como a escassez de sementes para atender à crescente demanda, o aumento dos preços dos fertilizantes, reduzindo a rentabilidade dos produtores, e a competição com outros centros produtores. Diante dessas questões, os modelos de produção convencionais estão sendo reavaliados em busca de sustentabilidade econômica e ecológica, com o objetivo de reduzir custos e otimizar o uso de recursos como água, luz e nutrientes. Nesse contexto, é fundamental o entendimento do ambiente de produção e do material genético para alcançar a produtividade ideal do sistema. Um dos aspectos essenciais é o estudo da nutrição mineral das plantas que compõem o sistema de produção, visando um planejamento integrado da adubação.

## **2.2 Microrganismos Eficientes**

Os microrganismos exercem uma função muito importante e dividem-se em dois grandes grupos: os microrganismos degenerativos, que produzem no seu metabolismo primário substâncias como amônia, sulfeto de hidrogênio, com ação prejudicial à planta e endurecem o solo e podem impedir o crescimento das plantas, pragas e doenças; e os microrganismos regenerativos, que produzem substâncias orgânicas úteis às plantas, e podem produzir hormônios e vitaminas, que melhoram as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e é este grupo que constitui os ME, que é formado pela comunidade de microrganismos encontrados naturalmente em solos férteis e em plantas.

Os microrganismos eficientes retiram da matéria orgânica (restos vegetais e animais) os seus alimentos e liberam no ambiente alguns compostos que aumentam a resistência das plantas aos insetos e doenças, já o processo de decomposição da matéria orgânica no solo aumenta os grupos de microrganismos, que estruturam o solo, evitam compactação e aumentam a porosidade, a infiltração de água, a água disponível e a profundidade de enraizamento, além da redução da erosão e da necessidade de irrigação. Eles decompõem a matéria orgânica de modo equilibrado, gastando pouca energia e tempo, colaborando na construção do solo vivo e saudável, onde eles transformam a matéria orgânica que sustenta plantas vigorosas e produtivas, como nas matas, provendo alimento a toda a vida na Terra (ANDRADE, 2020).

Os microrganismos que compõem os ME, produzem ácidos orgânicos, hormônios vegetais (giberelinas, auxinas e citocininas), além de vitaminas, antibióticos e polissacarídeos, o que influencia positivamente no crescimento da planta.

Alguns efeitos benéficos que já foram observados a partir da utilização de microrganismos eficientes biossintéticos em outras variedades são: fixação bioquímica de nitrogênio atmosférico, no solo e nas raízes das plantas, correta decomposição de resíduos orgânicos, reciclagem e aumento da disponibilidade de nutrientes para as plantas, produção de antibióticos, produção de polissacarídeos que promovem agregação de partículas do solo, supressão de patógenos de solo, degradação de compostos tóxicos, produção de moléculas orgânicas simples e a solubilização de fontes insolúveis de nutrientes minerais (GOMES, et al. 2021 apud HIGA e PARR, 1994).

Uma vez que os sistemas agroecológicos praticam a produção agrícola com redução de impacto sobre o ecossistema natural, considerando a sua complexidade e os aspectos sociais, assim como pretende potencializar os sistemas produtivos com base na biodiversidade como estratégia de minimização de danos como o

surgimento de pragas e doenças associadas, é importante um manejo eficiente da cobertura vegetal e a ciclagem de nutrientes. Desse modo, os ME, apesar de pouco explorados na agricultura convencional, podem ser importantes ferramentas para uma produção mais sustentável.

### *2.2.1 Fixação Biológica de Nitrogênio*

O solo é um recurso natural essencial para a agricultura e a qualidade de vida na Terra (Santos et al., 2018). Além de servir como base para a produção de alimentos, desempenha funções cruciais no ciclo de nutrientes, na regulação do ciclo da água e na sustentabilidade da produção agrícola (MAPA, 2003). Para alcançar a sustentabilidade na agricultura, é necessário equilibrar os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, garantindo sua qualidade e saúde.

O solo possui microrganismos que são essenciais para seu funcionamento, são atribuídos muitos processos que regem a manutenção e a funcionalidade dos solos, como a degradação de compostos orgânicos, a ciclagem de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio ou auxiliar as plantas em absorver os nutrientes (Andreote; Cardoso, 2016).

Os microrganismos presentes no solo proporcionam diversos benefícios, como a melhoria nutricional das plantas, a redução do uso de fertilizantes, a promoção do crescimento das culturas, respostas positivas ao déficit hídrico, a maximização do equilíbrio ecológico e a preservação ambiental, assegurando a manutenção da qualidade do solo (Fialho et al., 2017; Santos et al., 2020). Esses microrganismos são essenciais para a operação do solo, sendo responsáveis por muitos processos que mantêm sua funcionalidade (Medina et al., 2018). Em diferentes solos, funções semelhantes podem ser realizadas por grupos distintos de organismos, destacando a importância de compreender a composição e o funcionamento metabólico do microbioma do solo, crucial para sustentar os diversos biomas do Brasil (Andreote e Cardoso, 2016).

Os microrganismos do solo incluem uma variedade de bactérias, fungos, arqueas, vírus e líquens, que desempenham várias funções influenciando a nutrição das plantas e a ciclagem de nutrientes. Entre essas funções estão a decomposição da matéria orgânica, a mineralização e imobilização de nutrientes, a formação de agregados no solo, o intemperismo (decomposição de rochas), a produção de húmus, a fixação biológica do nitrogênio ( $N_2$ ) realizada por bactérias, a formação de micorrizas (fungos), a produção de hormônios, a circulação de nutrientes no solo, a solubilização de fosfatos, as transformações nos ciclos biogeoquímicos de nutrientes, o controle de doenças, a biodegradação de compostos tóxicos às plantas e a produção de enzimas catalisadoras, entre outras (Cardoso e Andreote, 2016).

Os microrganismos também podem servir como indicadores sensíveis dos processos relacionados ao manejo do solo, sendo capazes de fornecer respostas rápidas às mudanças na sua qualidade (Mendes et al., 2020). Parâmetros microbiológicos, como atividade enzimática, biomassa microbiana e respiração do solo, são indicadores sensíveis às mudanças ambientais causadas pelo uso agrícola, especialmente em curto prazo (Epelde et al., 2014).

Uma vez atendidas as necessidades nutricionais fundamentais da planta, o nitrogênio (N) torna-se o principal determinante de sua taxa de crescimento. A fixação biológica de nitrogênio tem se mostrado indispensável para a

sustentabilidade da agricultura brasileira, fornecendo nitrogênio às culturas com baixo custo econômico e menor impacto ambiental (Hungria et al., 2007).

O uso de inoculantes com microrganismos eficientes na FBN em condições de campo tem sido uma estratégia importante para aumentar a produtividade do feijão-caupi. No entanto, embora essa cultura tenha grande capacidade de FBN, nem sempre são observadas respostas positivas ao uso de inoculantes em campo, devido ao cultivo em condições de subsistência com baixo aporte tecnológico e baixa especificidade na nodulação (Zilli et al., 2008).

O nitrogênio (N) é um elemento essencial para os organismos vivos, compondo moléculas como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, bases nitrogenadas e clorofila (Moreira; Siqueira, 2006). O  $N_2$  pode ser fixado naturalmente por descargas elétricas na atmosfera e artificialmente através do processo industrial Haber-Bosch (Smil, 1999), no entanto, esse processo demanda grande consumo de energia, com altas temperaturas e pressões para romper a tripla ligação entre as moléculas de N. Em contraste, o processo biológico contribui com a maior parte do nitrogênio fixado no planeta, ocorrendo a pressões e temperaturas ambientes por meio da atividade enzimática, fixando cerca de 150 milhões de toneladas de nitrogênio por ano (Moreira; Siqueira, 2006). Esse processo é realizado por uma pequena parcela de procariotos que possuem a enzima nitrogenase, capaz de reduzir o N atmosférico a amônia, no processo conhecido como fixação biológica do nitrogênio.

A FBN é de grande importância tanto econômica quanto ecológica, em sistemas agrícolas e florestais (Reis; Teixeira, 2005). Os microrganismos responsáveis por essa transformação são conhecidos como diazotróficos e pertencem aos domínios Bactéria e Archaea. Devido à sua vasta diversidade, esses microrganismos são encontrados em diversos habitats. A maioria das espécies vive livremente, ocorrendo em todos os tipos de solo, rizosfera, filosfera, além de águas doces e salgadas (Moreira; Siqueira, 2006).

A FBN desempenha um papel fundamental na sustentabilidade dos ecossistemas, uma vez que o nitrogênio de origem biológica está prontamente disponível para as plantas e é menos suscetível a perdas por lixiviação, volatilização ou desnitrificação.

A família botânica Leguminosae (Fabaceae) é composta por um grande número de espécies de importância econômica e ecológica. É a terceira maior família de plantas com flores, superada apenas pelas Orchidaceae e Asteraceae (Moreira; Siqueira, 2006). Uma característica marcante dessa família é a capacidade de formar simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio, resultando em nódulos nas raízes. A forma dos nódulos é uma propriedade particular de cada planta hospedeira e as diferenças morfológicas dos nódulos sugerem uma possível relação evolutiva diferenciada entre as leguminosas (Corby, 1981). É importante notar que as leguminosas variam entre altamente específicas ou altamente promíscuas, podendo estabelecer simbiose com apenas uma espécie de bactéria ou com uma grande variedade delas (Moreira; Siqueira, 2006). Essas associações com bactérias fixadoras de nitrogênio permitem que as leguminosas contribuam significativamente para a melhoria da qualidade do solo e do crescimento vegetal. Elas apresentam altos teores de nitrogênio em seus tecidos, resultando em um aumento de nutrientes e matéria orgânica no solo onde se desenvolvem (Franco et al., 1995). Por essa razão, são uma das principais famílias vegetais utilizadas na recuperação de áreas degradadas.

Os rizóbios são bactérias que, durante a simbiose, se localizam em estruturas especializadas, os nódulos, formados nas raízes das leguminosas, característica típica dessa interação. O processo de formação de nódulos em leguminosas requer o reconhecimento específico entre rizóbios e a planta hospedeira, envolvendo um complexo mecanismo de sinalização e transdução de sinais moleculares.

O feijão-caupi é nodulado por bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, capazes de reduzir o nitrogênio atmosférico (N<sub>2</sub>) e transferi-lo para a planta na forma de amônia. Este processo, conhecido como Fixação Biológica do Nitrogênio, é uma das formas de aumentar a produtividade das leguminosas, reduzindo ou eliminando os custos com adubos nitrogenados solúveis. Estudos indicam que a obtenção da produção máxima de grãos em leguminosas beneficiadas pela FBN depende do fornecimento adequado deste nutriente para a parte aérea das plantas durante os períodos vegetativo e reprodutivo (OKOGUN et al., 2005; DI CIOCCO et al. 2008; MUSINGUZI et al., 2010 in Andreote; Cardoso, 2016), bem como da eficiência na remobilização do nitrogênio fixado para as vagens. Nessas plantas, a manutenção da fixação do nitrogênio e do transporte do nitrogênio fixado durante o período de formação das vagens pode aumentar a produção de grãos e o teor de nitrogênio nestes.

### **2.3 Irrigação localizada por gotejamento**

A irrigação na agricultura não deve ser apenas vista como um seguro contra secas ou períodos de escassez de chuva, mas sim como uma técnica que permite que o potencial produtivo do material genético seja plenamente expresso no campo (HERNANDEZ, 2004). Devido à sua importância vital para a sobrevivência de todos os seres vivos, é crucial usar água de forma racional.

É essencial que a irrigação seja realizada de maneira eficiente, com um manejo adequado para garantir a eficácia dos sistemas de aplicação. No entanto, muitos produtores não discutem ou avaliam o desempenho dos sistemas de irrigação, mesmo tendo acesso à tecnologia, devido à falta de conhecimento e orientação técnica (SILVA & SILVA, 2005).

De acordo com RIBEIRO et al. (2010), um dos sistemas mais adequados e amplamente adotados é o sistema de irrigação por gotejamento, que oferece benefícios como economia de água e energia, possibilidade de automação e fertirrigação, sendo especialmente vantajoso para culturas frutíferas e olerícolas. Por outro lado, o sistema de irrigação por microaspersão consiste na aplicação direta de água sobre a região explorada pelo sistema radicular da cultura, com pequenas vazões e alta frequência, mantendo assim um teor adequado de umidade no solo (BERNARDO et al., 2008).

Esse método de irrigação requer menor consumo de energia e mão-de-obra para o manejo do sistema, além de necessitar de sistemas de filtragem para funcionar corretamente, podendo apresentar eficiência de uniformidade de aplicação de água entre 85% e 95% (MANTOVANI et al., 2007). O sistema de irrigação por gotejamento é amplamente utilizado para irrigar plantas no nível do solo, como em culturas de linha, pomares e estufas, proporcionando redução do volume de água necessário para irrigação e seus custos. É especialmente valorizado em regiões áridas onde a água é escassa, mas sua adoção é fundamental em todos os lugares, considerando a importância de economizar água como recurso precioso.

### 3 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada entre os meses de outubro de 2023 e janeiro de 2024, no campo experimental do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais (CCAA) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), localizado no município de Lagoa Seca – PB, nas coordenadas de Latitude 7° 09' S, Longitude 35° 52' W e altitude de 634 m. O clima local, segundo a classificação de Köppen, é do tipo As' (tropical úmido), com temperatura média anual de 22 °C, sendo a mínima de 18 e máxima de 33 °C, precipitação pluviométrica de 800 mm e umidade relativa do ar de 80%.

O material vegetal utilizado foi a variável feijão-caupi Paulistinha, que é uma variedade crioula, médio precoce, prostrada e de crescimento indeterminado.

#### 3.1. Delineamento experimental

O experimento foi instalado no delineamento em blocos casualizados. Quatro doses de microrganismo eficiente e uma testemunha com 0 (zero) ml foram avaliadas, totalizando os tratamentos e distribuídos em 4 blocos. A parcela experimental foi constituída por cinco fileiras de 2 m de comprimento e berço espaçado 0,3 m na fileira e espaçamento entre fileiras de 0,70 m. O distanciamento entre as parcelas foi de 0,5 m. A fileira foi considerada a área útil para as avaliações de crescimento e rendimento de grãos.

**Figura 1** – Área Experimental / Plantio das Sementes nos Berços.



#### 3.2. Instalação do Experimento

Inicialmente, foram coletadas amostras de solo, que foram homogeneizadas e secas para formar uma amostra representativa da área. Posteriormente, a amostra resultante foi encaminhada ao Laboratório de Análise Água Solo Planta (LASP) da Universidade Estadual da Paraíba (LAASP), Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, campus II, em Lagoa Seca – PB, para análise das características químicas.

O material originário pertence ao período do Pré-Cambriano (CD), é representado, na sua maioria, por gnaisses e migmatitos. Essas rochas metamórficas são mais disseminadas no estado ocorrendo associadas com micaxistos e granitos. O relevo predominante é suave ondulado. O solo

predominante na área de estudo é o NEOSSOLO REGOLÍTICO EUTRÓFICO. (Araújo, 2014)

**Tabela 1** - Características Químicas do Solo, Lagoa Seca - PB, 2023

<b>Características</b>	<b>Resultados</b>
Cálcio ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ )	3,07
Magnésio ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ )	2,44
Sódio ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ )	0,03
Potássio ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ )	0,16
Soma das Bases	5,71
Hidrogênio ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ )	1,50
Alumínio ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ )	0,13
CTC ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ )	7,74
Carbonato de Cálcio Qualitativo	Ausência
Carbono Orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ )	2,9
Matéria Orgânica ( $\text{g kg}^{-1}$ )	4,93
Nitrogênio ( $\text{g kg}^{-1}$ )	0,29
Fósforo Assimilável ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	54,03
pH em água (1:2,5)	6,55
Condutividade Elétrica ( $\text{mmols cm}^{-1}$ )	0,12
<b>Extrato da Saturação</b>	
pH	6,26
Condutividade Elétrica ( $\text{mmols cm}^{-1}$ )	0,45
Cloreto ( $\text{mmol}_c \text{l}^{-1}$ )	27,5
Carbonato ( $\text{mmol}_c \text{l}^{-1}$ )	0
Bicarbonato ( $\text{mmol}_c \text{l}^{-1}$ )	18
Sulfatos ( $\text{mmol}_c \text{l}^{-1}$ )	Ausência
Cálcio ( $\text{mmol}_c \text{l}^{-1}$ )	7,07
Magnésio ( $\text{mmol}_c \text{l}^{-1}$ )	16,67
Potássio ( $\text{mmol}_c \text{l}^{-1}$ )	4,07
Sódio ( $\text{mmol}_c \text{l}^{-1}$ )	17,3
Porcentagem de Saturação	22,66
Relação de Adsorção de Sódio	1,63
Porcentagem de Sódio Trocável	0,41
Classificação de Salinidade	Não Salino
Classe do Solo	Normal

O sistema de irrigação foi instalado utilizando fitas gotejadoras, compostas por uma linha principal e secundária, com 5 linhas laterais. A aplicação de água foi feita por fita gotejadora com espessura da parede de 0,2 mm, diâmetro interno de 16 mm, com vazão de 2,1 L hora<sup>-1</sup>, pressão de 1 bar, espaçadas a cada 0,20 m entre emissores e 0,70 m entre linhas.

Inicialmente, o solo foi irrigado até atingir a condição de capacidade de campo, ajustada pela curva de retenção de água no solo. Posteriormente, a semeadura foi realizada, colocando três sementes por berço a uma profundidade

padrão de 3 cm. Após cinco dias de emergência, foram realizados desbastes para deixar uma planta por berço.

A irrigação passou a ser feita em turno de rega de três dias com o cálculo da lâmina a ser aplicada, obtida a partir da ETo (evapotranspiração de referência) subtraindo-se a precipitação no período, para isso, os dados de evapotranspiração e precipitação foram coletados a partir da estação meteorológica localizada no Campus II da UEPB, em Lagoa Seca.

As sementes de *Vigna unguiculata* (L.) Walp, variedade Paulistinha, foram adquiridas junto ao banco de sementes do laboratório de ecologia - ECOLAB, localizado no Campus I da UEPB, em Campina Grande

### 3.2.1 *Captura, multiplicação e aplicação dos EM:*

Inicialmente foi feito o preparo para a captura dos microrganismos eficientes, de acordo com a metodologia de Bonfim et al. (2011): cozinhando aproximadamente 700 gramas de arroz sem sal para isca; espalhando o arroz já cozido em bandeja de plástico; cobrindo-as com tela mosquiteiro para proteger; colocando a bandeja com arroz, protegida pela tela, na mata da reserva ambiental do IBAMA; cobrindo a bandeja com a serapilheira. Após 15 dias os microrganismos foram capturados e a isca colonizada por vários microrganismos, que possuíam colônias com coloração rosada, azulada, amarelada e alaranjada, microrganismos eficientes (regeneradores) e colorações cinza, marrom e preto de microrganismos decompositores não úteis e que foram descartados. As colorações no arroz variam de acordo com o tipo de mata onde foram capturados os microrganismos e quanto mais diversificada e estruturada for a mata, mais colorida será a isca.

**Figura 2** – Microrganismos Eficientes (ME), coletados na mata da Reserva do IBAMA – Campus da UEPB em Lagoa Seca.



Após a captura, foram escolhidas as colônias que apresentavam coloração mais clara para a produção do bioinsumo, que foi produzido adicionando um quilo do

material colonizado, diluído em 10 litros de água não clorada e adicionada de 300 gramas de açúcar mascavo, para servir de energia para a multiplicação de microrganismos na solução.

Posteriormente as sementes de feijão-caupi foram divididas em cinco grupos, dos quais, quatro grupos foram submersos em soluções de microrganismos eficientes, a 2,5% (7,5 ml de ME), 5% (15 ml de ME), 7,5% (22,5 ml de ME) e 10% (30 ml de ME) respectivamente, o quinto grupo foi submerso em 300 ml água não clorada para servir como testemunha ao experimento.

### 3.3. Avaliação

Para a análise não destrutiva as variáveis analisadas foram: Altura de Planta (AP) medida em centímetros, do solo até o ápice do vegetal, utilizando uma régua graduada; Diâmetro de Caule (DC) medida em milímetros, utilizando um paquímetro digital, essas variáveis foram coletadas 60 dias após o plantio.

Já para análise destrutiva foram observadas as seguintes variáveis: Número de Nódulos (NN) encontrados nas raízes; Massa Seca dos Nódulos (MSN) que foram condicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa com ventilação forçada a 60°C durante 72 horas, após este tempo, essas amostras foram pesadas em balança eletrônica com quatro casas decimais; Comprimento de Vagem (CdV), medida em centímetros com a utilização de régua graduada; Números de Grãos por Vagem (NGV) e o Peso de 100 Grãos (PCG), que foram aferidos em balança eletrônica com duas casas decimais.

O NN e a MSN foram obtidas com amostras coletadas aos 65 dias após o plantio. Já as variáveis CdV, NGV e PCG foram obtidas a partir da coleta das amostras ao fim do ciclo da cultura.

**Figura 3** – Amostras Seleccionadas para aferição da variável Comprimento de Vagem (CV):



**Figura 4** - Amostras seleccionadas para aferição da variável Peso de Cem Grãos (PCG):



### 3.4. Análise estatística

O experimento foi conduzido em um ensaio disposto em blocos casualizados, onde estudou-se o efeito de cinco diferentes doses de EM (Testemunha= 0%; D1= 2,5%; D2= 5%; D3 = 7,5%; D4= 10%) na inoculação das sementes do feijão-caupi, distribuídos em quatro blocos, o que perfaz um total de vinte parcelas.

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk (SHAPIRO & WILK, 1965) e, quando necessário, transformados para a normalização da distribuição dos desvios. Atendidos os pressupostos de normalidade, os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ) e a seguir, foi utilizada a análise de regressão para determinação do modelo matemático, adotado

a partir dos seguintes critérios em ordem de importância: regressão significativa e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observando-se a Tabela 2, pode-se perceber que o efeito das doses de microrganismos eficientes para as variáveis Altura de Planta (AP), Diâmetro de Caule (DC), Número de Nódulos (NN), Massa Seca de Nódulos (MSN) e Número de Grãos por Vagem (NGV) foi altamente significativa e para a variável Peso de Cem Grãos (PCG) o efeito foi significativo, ocorrendo um aumento para as variáveis analisadas quando da aplicação de doses de microrganismos eficientes.

**Tabela 2** – Análise de Variância para as Variáveis Altura de Planta (AP), Diâmetro de Caule (DC), Número de Nódulos (NN), Massa Seca dos Nódulos (MSN), Comprimento de Vagem (CdV) Números de Grãos por Vagem (NGV) e Peso de 100 Grãos (MCG):

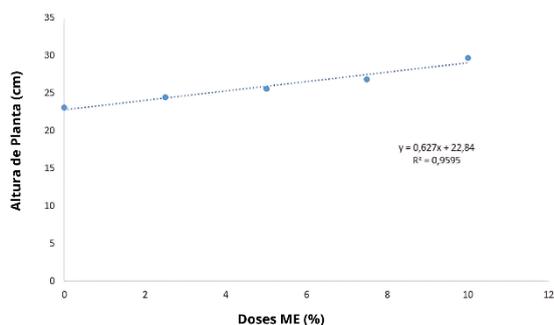
FV	GL	Quadrados Médios						
		AP	DC	NN	MSN	CdV	NGV	PCG
DOSE ME (%)	4	25,6075**	1,3882**	411,175**	0,1904**	7,1166 <sup>ns</sup>	75,925**	8,3167*
BLOCO	3	6,8338 <sup>ns</sup>	0,4753*	68,3333**	0,0023 <sup>ns</sup>	0,1731 <sup>ns</sup>	3,2500 <sup>ns</sup>	0,7333 <sup>ns</sup>
RESIDUO	12	2,0172	0,1266	9,0417	0,0006	0,3040	8,1250	1,8054
	CV (%)	5,47	6,46	13,25	5,34	2,39	14,66	5,53

\*\* Significativo a 1% de probabilidade; \* Significativo a 5% de probabilidade; ns = Não significativo; FV Fonte de Variação; GL Graus de Liberdade.

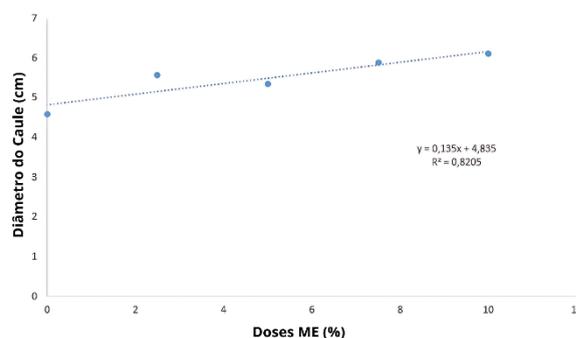
Ao analisar o desdobramento dos tratamentos em seus respectivos fatores (Tabela 2), percebe-se que não há diferença significativa para a variável Comprimento de Vagem (CdV).

Também é possível observar a existência de diferença significativa nas variáveis (DC) e (NN) por efeitos dos blocos, o que é justificável por conta de uma diferença de declividade de aproximadamente 2 metros no terreno onde os blocos foram dispostos, logo, aqueles que ficaram localizados na parte mais baixa do terreno tiveram um aumento no acúmulo de água, proporcionando uma maior umidade do solo, sendo assim um fator passível de influenciar tanto o diâmetro do caule, como a quantidade de nódulos nas raízes.

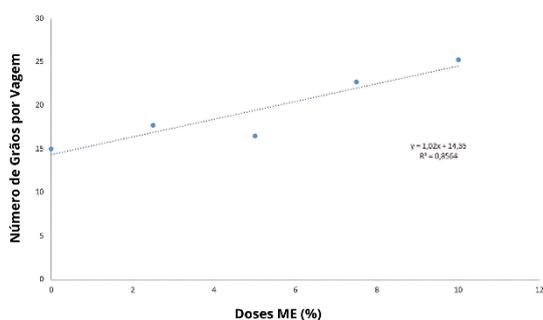
**Figura 5** – Gráfico de Regressão para a Variável Altura de Planta (AP):



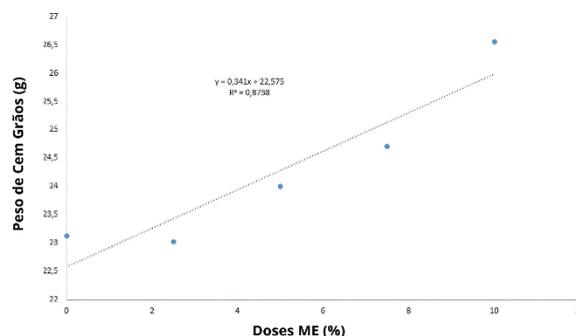
**Figura 6** – Gráfico de Regressão para a Variável Diâmetro de Caule (DC):



**Figura 7** – Gráfico de Regressão para a Variável Número de Grãos por Vagem (NGV):



**Figura 8** – Gráfico de Regressão para a Variável Peso de Cem Grãos (PCG):



Os gráficos apresentados nas figuras de 5 a 8 ilustram a relação linear positiva entre as doses de Microrganismos Eficientes e diferentes parâmetros de crescimento das plantas, demonstrando a influência significativa da dose de ME sobre cada um deles.

No primeiro gráfico, a relação entre as doses de ME e o peso de cem grãos é representada pela equação ( $Y = 0.341x + 22.575$ ) com um coeficiente de determinação  $R^2$  de 0.8738. Para cada aumento de 1% na dose de ME, o peso de cem grãos aumenta em média 0.341 unidades, enquanto o valor de  $R^2$  indica que 87.38% da variação no peso de cem grãos pode ser explicada pelas doses de ME.

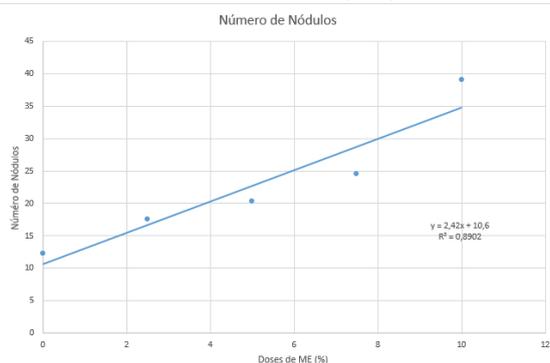
O segundo gráfico mostra a relação entre as doses de ME e a altura das plantas, descrita pela equação ( $Y = 0.627x + 22.84$ ) com um  $R^2$  de 0.9595. Cada aumento de 1% na dose de ME resulta em um aumento médio de 0.627 unidades na altura das plantas, com 95.95% da variação na altura das plantas explicada pelas doses de ME.

No terceiro gráfico, a relação entre as doses de ME e o diâmetro do caule é dada pela equação ( $Y = 0.135x + 4.835$ ) com um  $R^2$  de 0.8205. Para cada aumento de 1% na dose de ME, o diâmetro do caule aumenta em média 0.135 unidades, com 82.05% da variação no diâmetro do caule explicada pelas doses de ME.

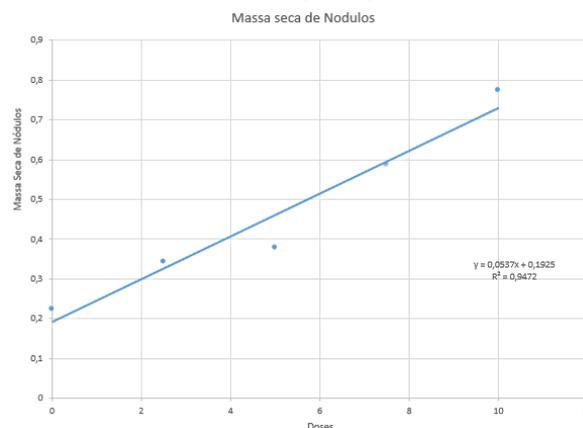
O quarto gráfico apresenta a relação entre as doses de ME e o número de grãos por vagem, com a equação ( $Y = 1.02x + 14.35$ ) e um  $R^2$  de 0.8564. Cada aumento de 1% na dose de ME resulta em um aumento médio de 1.02 unidades no número de grãos por vagem, com 85.64% da variação explicada pelas doses de ME.

Desse modo, a utilização de doses crescentes de ME mostra uma relação positiva e significativa com o peso de cem grãos, a altura das plantas, o diâmetro do caule e o número de grãos por vagem. As altas porcentagens de  $R^2$  em todos os gráficos indicam que a variação nas doses de ME é um bom indicador para estas variáveis de crescimento, sugerindo que a aplicação de ME pode ser uma estratégia eficaz para otimizar a produtividade da cultura.

**Figura 9** – Gráfico de Regressão para a Variável Número de Nódulos (NN):



**Figura 10** – Gráfico de Regressão para a Variável Massa Seca de Nódulos (MSN):



Já gráficos apresentados nas figuras 9 e 10 mostram a relação entre a porcentagem de Doses ME e duas variáveis dependentes: Número de Nódulos e Massa Seca de Nódulos (em gramas).

O Primeiro gráfico ilustra a relação entre a porcentagem de doses ME e o Número de Nódulos. Observa-se um aumento no número de nódulos à medida que as doses aumentam. A equação que descreve essa relação é  $(y = 2,42x + 10,6)$ , com um coeficiente de determinação  $R^2$  de 0,8902. Este valor de  $R^2$  também é elevado, mostrando que o modelo explica 89,02% da variação no número de nódulos.

No segundo gráfico, a Massa Seca de Nódulos aumenta conforme a porcentagem de doses de ME se eleva. A relação entre essas duas variáveis é descrita pela equação  $(y = 0,0537x + 0,1925)$ , com um coeficiente de determinação  $R^2$  de 0,9472. Esse valor de  $R^2$  indica que o modelo quadrático ajusta-se muito bem aos dados, explicando 94,72% da variação observada na massa seca dos nódulos.

Assim, ambos os gráficos demonstram uma clara tendência de aumento tanto na massa seca quanto no número de nódulos com o aumento das doses de ME. A alta precisão dos modelos quadráticos indicados pelos valores de  $R^2$  reflete a forte correlação entre as variáveis. Isso sugere que a aplicação de doses maiores de ME pode ser uma estratégia eficaz para promover o crescimento dos nódulos, tanto em quantidade quanto em massa, podendo ter implicações práticas importantes em contextos agrícolas e biológicos onde a formação de nódulos é desejável.

Uma vez que o número de nódulos (NN) e a massa seca de nódulos (MSN) são indicadores diretos da FBN, pois os nódulos são as estruturas onde ocorre a fixação do nitrogênio atmosférico pelas bactérias simbióticas. A aplicação de ME promoveu um aumento significativo nessas variáveis, sugerindo uma melhora na capacidade de fixação de nitrogênio. Além disso, variáveis como altura das plantas (AP), diâmetro de caule (DC), número de grãos por vagem (NGV) e peso de cem grãos (PCG) apresentaram melhorias substanciais, refletindo o impacto positivo da maior disponibilidade de nitrogênio fixado no desenvolvimento e produtividade da cultura. Esses resultados indicam que o uso de ME não só otimiza a FBN, mas também contribui para um crescimento mais vigoroso e produtivo das plantas, potencializando a eficiência agrônômica e a sustentabilidade da produção do feijão-caupi.

Para variáveis cujas análises de variância apresentaram significância (AP, DC, NN, MSN, CdV, NGV e MCG), foi observado que a maior dose (D4 = 10%, equivalente a 30 ml de ME) apresentou melhor resposta.

## 5 CONCLUSÃO

O estudo realizado demonstrou a eficácia da utilização de microrganismos eficientes na agricultura, especificamente no cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), variedade paulistinha. Através de um delineamento experimental que incluiu a aplicação de diferentes doses de ME, foi possível observar uma correlação positiva significativa entre as doses aplicadas e diversas variáveis de crescimento e produtividade das plantas. Variáveis como o número de nódulos, massa seca de nódulos, altura das plantas, diâmetro do caule, número de grãos por vagem e peso de cem grãos apresentaram melhorias substanciais, indicando que os ME promovem um desenvolvimento mais robusto das plantas, uma vez que foi observado que a maior dose utilizada na pesquisa (D4 = 10%, equivalente a 30 ml de ME) apresentou também melhor resposta.

Os altos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) obtidos nas análises de regressão confirmam que a variação nas doses de ME é um bom indicador para as variáveis de crescimento avaliadas, sugerindo que a sua aplicação pode ser uma estratégia eficaz para otimizar a produção agrícola.

Além dos benefícios diretos na produtividade, a utilização de ME também se alinha com práticas agrícolas sustentáveis, reduzindo a necessidade de fertilizantes e pesticidas sintéticos, contribuindo assim para a redução dos impactos ambientais negativos associados à agricultura intensiva. Os resultados obtidos neste estudo sugerem que a adoção de microrganismos eficientes pode ser uma abordagem viável e benéfica para pequenos e médios agricultores, promovendo não apenas a sustentabilidade ambiental, mas também a viabilidade econômica e a segurança alimentar.

### 5.1 Recomendações

Recomenda-se que futuras pesquisas explorem ainda mais as interações entre diferentes tipos de microrganismos eficientes e outras culturas agrícolas, bem como a longo prazo, para avaliar os impactos cumulativos no solo e no ecossistema agrícola. Estudos adicionais podem também investigar a combinação de ME com outras práticas agrícolas sustentáveis, como a rotação de culturas e o uso de sistemas agroflorestais, para potencializar ainda mais os benefícios observados.

A continuidade dessa linha de pesquisa pode fornecer novas ferramentas e técnicas para a agricultura sustentável, essencial para atender às demandas de uma população global crescente e em busca de alimentos produzidos de maneira responsável e eficiente.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, Fernanda Maria Coutinho de. **Caderno dos microrganismos eficientes (EM) instruções práticas sobre uso ecológico e social do EM**. 2020.

ARAÚJO, Mário Sérgio de et al. **Lâminas de irrigação e doses de nitrogênio no cultivo de girassol**. 2014.

ASSAD, M.L.L.; ALMEIDA, J. **Agricultura e Sustentabilidade: Contexto, Desafios e Cenários**. Ciência & Ambiente. Porto Alegre, v. 29, n. 3, p. 1., 2015.

BASTOS, E. A.; RAMOS, H. M. M.; de ANDRADE JÚNIOR, A. S.; do NASCIMENTO, F. N.; CARDOSO, M. J. **Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico**. Water Resources and Irrigation Management, v. 1, n. 1, p. 31-37, 2012.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. UFV, 2008.

BONFIM, F. P. G.; HONÓRIO, I. C. G.; REIS, I. L.; PEREIRA, A. J.; SOUZA, D. B. **Caderno dos microrganismos eficientes (EM): instruções práticas sobre uso ecológico e social do EM**. Universidade Federal de Viçosa: Departamento de Fitotecnia, 32p, 2011.

CASSETARI, Alice de Sousa e SILVA, Mylenn Calciolari Pinheiro da e CARDOSO, Elke Jurandy Bran Nogueira. **Fixação biológica de nitrogênio simbiótica**. Microbiologia do solo. Tradução . Piracicaba: ESALQ, 2016. p. 221 il.

CARDOSO, M. J.; MELO, F. de B.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. **Densidade de plantas de caupi em regime irrigado**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 32, n. 4, p. 399-405, 1997.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2ª Edição. Piracicaba/SP: ESALQ, 2016.

CORBY, H.D.L. **The systematic value of leguminous root nodules**. In: INTERNATIONAL LEGUME CONFERENCE, 1981, London. Advances in legume systematics: proceedings... London: Royal Botanical Gardens, 1981. pt. 2, p. 657-670.

CRAVO, M. S.; SMYTH, T. J.; SOUZA, B. D. L. **Nível crítico de potássio para o feijão-caupi em latossolo amarelo, textura média no nordeste Paraense**. In: REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 6., 2006, Teresina. Anais... Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. 1 CD-ROM.

DANTAS, J. P.; MARINHO, F. J. L.; FERREIRA, M. M. M.; AMORIM, M. do S.N.; ANDRADE, S. I. de O.; SALES, A. L. de. **Avaliação de genótipos de caupi sob salinidade**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 6, n. 3, p. 425-430, 2002.

EMBRAPA MEIO-NORTE. **Cultivo de feijão-caupi**. Teresina, 2003. (Embrapa Meio-Norte. Sistema de produção, 2).

EPELDE, L. BURGÉS, A.; MIJANGOS, I.; GARBISU, C. **Microbial properties and attributes of ecological relevance for soil quality monitoring during a chemical stabilization field study.** Applied Soil Ecology, v.75, 2014.

FIALHO, J. DE F.; VIEIRA, E. A.; BORGES, A. L. **Cultivo da mandioca para a Região do Cerrado.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 95p, 2017.

FLEXAS, J. et al. **Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions.** Functional Plant Biology, Dordrecht: Kluwer, 2002. p. 461-471.

FRANCO, A.A. et al. **Uso de leguminosas florestais noduladas e micorrizadas como agentes de recuperação e manutenção da vida no solo: um modelo tecnológico.** In: ESTEVES, F. (Ed.). Oecologia brasilienses. Rio de Janeiro: UFRJ, 1995.

GRANGEIRO, T. B.; CASTELLÓN, R. E. R.; ARAÚJO, F. M. M. C. de; SILVA, S. M. de S. e; FREIRE, É. de A.; CAJAZEIRAS, J. B.; ANDRADE NETO, M.; GRANGEIRO, M. B.; CAVADA, B. S. **Composição bioquímica da semente.** In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). Feijão-caupi: avanços tecnológicos. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2005. p. 337-365.

GOMES, João Paulo Andrade et al. **Uso de microrganismos eficientes como alternativa para agricultura sustentável: um referencial teórico.** 2021.

HERNANDEZ, F. B. T. **Manejo da irrigação.** 2004.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro.** Londrina: Embrapa Soja, 2007. 80p. (Embrapa Soja. Documentos, 283).

MANTOVANI, E. C.; BERNADO, S.; PALORETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos.** 2 ed. Viçosa: Ed. UFV, 2007.

MAPA-Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Com colheita avançada, relatório confirma maior safra de soja da história do Paraná.** Agricultura e Abastecimento. 2023.

MEDINA, E., VEGA-ÁVILA, A., PAROLDI, H., TORO, M., BAIGORI, M., & VÁZQUEZ, F. **Bioindicadores da qualidade do solo de mato aberto e vinha.** Revista de ciência do solo e nutrição de plantas, v. 18, n.4, pág.1065-1079, 2018.

MELO, A. S.; da SILVA, A. R. F.; DUTRA, A. F.; DUTRA, W. F.; da SILVA SÁ, F. V.; de MOURA, R. M. **Crescimento e pigmentos cloroplastídicos de genótipos de Feijão vigna sob déficit hídrico**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 12, n. 3, p. 2579, 2018.

MENDES, I.C., CHAER, G.M., SOUSA, D.M.G., REIS JUNIOR, F.B., DANTAS, O.D., OLIVEIRA, M.I.L., LOPES, A.A.C., SOUZA, L.M. **Bioanálise de solo: a mais nova aliada para a sustentabilidade agrícola**. Informações Agrônômicas 8, 1–11, 2020.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Ed. UFLA, 2006.

PEDROSA, K. M., DE LIMA, E. Q., LUCENA, C. M., CARVALHO, T. K. N., RIBEIRO, J. E. S., MARÍN, E. A., ... & LUCENA, R. F. P. **Local Botanical Knowledge about Sideroxylon obtusifolium** (Roem. & Schult.) TD Penn. in Rural Communities in the Semi-Arid Region of Brazil. Ethnobotany Research and Applications, v. 14, p. 463-477, 2015.

REIS, V.M.; TEIXEIRA, K.R.S. **Fixação biológica de nitrogênio-estado da arte**. In: AQUINO, A.M.; ASSIS, R.L. Processos biológicos no sistema soloplanta: ferramentas para uma agricultura sustentável. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2005. p.151-180.

REZENDE, C. C, NASCENTE, A.S, FILIPPI, M.C.C., LANNA, A. C. **Uso de microrganismos multifuncionais na cultura do feijoeiro**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia – Goiânia, 2021

RIBEIRO, P. A. A.; COELHO, R. D.; TEIXEIRA M. B. **Entupimento de tubos gotejadores convencionais com aplicação de Cloreto de potássio (branco e vermelho) via duas qualidades de Água**. Engenharia. Agrícola. Jaboticabal, v.30, n.2, p.279-287, 2010.

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. de. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ed.rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018.

SANTOS, K.L. D.; PANIZZON, J.; CENCI, M. M.; GRABOWSKI, G.; & JAHNO, V. D. **Perdas e desperdícios de alimentos: reflexões sobre o atual cenário brasileiro**. Brazilian Journal of Food Technology, v.23, 2020.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An **Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples)**. Biometrika Trust, v. 52, p. 591-609, 1965.

SILVA, C. A. da; SILVA, C. J. **Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada.** Revista Científica Eletrônica de Agronomia, ano 4, n. 8, 2005.

SMIL, V. **Detonator of the population explosion.** Nature, London, v. 400, p. 415, 1999.

ZILLI, J.É.; XAVIER, G.R.; RUMJANEK, N.G. **BR 3262:** nova estirpe de Bradyrhizobium para a inoculação de feijão-caupi em Roraima. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2008. 7p. (Embrapa Roraima. Comunicado técnico, 10).