

UNIVERSIDADES ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

LARISSA RAMOS DOS SANTOS

**EFEITOS DE *Lithothamnium calcareum* NO CRESCIMENTO E NA NODULAÇÃO
DO FEIJÃO-CAUPI**

São Luís - MA

2025

LARISSA RAMOS DOS SANTOS

**EFEITOS DE *Lithothamnium calcareum* NO CRESCIMENTO E NA NODULAÇÃO
DO FEIJÃO-CAUPI**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Agronomia da
Universidade Estadual do Maranhão como
requisito para obtenção do título de Bacharel
em Agronomia.

Orientador(a): Clebson Santos Cândido

São Luís - MA

2025

LARISSA RAMOS DOS SANTOS

**EFEITOS DE *Lithothamnium calcareum* NO CRESCIMENTO E NA NODULAÇÃO
DO FEIJÃO-CAUPI**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Agronomia da
Universidade Estadual do Maranhão como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Agronomia.

Data da aprovação: 19 / 12 / 2025

Banca Examinadora:

Clebson Santos Cândido
Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia
Universidade Estadual do Maranhão

Katia Pereira Coelho
Doutora em Microbiologia Agrícola
Universidade Estadual do Maranhão

Josiane Marlle Guiscem
Doutora em Agronomia
Universidade Estadual do Maranhão

Santos, Larissa Ramos dos

Efeitos de *Lithothamnium calcareum* no crescimento e na nodulação do feijão-caupi. / Larissa Ramos dos Santos. – São Luís, MA, 2025.

50 fl.

TCC (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual do Maranhão, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Clebson Santos Cândido

1.Bioclástico marinho. 2.Nutrição vegetal. 3.*Vigna unguiculata*.
I.Título.

Aos meus pais, Maria dos Reis Ramos dos Santos e Benedito Pereira dos Santos, que foram minha base e meus maiores incentivadores. Cada conquista minha nasce do esforço, dos conselhos, das renúncias e do carinho de vocês.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, que me sustentou quando minhas forças faltaram, acalmou meu coração nas incertezas e iluminou caminhos que eu nem sabia como seguir. Foi Ele quem colocou em minha vida pessoas maravilhosas, que fizeram esta jornada mais leve e possível.

Aos meus pais Maria dos Reis e Benedito Pereira, pelo amor incondicional, pelo apoio incansável e por sempre acreditarem no meu potencial. Cada passo dado até aqui só foi possível graças ao incentivo e à dedicação de vocês.

À minha amada, minha companheira de todas às horas, Érica Louzeiro, por estar ao meu lado estudando junto, compartilhando ideias e apoiando meus sonhos. Hoje compreendo que amar é uma escolha feita diariamente e eu a escolheria em quantas vidas fossem necessárias.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Clebson Santos Cândido, pela orientação atenta e cuidadosa ao longo de todo o desenvolvimento desta pesquisa. Sua dedicação, competência e compromisso acadêmico são uma inspiração para mim.

Aos meus orientadores de iniciação científica, extensão e monitoria: Dra. Gislane Lopes, Dra. Kátia Coelho, Dr. José Ribamar Gusmão e Dr. Paulo Catunda pela orientação competente, pela confiança depositada em meu trabalho. Sou profundamente grata pelas oportunidades proporcionadas que de muitas formas contribuíram para minha formação acadêmica, científica e pessoal.

Ao meu professor do Instituto Federal do Maranhão, Dr. Weverson Almagro (*in memory*) pelos ensinamentos transmitidos com compromisso, por sempre me incentivar a construir uma carreira na agronomia, por sempre ter uma palavra de apoio, carinho e um abraço paterno.

Aos meus amigos Samira Santos, Regiane Ribeiro, Amália Veras, Valdrickson Garreto, Aldenice Oliveira e Emanuel Veras, mesmo de longe cada um de vocês foi indispensável nesta caminhada, deixando marcas de amizade, força e afeto que quero para toda a vida.

Aos meus amigos Valquíria Barros e João Henrique, que me abraçaram logo no início da graduação e fizeram desse começo um lugar de conforto, apoio e verdadeira amizade.

Às minhas queridas amigas Rosilene, Ivanete e Janaina, que me acolheram nos dias difíceis, vibraram comigo nos dias bons e nunca deixaram faltar apoio, carinho e incentivo ao longo de toda a jornada.

A Ellen Cristina, minha amiga de riso fácil e opinião sempre sincera, cuja generosidade e apoio constante foram essenciais para a realização deste trabalho.

À minha prima Ana Cristina, que nunca mediu esforços para me ajudar, que nos dias mais difíceis esteve presente amparando a mim e à minha mãe.

À minha querida Baleia, minha companheira fiel, assim como a Baleia de *Vidas Secas*, você é símbolo de esperança, força, lealdade e alegria mesmo nos pequenos momentos.

Aos companheiros Hellen Araújo, Neto, Régilla Reis, Jéssica Pires, Sebastião Júnior e Luís Fernando por toda ajuda ao longo das análises desse experimento.

A empresa Oceana Minerais, que acreditou no potencial desta pesquisa e gentilmente realizou a doação dos materiais necessários para a execução do experimento. Esse gesto foi muito mais que um apoio técnico, foi um voto de confiança que tornou possível transformar este trabalho em realidade.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

"Se você quiser alguém em quem confiar, confie em si mesmo. Quem acredita sempre alcança."

Renato Russo

RESUMO

A adoção de práticas agrícolas sustentáveis tem estimulado o uso de bioinsumos capazes de melhorar a fertilidade e o equilíbrio biológico do solo. O *Lithothamnium calcareum*, alga calcária marinha, destaca-se por seu potencial na correção da acidez do solo e no favorecimento de processos biológicos essenciais, como a nodulação e a fixação biológica de nitrogênio em leguminosas. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes doses de *Lithothamnium calcareum*, associadas ou não à adubação mineral (NPK), sobre o desempenho agrônômico do feijão-caupi. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na UEMA, entre agosto e novembro de 2025, utilizando feijão-caupi cultivado em vasos com solo previamente caracterizado. Adotou-se delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial, com quatro doses de *Lithothamnium calcareum* e dois níveis de adubação mineral (com e sem NPK). Avaliaram-se parâmetros biométricos, biomassa, nodulação, eficiência fotoquímica do Fotossistema II e índice relativo de clorofila. Os dados foram submetidos à análise estatística ao nível de 5% de significância. Os tratamentos resultaram da combinação de quatro doses de *Lithothamnium calcareum* (0, 266, 533 e 1.067 kg/ha), com dois níveis de adubação mineral convencional (com e sem NPK), aplicados nas doses de 156 kg/ha de superfosfato triplo, 24 kg/ha de ureia e 52 kg/ha de cloreto de potássio, sendo convertidas em g/vaso. A dose de 534 kg ha⁻¹ associada ao NPK (T7) destacou-se para número de folhas, área foliar, diâmetro do caule e biomassa da parte aérea, indicando maior vigor vegetativo. Em termos gerais, os resultados mais expressivos foram obtidos com as doses intermediárias de 534 kg ha⁻¹ sem NPK e a dose de 266 kg ha⁻¹ + NPK sendo superiores para comprimento radicular, nodulação, massa radicular e índice relativo de clorofila, refletindo melhor equilíbrio fisiológico. Doses elevadas (1.067 kg ha⁻¹), sobretudo associadas ao NPK, causaram desequilíbrios morfofisiológicos, reduzindo o crescimento radicular e a nodulação, sendo, portanto, menos recomendadas. Esses resultados indicam que o *Lithothamnium* atua como um bioinsumo eficaz no desenvolvimento do feijão-caupi, o que evidencia a importância de manejar adequadamente sua aplicação para otimizar o desempenho fisiológico e morfológico das plantas.

Palavras-chave: bioclástico marinho; nutrição vegetal; *Vigna unguiculata*.

ABSTRACT

The adoption of sustainable agricultural practices has stimulated the use of bio-inputs capable of improving soil fertility and biological balance. *Lithothamnium calcareum*, a marine calcareous algae, stands out for its potential in correcting soil acidity and promoting essential biological processes, such as nodulation and biological nitrogen fixation in legumes. In this context, the present work aimed to evaluate the effects of different doses of *Lithothamnium calcareum*, associated or not with mineral fertilization (NPK), on the agronomic performance of cowpea. The experiment was conducted in a greenhouse at UEMA, between August and November 2025, using cowpea grown in pots with previously characterized soil. A completely randomized design was adopted, in a factorial scheme, with four doses of *Lithothamnium calcareum* and two levels of mineral fertilization (with and without NPK). Biometric parameters, biomass, nodulation, photochemical efficiency of Photosystem II, and relative chlorophyll index were evaluated. Data were subjected to statistical analysis at a 5% significance level. The treatments resulted from the combination of four doses of *Lithothamnium calcareum* (0, 266, 533, and 1067 kg/ha) with two levels of conventional mineral fertilization (with and without NPK), applied at doses of 156 kg/ha of triple superphosphate, 24 kg/ha of urea, and 52 kg/ha of potassium chloride, converted to g/pot. The dose of 534 kg ha⁻¹ associated with NPK (T7) stood out for number of leaves, leaf area, stem diameter, and shoot biomass, indicating greater vegetative vigor. In general terms, the most significant results were obtained with the intermediate doses of 534 kg ha⁻¹ without NPK and the dose of 266 kg ha⁻¹ + NPK, which were superior for root length, nodulation, root mass, and relative chlorophyll index, reflecting better physiological balance. High doses (1,067 kg ha⁻¹), especially those associated with NPK, caused morphophysiological imbalances, reducing root growth and nodulation, and are therefore less recommended. These results indicate that *Lithothamnium* acts as an effective bio-input in the development of cowpea, highlighting the importance of properly managing its application to optimize the physiological and morphological performance of the plants.

Keywords: marine bioclastic; plant nutrition; *Vigna unguiculata*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1-** Número de folhas por planta de feijão-caupi em função dos diferentes tratamentos com doses de *Lithothamnium calcareum* associadas ou não à adubação mineral sintética em vasos. 28
- Figura 2-** Área foliar de planta de feijão-caupi em função dos diferentes tratamentos com doses de *Lithothamnium calcareum* associadas ou não à adubação mineral sintética em vasos. 29
- Figura 3-** Diâmetro do caule (mm) de plantas de feijão-caupi submetidas aos diferentes tratamentos com doses de *Lithothamnium calcareum* e presença/ausência de adubação mineral sintético em vasos..... 30
- Figura 4-** Altura de plantas de feijão-caupi submetidas a diferentes doses de *Lithothamnium calcareum*, com ou sem adubação NPK em vasos. 30
- Figura 5-** Comprimento radicular (cm) de plantas de feijão-caupi submetidas aos diferentes tratamentos com doses de *Lithothamnium calcareum* e presença/ausência de adubação mineral sintético em vasos..... 31
- Figura 6-** Número de nódulos nas raízes de plantas de feijão-caupi submetidas aos diferentes tratamentos com doses de *Lithothamnium calcareum* na presença e ausência de adubação mineral sintética em vasos..... 32
- Figura 7-** (A) Nódulos formados no sistema radicular do feijão-caupi; (B) nódulo seccionado mostrando coloração avermelhada típica de atividade da leghemoglobina..... 33
- Figura 8-** Massa radicular fresca (MRF) e massa radicular seca (MRS) de plantas de feijão-caupi submetidas a diferentes doses de *Lithothamnium calcareum*, com e sem adubação NPK em vasos 34
- Figura 9-** Massa da parte aérea fresca (MPAF) e massa da parte aérea seca (MPAS) de plantas de feijão-caupi submetidas a diferentes doses de *Lithothamnium calcareum*, com e sem adubação NPK em vasos 35
- Figura 10-** Plantas de feijão-caupi sobre diferentes doses de *Lithothamnium calcareum*, associadas a adubação mineral sintética. 37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral	14
2.2 Objetivos específicos	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 Feijão-caupi	14
3.2 Propriedades e aplicações de <i>Lithothamnium</i>	16
3.3 Fertilidade do solo e sustentabilidade agrícola.....	19
3.4 Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) e a formação de nódulos.....	20
3.5 Eficiência fotoquímica e Índice Relativo de Clorofila.....	23
4 MATERIAL E MÉTODOS	24
4.1 Local e condições do experimento	24
4.4 Variáveis avaliadas	26
4.5 Eficiência fotoquímica e Índice Relativo de Clorofila (IRC).....	27
4.6 Análise estatística	27
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
6.1 Parâmetros biométricos da parte aérea	28
6.2 Desenvolvimento radicular e número de nódulos	31
6.3 Acúmulo de biomassa da parte aérea e radicular	33
6.4 Eficiência fotoquímica e índice IRC	35
7. CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem-se intensificado a busca por práticas agrícolas mais sustentáveis, com foco na redução da dependência de insumos químicos e na promoção da saúde e funcionalidade do solo (Gomes, 2024). A crescente preocupação com os impactos ambientais da agricultura convencional tem impulsionado a adoção de alternativas naturais que favoreçam a eficiência do uso de nutrientes e o equilíbrio biológico do ambiente edáfico (Quiroga et al., 2015). Entre essas alternativas, destaca-se o uso de algas calcárias do gênero *Lithothamnium*, reconhecidas por sua capacidade de atuar de forma imediata na correção da acidez do solo, podendo ser utilizado em misturas com os fertilizantes (Reis et al., 2020).

Essas algas marinhas, pertencentes à família Corallinaceae, acumulam em suas estruturas celulares compostos como carbonato de cálcio e magnésio, sob a forma de cristais de calcita (Cardoso, 2021) atuando em funções fisiológicas fundamentais, exercendo papel decisivo no crescimento, na manutenção do metabolismo e no adequado desenvolvimento vegetativo das plantas. É classificado como bioinsumo devido à sua origem biológica e às diversas funções desempenhadas no solo agrícola, o *Lithothamnium calcareum* apresenta propriedades físico-químicas que beneficiam o ambiente edáfico, como a elevada porosidade, a qual favorece a aeração e a retenção de umidade. Adicionalmente, sua composição orgânica, rica em aminoácidos, açúcares e carbono orgânico, contribui para a atividade microbiológica do solo, promovendo a mineralização e a maior disponibilidade de nutrientes (Macedo; Cabucci, 2024).

O cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) é uma leguminosa de alta importância socioeconômica no Brasil, com facilidade de apresentar nodulação em suas raízes, no entanto a acidez do solo e a deficiência de nutrientes como cálcio e magnésio são fatores limitantes ao crescimento, à fixação biológica de nitrogênio (FBN) e à produtividade (Moureira, 2025; Guimarães Junior et al., 2013). Nesse contexto a integração desse granulado bioclástico marinho com fertilizantes minerais é uma alternativa promissora, reduzindo perdas por lixiviação e fixação no solo (Caletti, 2017), além de melhorar a fixação biológica de nitrogênio em leguminosas, pois solos com pH mais equilibrado, tem maior atividade microbiana e menor toxicidade por alumínio criando-se condições ideais para a nodulação e para a simbiose com bactérias fixadoras, o que pode resultar em maior acúmulo de nitrogênio na parte aérea (Rufini et al., 2011).

Embora esse bioinsumo venha ganhando destaque por melhorar a fertilidade do solo e favorecer processos biogeoquímicos, ainda existem importantes lacunas científicas sobre sua atuação em sistemas agrícolas (Barbosa, 2024). Faltam estudos que avaliem, de maneira integrada, diferentes doses e sua interação com a mistura de fertilizantes simples (N, P e K), o que dificulta compreender possíveis efeitos sinérgicos ou até mesmo limitações no crescimento das plantas. Além disso, as respostas agronômicas podem variar conforme a dose aplicada, tornando essencial identificar níveis adequados de uso e seus impactos sobre a nodulação e o desenvolvimento da cultura. Diante desse cenário, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes doses de *Lithothamnium calcareum*, com e sem fertilização mineral (NPK), sobre o desempenho agronômico do feijão-caupi.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar os efeitos de diferentes doses de *Lithothamnium calcareum*, com e sem fertilização a base de NPK, sobre o desempenho agronômico do feijão-caupi.

2.2 Objetivos específicos

Avaliar os efeitos de diferentes doses de *Lithothamnium calcareum*, associadas ou não à adubação mineral NPK, sobre os parâmetros biométricos da parte aérea do feijão-caupi.

Avaliar a influência de *Lithothamnium calcareum* no desenvolvimento radicular e na nodulação do feijão-caupi, na presença e ausência de adubação mineral sintética.

Avaliar o efeito de diferentes doses de *Lithothamnium calcareum* sobre o acúmulo de biomassa e a eficiência fotoquímica do feijão-caupi.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Feijão-caupi

A cultura do feijão-caupi tem origem no continente africano, sendo trazida e introduzida no Brasil durante a colonização portuguesa no século XVI, primeiramente no estado da Bahia, e assim se espalhando por todo o país (Freire Filho, 1988). A espécie apresenta reprodução predominantemente autógama, com ocorrência de cleistogamia, e está classificada taxonomicamente na ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolineae, gênero *Vigna*, subgênero *Vigna*, seção *Catjang*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (Freire Filho, 2011). É uma planta que possui bom

desenvolvimento em condições de temperaturas altas, solos arenosos, de boa drenagem e com textura média.

É uma planta herbácea, suas folhas são trifoliadas, ou seja, compostas por três folíolos, com uma textura suavemente pubescente (Rauber, 2025). A inflorescência é axilar, apresentando um pedúnculo terminal no qual as flores se encontram organizadas em pares alternados, reproduzindo-se predominantemente por autofertilização (Vale et al., 2017). Suas flores são perfeitas, pediceladas, encontram-se distribuídas aos pares no racemo, com cálice pentâmero, persistente, possuindo coloração do verde ao totalmente roxo (Medeiros, 2018) e seus frutos são do tipo vagem, sendo uma leguminosa anual (Pinho; Cunha, 2019).

O feijão-caupi, também conhecido como feijão-de-corda ou feijão-macassar, é uma cultura estratégica para a segurança alimentar das famílias das regiões Norte e Nordeste do Brasil (Rocha et al., 2017). Apesar de ser reconhecido por sua maior tolerância ao déficit hídrico quando comparado a outras leguminosas, sua produtividade nessas regiões ainda é limitada (Silva, 2024). De acordo com Matos Filho et al. (2009), a baixa produtividade dessa região está relacionada a fatores como irregularidade das chuvas, déficits nutricionais e solos muito arenosos.

A produção de feijão-caupi no Brasil ocorre majoritariamente em primeira e segunda safras nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste (Debiasi et al., 2025). No Maranhão, a área total cultivada é de aproximadamente 47,8 mil hectares, com produção de 28,9 mil toneladas, e com produtividade de 604 kg ha⁻¹ (Conab, 2025). Sendo considerada uma cultura atrativa para o agronegócio na região, entretanto, a sua produtividade sempre esteve abaixo da média nacional em boa parte dos municípios, em que predominam sistemas produtivos de caráter tradicional, que ainda vivem sem a aplicação de insumos agrícolas e com baixo nível tecnológico (Gomes, 2022).

Essa leguminosa é um produto de grande relevância social e responsável pela geração de empregos e oportunidades econômicas, sustentando uma cadeia produtiva que vai do pequeno produtor e grandes empresas agrícolas, envolvendo diversos participantes do segmento de processamento, do atacado e do varejo, até alcançar o consumidor, nas cidades pequenas, médias e nos grandes centros urbanos (Freire Filho; Costa, 2020). Além disso, pelo grande número de países que o consomem, pela sua excelente qualidade nutricional e pela escassez de alimentos no mundo, evidencia-se que o feijão-caupi tem excelente perspectiva no mercado internacional (Ferreira, 2014). Além dos fatores alimentícios, a cultura tem seu apelo

agronômico, principalmente pelo seu ciclo fenológico considerado mais curto, o que possibilita ao produtor adequar melhor o seu plantio dentro de uma janela menor, sem ter que renunciar à produção de outros grãos ainda no mesmo ano-safra (Conab, 2024).

A disponibilidade de água é um fator relevante a ser considerado quando se pretendem ganhos na produtividade do feijão-caupi o que pode ser obtido com um manejo adequado que proporcione a maximização da eficiência do uso da água (Locatelli et al., 2014). Além disso a escolha da cultivar adequada para cada ambiente e sistema de produção é fundamental para assegurar elevados níveis de rendimento (Oliveira et al., 2025). A cultivar manteiguinha tem destaque devido principalmente por apresenta floração em até 45 dias, sendo considerada de ciclo precoce, entre 70 a 75 dias, permitindo colheitas mais rápidas (Machado et al., 2008; Souza, 2016). Seus grãos são de cor creme-amarela, muito uniforme e que praticamente não se altera com o envelhecimento do grão, e apesar de ter pouca expressão comercial nos outros estados do Brasil, em relação aos demais tipos, apresentam boa perspectiva de mercado (Rocha et al., 2017).

É considerada uma leguminosa adaptável às condições edafoclimáticas adversas, com destaque para sua capacidade de realizar a fixação biológica de nitrogênio (FBN), reduzindo a dependência de fertilizantes nitrogenados (Bento, 2025). Entretanto, a acidez do solo, a presença de alumínio tóxico e a deficiência de nutrientes como fósforo, cálcio e magnésio podem comprometer o crescimento radicular, a nodulação e, conseqüentemente, a produtividade da cultura (Miguel et al., 2010). Assim, o manejo adequado da fertilidade e do pH do solo é fundamental para o sucesso do cultivo, especialmente em sistemas que buscam aproveitar o potencial da FBN como fonte sustentável de nitrogênio.

3.2 Propriedades e aplicações de *Lithothamnium*

O gênero *Lithothamnium* surgiu no período Jurássico, há cerca de anos, na era mesozóica. Conhecido pela nomeclatura Maerl é uma das espécies provenientes do filo das Rhodophytas, pertencente à família corallinacea e ordem Corallinales (Soares, 2009). As algas litotâmnicas são compostas principalmente por carbonato de cálcio e magnésio (Rocha, 2018), contendo mais de 70 nutrientes e 16 aminoácidos na fração orgânica, o que as caracteriza como fertilizantes bioestimulantes capazes de auxiliar na síntese de clorofila, na polinização, na regulação estomática, no enfrentamento de estresses bióticos e abióticos, na germinação, na tolerância à salinidade e no desenvolvimento radicular (Melo, 2022).

A deposição de algas calcárias no fundo oceânico pode desencadear um processo de transformação da matéria orgânica semelhante ao observado no solo, no qual a fração orgânica das algas é convertida em substâncias húmicas com propriedades bioativas (Amatucci et al., 2020). Essas algas podem desenvolver-se a partir de fragmentos de crostas provenientes da ruptura de outras algas calcárias, originando ramificações (talos) que se desprendem e continuam seu crescimento de forma livre, sem fixação (Dias, 2000). O acúmulo desses talos forma depósitos sedimentares que frequentemente incorporam elementos abióticos, como areia litoclástica, despertando interesse tanto de geólogos, pela composição e processos de formação, quanto de biólogos, pela dinâmica ecológica envolvida (Ciarlini, 2021). Sua extração pode ser realizada de forma manual, por meio de redes de pesca, por mergulhadores ou colhidas de forma mecânica pela sucção da alga acumulada em “ilhas de areia biodentrítica” (Carlos et al., 2011).

Esse granulado bioclástico está presente ao longo da plataforma continental brasileira, desde o Pará até o Rio Grande do Sul, com maior predominância nas regiões Norte, Nordeste e Leste (Cavalcanti, 2011). Os depósitos comerciais de algas calcárias ao longo do litoral dos estados do Maranhão, Bahia e Espírito Santo são explorados pelas empresas licenciadas Oceana Minerals, PrimaSea e Supramar, respectivamente (Ramos et al., 2023). Na costa do Maranhão, os depósitos de algas calcárias estão localizados na cidade de Tutóia, uma jazida concessionada à Oceana Brasil constitui um ambiente singular em escala mundial, abrangendo uma área de 11.000 hectares, a profundidades que variam de 18 a 30 metros (Araújo et al., 2020). A região, caracterizada por fortes correntes marítimas e elevada incidência solar, proporciona às algas condições ideais de luminosidade, fotossíntese, circulação de água e salinidade, resultando em biomassa mais pura, reativa e nutritiva formado por areias finas litoclásticas e areias litobioclásticas nos litorais (Dias, 2011).

Diferente dos corretivos convencionais, o *Lithothamnium* apresenta ação mais rápida na neutralização da acidez do solo, além de possuir compostos orgânicos bioativos: como açúcares, aminoácidos e compostos fenólicos, que estimulam a microbiota edáfica e favorecem a mineralização da matéria orgânica (Macedo; Cabucci, 2024). Esses efeitos são particularmente benéficos para culturas dependentes de FBN, como o feijão-caupi, ao criarem um ambiente propício à atividade de rizóbios (Ferreira, 2014).

O uso de *Lithothamnium* é uma importante alternativa para melhorar as condições bioquímicas do solo e proporcionar melhor desenvolvimento das plantas nos estágios iniciais (Nascente et al., 2024). De acordo com Bernardes (2012), devido à sua elevada superfície

específica e capacidade de retenção de cargas, as algas calcárias podem potencializar a eficiência dos fertilizantes ao manter os nutrientes por mais tempo no solo. Além disso, estudos comprovam que a aplicação de *Lithothamnium* no solo apresentaram menores incidência de doenças, segundo Faria et al. (2022) estudando formulado a base de alecrim + *Lithothamnium* sp. observou um efeito de indução de fitoalexina faseolina em hipocótilos de feijão, mostrando-se grande potencial para o controle alternativo de doenças em plantas, por sua atividade direta sobre o fitopatógeno e pela indução de resistência.

Por apresentarem estrutura porosa, sua aplicação pode favorecer a melhoria da estrutura do solo, refletindo em uma melhor aeração e retenção de água (Freitas, 2016). Além dos efeitos sobre as propriedades físicas, a utilização desse bioinsumo também contribui para o incremento da biodiversidade microbiana do solo, fator determinante para a sustentabilidade e a saúde dos sistemas agrícolas a longo prazo (Sá, 2022). A aplicação de *Lithothamnium* favorece a proliferação de organismos benéficos, como bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos micorrízicos, promovendo a melhoria da qualidade biológica do solo (Santos, 2019). Esses avanços são particularmente relevantes para culturas exigentes em condições edáficas, como o feijão-caupi.

Alves (2023) investigando o potencial vegetativo da cana-de-açúcar em resposta a fixação biológica de nitrogênio com *Azospirillum brasilense* associado ao uso de *Lithothamnium* obteve médias absolutas de maiores alturas de plantas com o uso dos tratamentos a base de *Azospirillum* associado ao fertilizante a base de alga e o adubo nitrogenado. Esses resultados podem ser atribuídos a associação da bactéria em consonância à aplicação de N. Em termos de sustentabilidade, o uso de *Lithothamnium* contribui para a redução da dependência de insumos químicos, favorecendo práticas agrícolas mais ecológicas.

O *Lithothamnium* reduz o uso de produtos sintéticos à base de cálcio e magnésio, contribuindo para melhorias na qualidade pós-colheita (Negreiros et al., 2023). Sua aplicação também reduz a necessidade de calagem mineral e de fertilizantes sintéticos, diminuindo os impactos ambientais associados à produção e ao uso desses insumos (Laurentino, 2021). Isso promove a conservação dos recursos naturais e a melhoria da qualidade do solo, tornando o cultivo agrícola mais sustentável a longo prazo.

3.3 Fertilidade do solo e sustentabilidade agrícola

A fertilidade do solo é um dos pilares fundamentais para o sucesso agrícola, e a utilização de insumos naturais tem sido vista como uma estratégia importante para garantir a sustentabilidade na agricultura (Resende et al., 2016). A correção e a adubação influenciam diretamente os componentes químicos e biológicos da fertilidade do solo, mas seu componente físico é especialmente condicionado por práticas mecânicas de manejo, constituindo diferentes sistemas agropecuários (Guarçoni et al., 2019).

No caso do feijão-caupi, o fósforo é essencial para o estabelecimento da simbiose com rizóbios e formação de nódulos, sendo frequentemente o nutriente mais limitante em solos tropicais (Mesquita, 2022). No feijão-caupi, o potássio é um dos nutrientes mais extraídos pelas plantas e exportados em maiores quantidades, por isso, na maioria dos solos onde é explorado comercialmente, são encontrados teores baixos desse nutriente (Oliveira et al., 2019). O potássio atua na regulação osmótica, fotossíntese e translocação de açúcares, enquanto o nitrogênio suplementar pode ser necessário para sustentar o crescimento inicial, especialmente antes do início da FBN (Pereira Neto, 2019). A associação de fertilizantes minerais com condicionadores orgânicos, como *Lithothamnium*, tem mostrado resultados promissores na melhoria da eficiência de uso dos nutrientes (Zonta, 2022). Essa complexidade aumenta quando se consideram práticas sustentáveis, como o uso de insumos biológicos e condicionadores orgânicos, que podem alterar a ciclagem de nutrientes e, em certos casos, melhorar a eficiência de absorção ao modificar propriedades químicas e biológicas do solo, contribuindo para a redução das perdas por lixiviação, maior disponibilidade de Ca e Mg (Cassol et al., 2012; Lima, 2019). Para Batista et al. (2018 p. 2):

Os nutrientes aplicados no solo apresentam comportamentos diversos, e o conhecimento das especificidades de cada um possibilita a previsão desses comportamentos em cada cenário de manejo. Os nutrientes que se encontram no solo podem seguir diversas rotas, tais como: serem perdidos por erosão, lixiviação, volatilização, fixação nas argilas do solo, imobilização e absorvidos pelas plantas, desempenhando, nesse caso, seu principal papel. Associado a isso, a exportação dos nutrientes absorvidos pelas culturas juntamente com o produto para fora das áreas de cultivo contribuem para aumentar a complexidade às suas dinâmicas.

Os fertilizantes químicos desempenham papel fundamental na elevação imediata da produtividade agrícola, especialmente em sistemas intensivos onde a demanda nutricional das plantas é elevada (Silva, 2024). No entanto, o uso contínuo e desbalanceado desses insumos

pode levar ao desequilíbrio nutricional do solo, favorecer processos de acidificação, reduzir a eficiência de absorção pelas plantas ao longo do tempo e degradação da qualidade da água (Joaquim, 2024; Costa, 2020).

Em solos tropicais, onde a lixiviação é intensa, parte significativa dos nutrientes aplicados pode ser perdida, diminuindo a eficiência agrônômica dos fertilizantes químicos e aumentando os custos de produção (Di Gregório, 2022). Além disso, a produção e transporte de fertilizantes minerais apresentam elevada pegada energética e ambiental, incorporando emissões de dióxido de carbono (Strada, 2023) e contribuindo para processos como, eutrofização o que reforça a necessidade de integrar práticas mais sustentáveis.

O uso contínuo e exclusivo de insumos químicos, sem a adoção de práticas que favoreçam a vida do solo, pode prejudicar sua qualidade. Nessas condições, a ausência de aportes orgânicos e de estímulo à biota edáfica tende a afetar negativamente os atributos físicos e biológicos do solo (Novak et al., 2021). A redução da biodiversidade edáfica afeta diretamente a ciclagem de nutrientes, a estabilidade da estrutura do solo e a capacidade de retenção de água, fatores essenciais para a fertilidade a longo prazo (Melo et al., 2024).

Diante desse cenário, a utilização de insumos biológicos aliados aos insumos químicos industrializados, em reduzidas quantidades, tem sido cada vez mais frequente (Melo, 2009). Desse modo a adubação com nitrogênio, fósforo e potássio (NPK), continua sendo uma das práticas mais difundidas. Segundo Veloso (2015) a aplicação racional do NPK em conjunto com fontes naturais pode representar uma estratégia para minimizar impactos ambientais associados ao uso excessivo de fertilizantes químicos, contribuindo para a sustentabilidade do sistema agrícola. No entanto essa aplicação exige o ajuste das doses para equilibrar o fornecimento e a remoção desses elementos durante o ciclo, evitando deficiências nutricionais e perdas econômicas, pois aplicações excessivas reduzem a eficiência de uso, elevam os custos, provocam impactos ambientais e, em alguns casos, podem até causar toxidez às plantas (Reetz, 2017).

3.4 Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) e a formação de nódulos

O nitrogênio (N) é um elemento essencial para o crescimento vegetativo das plantas, pois compõe moléculas fundamentais, como a clorofila, e está diretamente relacionado ao processo fotossintético (Moreira, 2025). Segundo Boschiero (2019) a deficiência de nitrogênio apresenta ramificação reduzida, crescimento atrofiado e inibição da expansão da folha, constituindo respostas fisiológicas centrais, que estão ligadas a citocinina produzida nas

raízes em resposta ao NO_3^- . Além disso, a escassez de nitrogênio provoca clorose e amarelecimento das folhas, especialmente das mais velhas, devido ao caráter móvel do nutriente na planta (Almeida, 2018).

Na litosfera, o nitrogênio encontra-se predominantemente incorporado às rochas, aos sedimentos e ao leito oceânico, compondo a crosta terrestre, que armazena cerca de 98% do nitrogênio disponível no planeta (Crestani, 2025). Embora o nitrogênio represente cerca de 78% do volume da atmosfera terrestre, predominando na forma de gás diatômico (N_2), as plantas não conseguem utilizá-lo diretamente, pois seu metabolismo é incapaz de romper a forte ligação tripla que une os átomos dessa molécula, tornando necessária sua conversão a formas assimiláveis no solo (Garcia; Cardoso, 2015). Desse modo é necessária uma grande entrada de energia para que seja quebrada essa ligação, gerando as formas inorgânicas de amônia (NH_3) e nitrato (NO_3^-) (Neto; Silva, 2016).

A partir dessas formas disponíveis no solo, inicia-se a nutrição nitrogenada das plantas, que envolve distintas vias de aproveitamento do nutriente, sendo a assimilação mineral uma das principais para a maioria das espécies cultivadas. Nessa via as plantas absorvem o nitrogênio na forma de íons NO_3^- (nitrato) e NH_4^+ (amônio), mas para ocorrer esse processo primeiramente ocorre a conversão de nitrato a nitrito (NO_2^-), através da ação da enzima nitrato redutase (Basi et al., 2011). Segundo Marcolini (2018) essa etapa do processo de assimilação do nitrogênio na planta depende da provisão de fotoassimilados, com destaque para os carboidratos, e do fluxo regular de NO_3^- para as folhas. A segunda etapa do processo envolve a conversão do nitrito em amônia, realizada pela enzima nitrito redutase (Siniscalchi, 2025). As nitrito redutases (NiRs) são enzimas contendo centros de cobre ou grupos heme e catalisam essa etapa subsequente da desnitrificação (Moura et al., 2023). E por fim, a amônia formada é prontamente incorporada aos compostos orgânicos por meio da síntese de glutamina e glutamato, que exercem papel central no transporte e na redistribuição do nitrogênio assimilado em diferentes tecidos (Tanan, 2019), tanto em leguminosas quanto em espécies não leguminosas.

Em contraposição a essa via mineral, que depende das formas inorgânicas disponíveis no solo, as leguminosas ainda contam com um segundo mecanismo de obtenção de nitrogênio: a fixação biológica (FBN). Através de um número expressivo de bactérias que convertem o nitrogênio gasoso a amônia (NH_3) ou íons amônio (NH_4^+), por meio de redução catalisada por enzimas, em processo conhecido como fixação biológica de nitrogênio que representa 90% de toda a fixação de origem natural (Martins et al., 2003). Esse processo inicia-

se por uma série de interações complexas entre bactéria e a planta hospedeira, que envolvem trocas de sinais moleculares e modificações fisiológicas e morfológicas até a formação dos nódulos radiculares (Macedo, 2010). Os nódulos possuem uma proteína férrica denominada leg-hemoglobina, que contém um baixo Km, ou seja, uma alta afinidade pelo oxigênio (Costa, 2023).

O desenvolvimento da nodulação inicia-se pelo processo com a excreção, pela planta, de composto flavonóides que, permite a colonização da rizosfera e outros compostos que exibem ações quimiotática, possibilitando que as bactérias cheguem à raiz das plantas, as quais se fixam (Michalak, 2021). Os genes de nodulação estão envolvidos na síntese dos chamados fatores de nodulação (Fator Nod), que são lipoquitos oligossacarídeos (LQO) essenciais para a formação dos nódulos e determinantes da especificidade da planta hospedeira (Cassetari et al., 2016). Nos nódulos, após invasão pelo cordão de infecção, o rizóbio se diferencia em bacteróides e é envolto em uma membrana produzida pela planta, formando o simbiosoma (Leite, 2015). Após a colonização das raízes, as bactérias induzem a formação de nódulos, estruturas que servem como locais de fixação (Oliveira et al., 2021). Uma vez estabelecida a simbiose, as bactérias passam a converter o nitrogênio atmosférico (N₂) diretamente em amônia, fornecendo à planta uma fonte adicional e frequentemente mais eficiente desse nutriente (Matheus, 2025).

A fixação biológica de nitrogênio simbiótica é realizada principalmente por bactérias do grupo dos rizóbios, pertencentes a diferentes gêneros, como *Bradyrhizobium*, *Rhizobium*, *Mesorhizobium* e *Azorhizobium* (Dias, 2020). A FBN é uma fonte eficiente de nitrogênio assimilável, desempenhando um papel fundamental na melhoria da fertilidade do solo e na recuperação de áreas degradadas (Mohammadi et al., 2012). O feijão-caupi é uma leguminosa capaz de estabelecer associações simbióticas eficientes com diversas espécies de bactérias fixadoras de nitrogênio (Terto, 2021). Em grande parte dos solos brasileiros destinados ao cultivo do feijoeiro, já existe uma população natural de rizóbios amplamente distribuída, o que favorece a ocorrência de nodulação espontânea, conforme registrado em diferentes levantamentos (Hungria et al., 1997).

Apesar dessa capacidade intrínseca, a eficiência da fixação biológica de nitrogênio (FBN) no feijão-caupi pode ser limitada por condições edáficas desfavoráveis. A baixa disponibilidade de nutrientes essenciais, como fósforo, cálcio, molibdênio e cobalto, compromete a formação e o funcionamento dos nódulos (Alcântara et al., 2014). Dessa forma segundo Araújo e Carvalho (2006), em áreas de primeiro cultivo, onde não houve plantio prévio

de leguminosas e a população nativa de rizóbios no solo é desconhecida, recomenda-se a aplicação de baixas doses de nitrogênio no momento da semeadura, com a finalidade de suprir a demanda inicial das plantas até o estabelecimento da nodulação. Além disso, solos de pH ácido ou com elevados teores de alumínio trocável dificultam o estabelecimento da simbiose, reduzindo tanto a nodulação quanto a atividade dos rizóbios (Rufini et al., 2011) e a disponibilidade de nitrogênio.

3.5 Eficiência fotoquímica e Índice Relativo de Clorofila

A eficiência fotoquímica do Fotossistema II (FSII) é um indicador fundamental da saúde fotossintética das plantas, avaliada principalmente por parâmetros derivados da cinética de fluorescência da clorofila a, como o rendimento quântico máximo (F_v/F_m), o índice de desempenho (PI_{abs}) e a densidade de centros de reação por unidade absorvente (RC/ABS), que juntos revelam a capacidade de conversão de energia luminosa em química sob condições de estresse ou nutrição ótima (Hernández, 2017).

O parâmetro F_v/F_m , calculado como $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$, onde F_0 representa a fluorescência mínima (centros de reação abertos) e F_m a máxima induzida por luz saturante, quantifica a eficiência máxima de fotossíntese em estado escuro adaptado, com valores ideais entre 0,75 e 0,85 indicando ausência de fotoinibição ou danos oxidativos nos centros ativos do FSII (Campostrini, 2001). Bolhár-Nordenkamp et al. (1989) estabeleceram essa métrica como padrão para sistemas fotossintéticos intactos, adaptada para minimizar dissipação térmica durante a medição. Quedas nesse índice sinalizam estresses abióticos precocemente, como deficiência nutricional, sendo superior a avaliações visuais por sua sensibilidade (Souza, 2025).

Mais integrado que o F_v/F_m , o PI (abs) derivado do teste JIP-test avalia o desempenho global do FSII ao ponderar a densidade de centros de reação (RC/ABS), a eficiência de absorção e transferência de elétrons e a probabilidade de uso fotoquímico, tornando-o mais sensível para detectar níveis subclínicos de estresse antes de sintomas visíveis, como em condições de alta irradiância ou déficit hídrico (Santos, 2016). Gonçalves et al. (2010) demonstram sua precisão em espécies tropicais como *Carapa guianensis*, onde PI (abs) discriminou melhor o fotoestresse que F_v/F_m isolado, confirmando sua utilidade em manejo integrado.

4.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com oito tratamentos resultantes da combinação de quatro doses de *Lithothamnium calcareum* (0, 266, 534 e 1.067 kg/ha) e dois níveis de fertilização mineral sintética (com e sem NPK).

As doses de *L. calcareum* em kg/ha foram convertidas para g/vaso considerando apenas a camada superficial de 2 cm do solo (equivalente a 200.000 kg/ha), resultando nas aplicações de 0, 8, 16 e 32 g/vaso para as doses de 0, 266, 534 e 1.067 kg/ha, respectivamente (Ernani et al., 2001). A adubação de plantio foi baseada na análise de solo e nas recomendações de Melo et al. (2018) para feijão-caupi, aplicando 156 kg/ha de superfosfato triplo, 24 kg/ha de ureia e 52 kg/ha de cloreto de potássio, correspondendo, após conversão para vasos de 5 dm³, a 0,39 g de superfosfato triplo, 0,06 g de ureia e 0,13 g de cloreto de potássio por vaso. A dose de ureia foi mantida baixa, suficiente apenas para estimular o crescimento inicial das plântulas, sem saturar o solo nem inibir a atividade dos rizóbios.

Cada tratamento contou com cinco repetições, sendo cada unidade experimental composta por quatro plantas, totalizando 160 plantas. Dessa forma, os tratamentos foram definidos como: T1, controle, sem *L. calcareum* e sem NPK; T2, 266 kg/ha de *L. calcareum*; T3, 534 kg/ha de *L. calcareum*; T4, 1.067 kg/ha de *L. calcareum*; T5, NPK sem *L. calcareum*; T6, 266 kg/ha de *L. calcareum* + NPK; T7, 534 kg/ha de *L. calcareum* + NPK; e T8, 1.067 kg/ha de *L. calcareum* + NPK.

4.3 Cultivo e manejo

Foram semeadas seis sementes de feijão-caupi da cultivar manteiguinha, respeitando a profundidade ideal de cada semente (2-3cm), previamente umedecendo o substrato. Seguidamente após a emergência, no estágio V1, foi feito o desbaste, conduzindo-se quatro plantas por vaso. Utilizou-se vasos plásticos, cuja capacidade volumétrica é de 5 dm³, preenchidos com solo e com as doses de *Lithothamnium*, aplicadas proporcionalmente ao volume de solo de cada vaso e misturadas homogeneamente ao solo antes da semeadura.

O bioinsumo *L. calcareum* utilizado no experimento foi obtido por doação da empresa Oceana Minerais. O material da marca Algen, corresponde ao lote nº 139-A, fabricado em 28 de maio de 2025, apresentando as seguintes características declaradas pelo fabricante: 32% de cálcio (Ca), 27% de magnésio (Mg) e granulometria com 25% de passante em 325 mesh (0,044 mm). Essas especificações garantem elevada reatividade do material no solo,

devido à maior superfície específica das frações finas, favorecendo sua dissolução e disponibilização de nutrientes ao longo do ciclo da cultura.

A irrigação foi feita manualmente, uma vez ao dia, de modo a manter o solo próximo à capacidade de campo durante todo o ciclo. O controle da exigência hídrica foi realizado com o auxílio de um medidor de solo da marca TeOliver, considerado um equipamento do tipo 4 em 1, que mede pH, umidade, temperatura e luminosidade e uma proveta graduada cilíndrica transparente com marcações precisas, utilizada para medir volumes líquidos com exatidão. No período do florescimento (R6), foram coletadas duas plantas por vaso para análise da matéria seca, matéria fresca, diâmetro do caule e área foliar, comprimento radicular e altura da parte aérea. Não foi realizada inoculação com estirpes de rizóbios, a fim de observar o potencial de nodulação natural presente no solo experimental. Foram feitos tratamentos culturais como: capinas manuais e tutoramento foram realizados conforme as necessidades da cultura.

4.4 Variáveis avaliadas

Ao final do ciclo da cultura realizou-se a colheita das plantas para quantificação da biomassa acumulada da parte aérea avaliando-se: a área foliar (cm²): determinada por intermédio do programa computacional ImageJ®; (Rueden et al., 2021); a altura da planta (cm): medindo-se da base do caule ao ponto de inserção da última folha trifoliolada expandida com auxílio de régua milimetrada; número de folhas e brotos; diâmetro do caule (mm), obtido com paquímetro digital; o comprimento radicular (cm): medido com auxílio de uma régua graduada em milímetros; a massa da parte aérea fresca (MPAF) e a massa radicular fresca (MRF) foram pesadas em balança de precisão digital.

Para as variáveis massa da parte aérea seca (MPAS) e do massa do sistema radicular (MRS) seco (g), o material vegetal foi conduzido à estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 65°C até atingirem massa constante, e, em seguida, pesadas em balança de precisão digital. Os valores obtidos foram expressos em gramas por planta, calculando-se a média por vaso. Analisou-se o número de nódulos por planta, onde duas plantas por vaso foram cuidadosamente retiradas e lavadas para exposição do sistema radicular. O número total de nódulos presentes em cada planta foi contado visualmente, sendo registrada a média por unidade experimental.

4.5 Eficiência fotoquímica e Índice Relativo de Clorofila (IRC)

Foram avaliados o rendimento quântico máximo do Fotossistema II (F_v/F_m) e o índice de desempenho do Fotossistema II (PI). Estas variáveis foram determinadas na folha mais desenvolvida fisiologicamente e a de maior área, sendo uma folha por planta. Para isso, foi utilizado o fluorímetro não-modulado modelo Pocket PEA (Plant Efficiency Analyser, Hansatech, UK). Antes das avaliações da emissão da fluorescência da clorofila A, foi posicionada uma pinça nas folhas para a adaptação ao escuro por 30 minutos. Após realizado essa adaptação, um pulso de luz saturante de $3500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ foi aplicado por meio de três diodos emissores de luz de comprimento de onda de 650 nm.

No mesmo período, foi analisado o Índice Relativo de Clorofila (IRC), no qual foi avaliado por meio do clorofilômetro, modelo SPAD-502 (Soil Plant Analysis and Development) (Minolta, Japão), que mede a intensidade de verde das folhas, nas mesmas plantas utilizadas para a avaliação da emissão da fluorescência, escolhendo a folha mais desenvolvida. Desse modo foram realizadas três leituras com pinçando a folha próximo a base, no meio e no ápice, garantindo uniformidade entre as análises. As leituras foram realizadas no período da manhã entre 10:00 e 11:00 horas.

4.6 Análise estatística

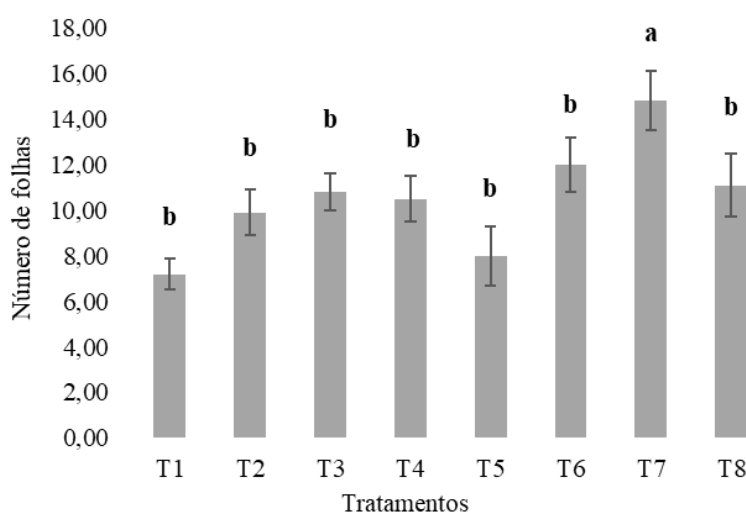
A normalidade dos resíduos foi verificada pelo teste de Shapiro–Wilk e a homogeneidade de variâncias foi avaliada pelo teste de Levene. Para as variáveis número de folhas, comprimento radicular, área foliar, altura da planta empregou-se análise de variância (ANOVA), usando o teste F ao nível de 5% de significância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%. As variáveis massa da parte aérea fresca, massa da parte aérea seca, massa da parte radicular fresca e massa da parte radicular seca foram transformadas pela função $\log(x+1)$. A variável nodulação, que violou às pressuposições da anova, mesmo após tentativas de transformação, foi analisada por meio do teste não paramétrico de Kruskal–Wallis, seguido do teste de Dunn para comparação de médias, ambos ao nível de significância de 5%. Todas as análises foram conduzidas por meio do software Infostat® versão 2020 (Di Rienzo, et al. 2011).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Parâmetros biométricos da parte aérea

Houve diferença significativa para a variável de número de folhas, com aumento expressivo na dose de 534 kg/ha de *Lithothamnium* associada ao NPK (T7) obtendo média de 15 folhas por planta (Figura 1). Esses resultados são coerentes com estudos de Nassar et al. (2018), que observou em suas análises que todas as doses de *Lithothamnium* aumentaram o número de folhas por planta de Feijão-Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* Taub.) em comparação com o controle. De acordo com Pires et al. (2023) esse subproduto de algas calcárias possui elevado teor de cálcio, desempenhando um papel crucial no alongamento e divisão celular das plantas, o que, por sua vez, beneficia o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

Figura 1- Número de folhas por planta de feijão-caupi em função dos diferentes tratamentos com doses de *Lithothamnium calcareum* associadas ou não à adubação mineral sintética em vasos.

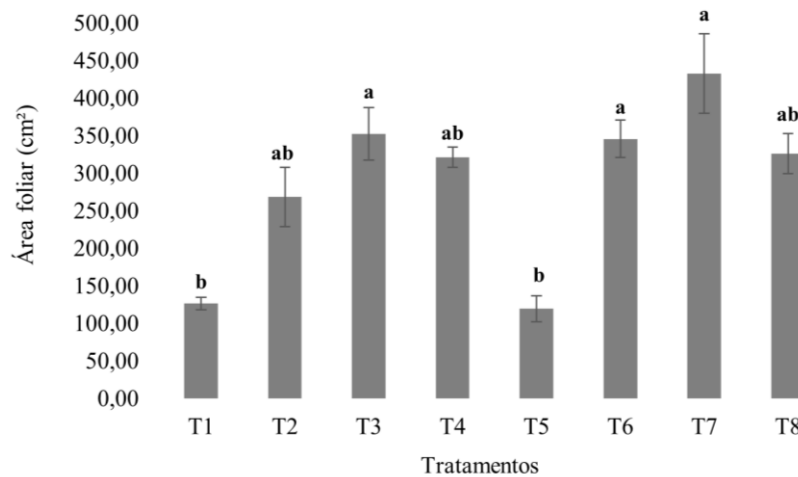


T1 = controle; T2 = 266 kg/ha de *L. calcareum*; T3 = 534 kg/ha de *L. calcareum*; T4 = 1.067 kg/ha de *L. calcareum*; T5 = NPK sem *L. calcareum*; T6 = 266 kg/ha de *L. calcareum* + NPK; T7 = 534 kg/ha de *L. calcareum* + NPK; e T8 = 1.067 kg/ha de *L. calcareum* + NPK. *Barras seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para a área foliar, nos tratamentos associados à adubação mineral com NPK, destacaram-se os tratamentos T7 e T6, que apresentaram valores médios de 433,20 e 345,77 cm², respectivamente. Nos tratamentos com *Lithothamnium* e sem adubação mineral sintética, também foram observados incrementos na área foliar, sendo o T3 o mais eficiente, com desempenho de 352,54 cm² (Figura 2), indicando que o bioinsumo contribui para crescimento foliar, possivelmente em função da melhoria das condições químicas do solo e do estímulo à atividade biológica. Amatussi (2018), ao avaliar a aplicação foliar da alga calcária *Lithothamnium* sp. no cultivo de tomate, constatou que o aporte de Ca e Mg presentes no material favorece a expansão tecidual e a eficiência fotossintética, especialmente quando

associado ao NPK, resultando em um incremento de aproximadamente 10% na área foliar com doses intermediárias do insumo.

Figura 2-Área foliar de planta de feijão-caupi em função dos diferentes tratamentos com doses de *Lithothamnium calcareum* associadas ou não à adubação mineral sintética em vasos.

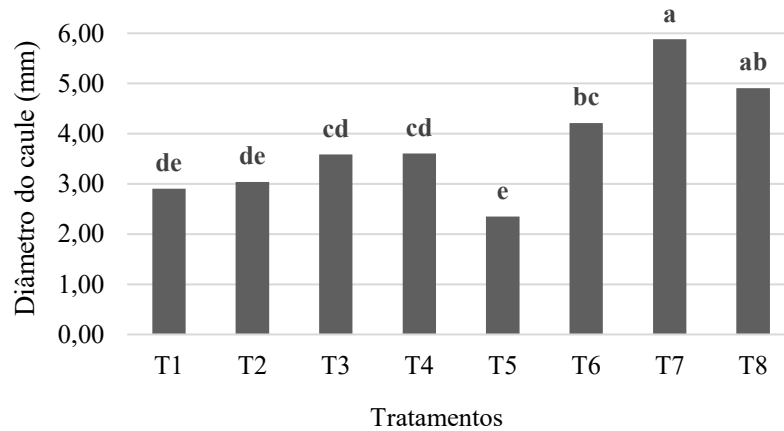


T1 = controle; T2 = 266 kg/ha de *L. calcareum*; T3 = 534 kg/ha de *L. calcareum*; T4 = 1.067 kg/ha de *L. calcareum*; T5 = NPK sem *L. calcareum*; T6 = 266 kg/ha de *L. calcareum* + NPK; T7 = 534 kg/ha de *L. calcareum* + NPK; e T8 = 1.067 kg/ha de *L. calcareum* + NPK. *Barras seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O diâmetro do caule acompanhou o padrão observado para o número de folhas e área foliar, apresentando valores superiores nos tratamentos com uso de *Lithothamnium* associada ao uso do fertilizante químico sintético. O T7 registrou o maior diâmetro médio (5,88 mm), seguido por T8 (4,91 mm) e o T6 (4,22 mm) (Figura 3). As menores médias foram verificadas nos tratamentos com ausência de NPK e com doses reduzidas de *Lithothamnium*.

Esse comportamento difere dos dados encontrados por Evangelista et al. (2016) que observaram aumento linear do diâmetro do caule de mudas de *Jatropha curcas* L. com o aumento dos níveis de *Lithothamnium*, atingindo 10,63 mm na dose de 10% (v/v). Segundo o modelo ajustado por estes autores a cada 1% adicional de *Lithothamnium* no substrato aumenta o diâmetro do caule em cerca de 0,33 mm, reforçando que o aporte de Ca e Mg favorece o engrossamento do caule.

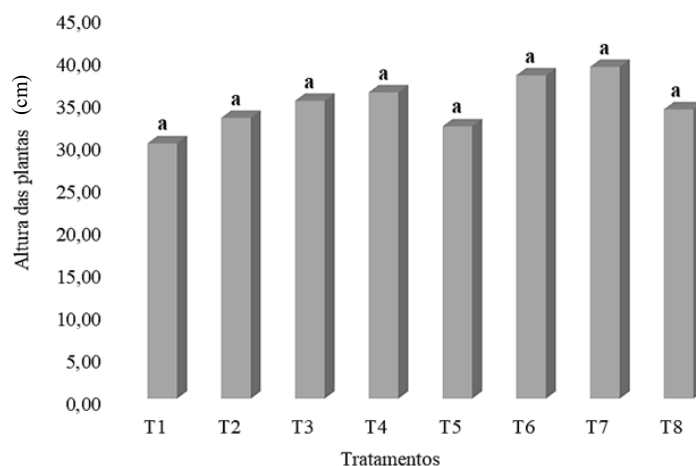
Figura 3- Diâmetro do caule (mm) de plantas de feijão-caupi submetidas aos diferentes tratamentos com doses de *Lithothamnium calcareum* e presença/ausência de adubação mineral sintético em vasos.



T1 = controle; T2 = 266 kg/ha de *L. calcareum*; T3 = 534 kg/ha de *L. calcareum*; T4 = 1.067 kg/ha de *L. calcareum*; T5 = NPK sem *L. calcareum*; T6 = 266 kg/ha de *L. calcareum* + NPK; T7 = 534 kg/ha de *L. calcareum* + NPK; e T8 = 1.067 kg/ha de *L. calcareum* + NPK. *Barras seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A altura das plantas não apresentou diferenças significativas, mostrando-se pouco responsiva às diferentes doses de *L. calcareum* e à aplicação de NPK, com valores variando entre 28,34 e 39,51 cm (Figura 4). Esses resultados indicam que o *L. calcareum* exerce maior influência sobre outras características morfológicas e fisiológicas, como o diâmetro do caule e o número de folhas, do que sobre o alongamento da parte aérea.

Figura 4- Altura de plantas de feijão-caupi submetidas a diferentes doses de *Lithothamnium calcareum*, com ou sem adubação NPK em vasos.

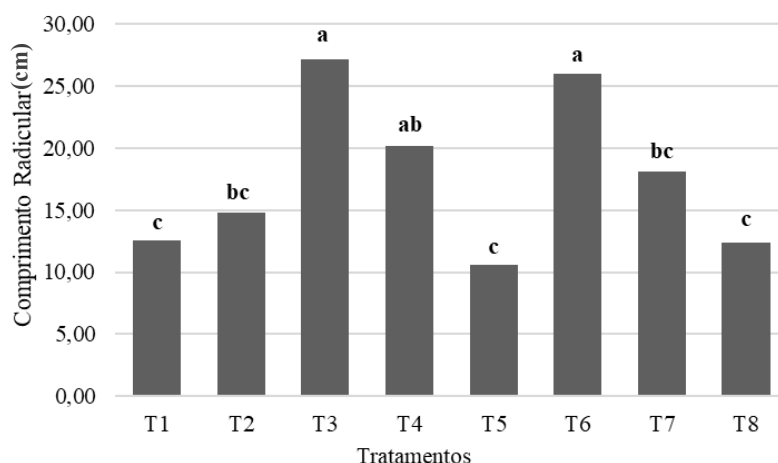


T1 = controle; T2 = 266 kg/ha de *L. calcareum*; T3 = 534 kg/ha de *L. calcareum*; T4 = 1.067 kg/ha de *L. calcareum*; T5 = NPK sem *L. calcareum*; T6 = 266 kg/ha de *L. calcareum* + NPK; T7 = 534 kg/ha de *L. calcareum* + NPK; e T8 = 1.067 kg/ha de *L. calcareum* + NPK. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

6.2 Desenvolvimento radicular e número de nódulos

O comprimento de raízes apresentou resposta significativa, sendo maior em tratamentos que receberam doses de 534 kg/ha *L. calcareum* e 266 kg/ha de *L. calcareum* + NPK, como T3 (26,68 cm) e T6 (25,75cm) respectivamente (Figura 5). A literatura indica que concentrações moderadas de cálcio, presentes no *Lithothamnium*, favorecem a formação e elasticidade das paredes celulares, regulando a permeabilidade e permitindo a elongação das raízes durante o crescimento (Prado, 2004; Taiz et al., 2017). Esse padrão também encontra suporte nos achados de Amatussi et al. (2020), que observaram um efeito auxínico e forte indução de rizogênese após a aplicação da dose moderada ($1,76 \text{ g L}^{-1}$) de *Lithothamnium* sp. micronizado nas raízes de *Vigna radiata*. Segundo os autores, a presença de ácidos húmicos e no material, em especial cerca de $31,36 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$, contribui para estimular a emissão, o crescimento e o alongamento das raízes.

Figura 5- Comprimento radicular (cm) de plantas de feijão-caupi submetidas aos diferentes tratamentos com doses de *Lithothamnium calcareum* e presença/ausência de adubação mineral sintético em vasos



T1 = controle; T2 = 266 kg/ha de *L. calcareum*; T3 = 534 kg/ha de *L. calcareum*; T4 = 1.067 kg/ha de *L. calcareum*; T5 = NPK sem *L. calcareum*; T6 = 266 kg/ha de *L. calcareum* + NPK; T7 = 534 kg/ha de *L. calcareum* + NPK; e T8 = 1.067 kg/ha de *L. calcareum* + NPK. *Barras seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$)

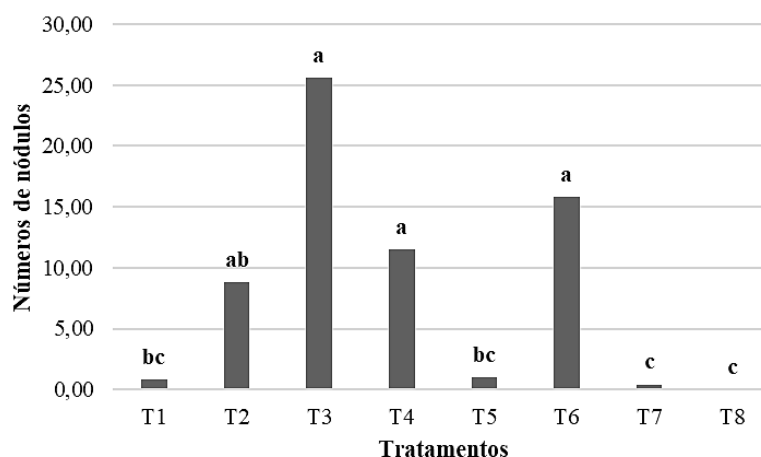
O desempenho radicular inferior observado em T7 e T8, mesmo com maior vigor da parte aérea, sugere que o aporte excessivo de cálcio e a possível elevação do pH do substrato limitaram o crescimento radicular profundo, comportamento semelhante ao descrito por Ronquim (2020) em condições de calagem excessiva. De acordo com Freitas (2016), o *L. calcareum* pode aumentar a força iônica da solução do solo pela adição de Ca^{2+} e Mg^{2+} , em altas doses, alterando o equilíbrio entre expansão celular e lignificação dos tecidos, resultando em folhas maiores, porém com menor resistência mecânica. Além disso, o excesso de Ca^{2+} exerce forte competição iônica, reduzindo a absorção de Mg^{2+} e K^{+} nutrientes essenciais para

a translocação de carboidratos e desenvolvimento de raízes (Soares, 1978). Esses resultados sugerem que a aplicação de *Lithothamnium* deve ser cuidadosamente manejada, pois, embora estimule a parte aérea quando combinado ao adubação convencional, pode comprometer a arquitetura radicular quando empregado em doses elevadas.

Para a variável número de nódulos, observou-se aumento significativo da nodulação nos tratamentos que receberam apenas *Lithothamnium calcareum*, 266, 534 e 1.067 kg/ha de *L. calcareum*, ou seja, T2, T3 e T4, respectivamente quando comparados ao controle, indicando que a aplicação do bioinsumo favorece a formação de nódulos, possivelmente em função da maior disponibilidade de magnésio, elemento presente na composição do *L. calcareum*. Segundo Peng et al. (2018), a suplementação de magnésio favorece o crescimento dos nódulos, ativa enzimas essenciais à fotossíntese e promove a partição e o transporte de carboidratos para os nódulos, garantindo aporte energético adequado e a manutenção da atividade metabólica.

Em contrapartida para os tratamentos com suplementação mineral sintética associadas ao *Lithothamnium*, somente o T6 (266 kg/ha de *L. calcareum* + NPK) apresentou número significativo de nódulos, indicando que baixas doses de *Lithothamnium* ainda permitem a nodulação mesmo na presença de fertilização mineral (Figura 6). Caroni (2025), ao estudar a nodulação em *Glycine max* L., verificou que doses moderadas de *Lithothamnium* favoreceram a formação de nódulos, enquanto doses elevadas reduzem significativamente esse processo, sendo 15 kg ha⁻¹, que apresentou maior nodulação e 25 kg ha⁻¹, que resultou em forte queda na fixação biológica de nitrogênio (FBN), indicando que o excesso do insumo prejudica a simbiose rizóbica.

Figura 6- Número de nódulos nas raízes de plantas de feijão-caupi submetidas aos diferentes tratamentos com doses de *Lithothamnium calcareum* na presença e ausência de adubação mineral sintética em vasos



T1 = controle; T2 = 266 kg/ha de *L. calcareum*; T3 = 534 kg/ha de *L. calcareum*; T4 = 1.067 kg/ha de *L. calcareum*; T5 = NPK sem *L. calcareum*; T6 = 266 kg/ha de *L. calcareum* + NPK; T7 = 534 kg/ha de *L. calcareum* + NPK; e

T8 = 1.067 kg/ha de *L. calcareum* + NPK. * Barras seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Dunn ($p \leq 0,05$).

Foi verificado que os nódulos presentes no experimento apresentaram coloração avermelhada, indicando atividade das bactérias fixadoras de nitrogênio (Figura 7). Para os tratamentos que apresentaram falta de nodulação (T7 e T8), segundo Negreiros (2015) esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que o aumento excessivo da dose de corretivos ou fertilizantes de base cálcica pode provocar fitotoxicidade e desequilíbrios nas relações catiônicas do substrato, reduzindo a absorção de nutrientes e comprometendo processos fisiológicos como a nodulação e o crescimento radicular.

Figura 7- (A) Nódulos formados no sistema radicular do feijão-caupi; (B) nódulo seccionado mostrando coloração avermelhada típica de atividade da leghemoglobina.



Fonte: Santos, L. R. (2025)

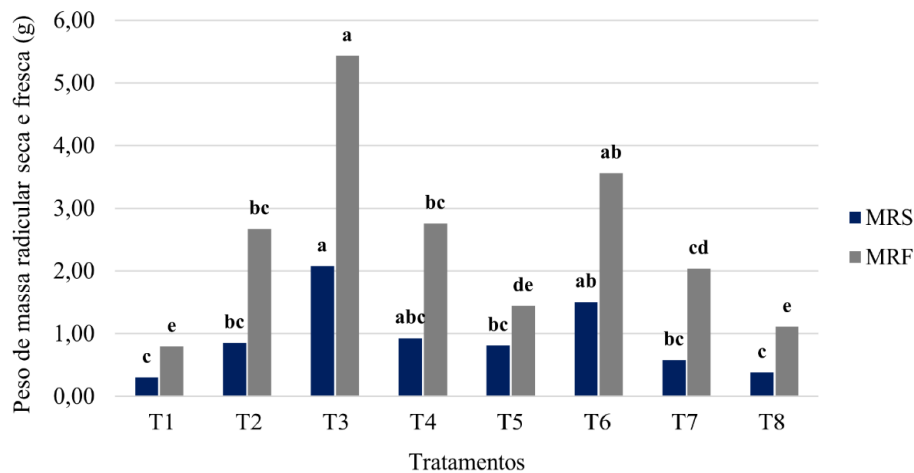
6.3 Acúmulo de biomassa da parte aérea e radicular

De acordo com Farias et al. (2024), a massa fresca está diretamente associada ao conteúdo de água nos tecidos, enquanto a massa seca representa o acúmulo efetivo de biomassa estrutural, como carboidratos, proteínas e lignina.

Em relação à massa radicular fresca (MRF) e massa radicular seca (MRS), o tratamento T3 (534 kg/ha de *L. calcareum*) apresentou desempenho superior, registrando 5,43 g e 2,48 g, respectivamente, superando de forma expressiva os valores observados no controle (Figura 8). Ananias (2025), ao avaliar *Solanum tuberosum* L., verificou que a dose intermediária (10 kg ha⁻¹) de *Lithothamnium* resultou no maior acúmulo de massa radicular fresca e seca, com valores de 13,32 g e 1,24 g, respectivamente, representando incremento de

53% e desempenho estatisticamente superior em relação à testemunha e aos tratamentos com doses mais elevadas.

Figura 8- Massa radicular fresca (MRF) e massa radicular seca (MRS) de plantas de feijão-caupi submetidas a diferentes doses de *Lithothamnium calcareum*, com e sem adubação NPK em vasos



T1 = controle; T2 = 266 kg/ha de *L. calcareum*; T3 = 534 kg/ha de *L. calcareum*; T4 = 1.067 kg/ha de *L. calcareum*; T5 = NPK sem *L. calcareum*; T6 = 266 kg/ha de *L. calcareum* + NPK; T7 = 534 kg/ha de *L. calcareum* + NPK; e T8 = 1.067 kg/ha de *L. calcareum* + NPK. * Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

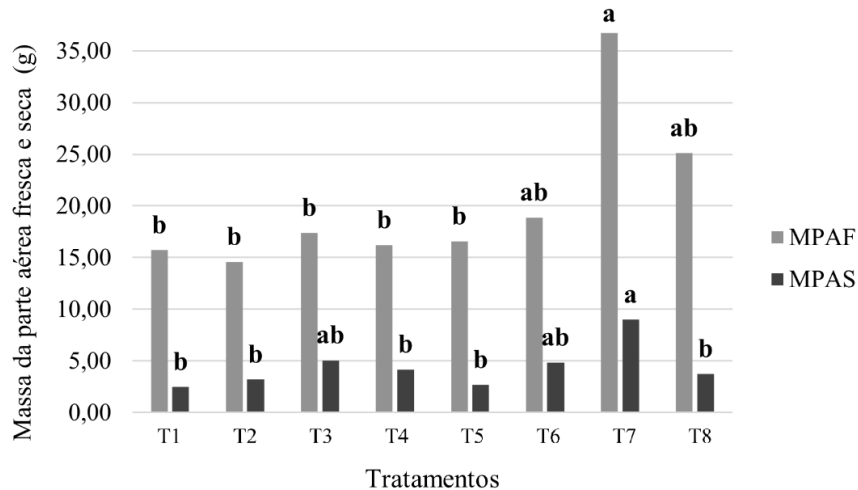
A análise da MPAF e MPAS no presente estudo demonstrou diferenças significativas entre os tratamentos, com destaque para o T7, que apresentou os maiores valores médios (≈ 36 g e ≈ 8 g, respectivamente), evidenciando maior eficiência no acúmulo de biomassa (Figura 9). Esses resultados estão de acordo com as observações de Souza et al. (2009), que verificaram efeito corretivo e nutricional do *L. calcareum* em doses intermediárias, favorecendo o crescimento da parte aérea de mudas de maracujazeiro, especialmente próximo à dose de $2,6 \text{ t ha}^{-1}$.

Entretanto, verificou-se que o aumento das doses desse bioinsumo acima do nível mais eficiente resultou em decréscimo no acúmulo de matéria seca da parte aérea, como observado no T8. De acordo com Chaves et al. (2022), à medida que a saturação por bases do solo foi elevada para 80-90% pela aplicação de *L. calcareum*, observou-se redução nas médias de massa parte aérea seca (MPAS). Esse efeito depressivo pode estar associado principalmente ao aumento excessivo do pH do solo, que ocorre quando o *Lithothamnium* é aplicado em altas doses em conjunto com fertilizantes de rápida solubilidade.

O *L. calcareum* é um insumo rico em Ca, derivado de algas marinhas, cuja reação no solo ou substrato é rápida, de forma que a junção de um substrato rico em nutrientes juntamente com um produto de rápida liberação causa um efeito depressivo nas mudas em

doses mais altas (Teixeira et al., 2009). Nessas condições, a absorção de nutrientes essenciais pelas plantas é comprometida, o que resulta na redução do acúmulo de biomassa (Rodriguez et al., 2018).

Figura 9- Massa da parte aérea fresca (MPAF) e massa da parte aérea seca (MPAS) de plantas de feijão-caupi submetidas a diferentes doses de *Lithothamnium calcareum*, com e sem adubação NPK em vasos



T1 = controle; T2 = 266 kg/ha de *L. calcareum*; T3 = 534 kg/ha de *L. calcareum*; T4 = 1.067 kg/ha de *L. calcareum*; T5 = NPK sem *L. calcareum*; T6 = 266 kg/ha de *L. calcareum* + NPK; T7 = 534 kg/ha de *L. calcareum* + NPK; e T8 = 1.067 kg/ha de *L. calcareum* + NPK. * Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

6.4 Eficiência fotoquímica e índice IRC

A análise do Índice Relativo de Clorofila (IRC) revelou diferenças significativas entre os tratamentos avaliados. A maior média foi observada no tratamento T6 (44,80), seguido por T3 (44,26). Esses tratamentos apresentaram os maiores valores de IRC, indicando maior teor de clorofila (Tabela 2). Segundo Sant'Ana (2010) a relação entre o teor relativo de clorofila (TRC) e teor de nitrogênio nas folhas (TNF), no florescimento do feijoeiro, foi linear e positiva, indicando que, à medida que aumenta o teor de N nas folhas, o teor de clorofila aumenta proporcionalmente.

A maior eficiência com as doses de 534 kg/ha de *L. calcareum* e 266 kg/ha de *L. calcareum* + NPK no aumento do teor de clorofila pode ser relacionado ao maior número de nódulos formados, sendo T3 o que mais se destacou, seguido de T6, impulsionado também pelo fornecimento de N mineral. Esse incremento na nodulação pode ser atribuído principalmente ao magnésio presente no *Lithothamnium*, uma vez que esse nutriente desempenha papel essencial na formação e funcionalidade dos nódulos, consequentemente elevando o acúmulo de clorofila nas folhas (Sousa, 2021).

Segundo Araújo (2008), valores de Fv/Fm podem variar entre 0,75 e 0,85 em plantas em condições ambientais favoráveis, indicando que o PSII se encontra fisiologicamente

saudável. A eficiência quântica do Fotossistema II (Fv/Fm) não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$), mantendo-se dentro da faixa considerada ótima. O Índice de Performance Fotossintética (PI) também não teve diferenças significativas, isso sugere que não houve dano no aparato fotossintético da planta.

Tabela 2- Análise de variância do Índice Relativo de Clorofila (IRC), Rendimento quântico máximo do PSII (Fv/Fm) e PI (PIabs) Índice de Performance Fotossintética.

Tratamentos	IRC	Fv/Fm	PI
T1	34,68c	0,80a	3,01a
T2	37,24bc	0,81a	3,40a
T3	44,26a	0,83a	4,74a
T4	39,80b	0,82a	4,71a
T5	34,97c	0,81a	4,56a
T6	44,80a	0,83a	4,81a
T7	39,92b	0,83a	4,66a
T8	37,54b	0,81a	3,51a
DMS	4,01	0,039	2,78
F	25,17*	1,56 ^{ns}	1,47 ^{ns}
CV (%)=	5,04	2,32	8,83

DMS – diferença mínima significativa; CV (%) – coeficiente de variação; F – valor de F calculado na análise de variância; ns – não significativo ao nível de 5% pelo teste F; *–significativo ao nível de 5% pelo teste F. T1 = controle; T2 = 266 kg/ha de *L. calcareum*; T3 = 534 kg/ha de *L. calcareum*; T4 = 1.067 kg/ha de *L. calcareum*; T5 = NPK sem *L. calcareum*; T6 = 266 kg/ha de *L. calcareum* + NPK; T7 = 534 kg/ha de *L. calcareum* + NPK; e T8 = 1.067 kg/ha de *L. calcareum* + NPK.

De forma geral, a aplicação isolada de *L. calcareum* em doses 266 kg/ha de *L. calcareum* + NPK e 534 kg/ha de *L. calcareum* se mostraram favoráveis ao desenvolvimento do feijão-caupi, promovendo crescimento equilibrado, maior acúmulo de biomassa, adequado desenvolvimento radicular e nodulação eficiente, refletindo em maiores teores de clorofila e melhor desempenho fotossintético, sem indícios de estresse ao PSII. No entanto, quando associado ao uso de fertilizantes sintéticos, torna-se essencial o ajuste criterioso da dose de *L. calcareum*, uma vez que a combinação com doses elevadas intensificou desequilíbrios morfofisiológicos. Nessas condições, observou-se crescimento excessivo da parte aérea, redução do desenvolvimento radicular e da nodulação, além de comprometimento da fisiologia vegetal (Figura 10). Assim, os resultados indicam que, na presença de adubação mineral, o uso de doses mínimas desse bioinsumo é mais adequado para manter o equilíbrio nutricional e fisiológico das plantas.

Figura 10- Plantas de feijão-caupi sobre diferentes doses de *Lithothamnium calcareum*, associadas a adubação mineral sintética.



Fonte: Santos, L.R. (2025)

7. CONCLUSÃO

A aplicação de *Lithothamnium calcareum* associada à adubação NPK, na dose de 266,67 kg/ha, promoveu crescimento equilibrado da parte aérea, incremento da biomassa radicular e manutenção eficiente da nodulação, evitando os efeitos negativos observados em doses mais elevadas (1.067 kg ha⁻¹), que causaram desequilíbrios morfofisiológicos. Esses resultados indicam que o *Lithothamnium* atua como um bioinsumo eficaz no desenvolvimento do feijão-caupi, sendo sua ação modulada tanto pela dose quanto pela presença de macronutrientes, o que evidencia a importância de manejar adequadamente sua aplicação para otimizar o desempenho fisiológico e morfológico das plantas.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, R. M. C. M.; XAVIER, G. R.; RUMJANEK, N. G.; ROCHA, M. M.; CARVALHO, J. S. Eficiência simbiótica de progenitores de cultivares brasileiras de feijão-caupi. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 1, p. 1-9, mar. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1806-66902014000100001>. Acesso em: 12 nov. 2025.
- ALMEIDA, B. V. D.; FICAGNA, R.; COSTA, M. J. N. da. **Avaliação da fixação biológica de nitrogênio (*Azospirillum brasilense*) em milho DKB 290 PRO 3 (*Zea mays*)**. 2018. 8 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Centro Universitário de Várzea Grande, UNIVAG, Várzea Grande, 2018.
- AMATUSSI, J. O. **Aplicação foliar da alga calcária *Lithothamnium* sp. no cultivo de tomate em sistema orgânico**. 2018. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.
- AMATUSSI, J.; MÓGOR, Á.F.; MÓGOR, G.; LARA, G.B. (2020) Novel use of calcareous algae as a plant biostimulant. **Jornal de Ficologia Aplicada**, V. 32, p. 2023-2030.
- ANANIAS, T. M. **Batata sequeiro sob aplicação de *Lithothamnium***. 2025. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/46392>. Acesso em: 4 nov. 2025.
- ARAÚJO, S. A. do C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da Fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, [S. l.], v. 7, n. 4, 2009. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/rbrasbioci/article/view/114899>. Acesso em: 8 dez. 2025.
- ARAÚJO, A. L. A. C. de; MOREIRA, T. da S.; MENEZES, T. B. B. de; LIMA, R. L. de; FACUNDO, G. de M.; SILVA, J. W. A. da; ROCHA, Í. R. C. B.; MARQUES, C. H. P.; MACIEL, R. L.; COSTA, F. H. F. Uso do *Lithothamnium* sp. (Algen® Oceana) no cultivo de *Penaeus vannamei* [Use of *Lithothamnium* sp. (Alten® Oceana) in *Penaeus vannamei* culture]. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 28268–28283, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-321>.
- ARAÚJO, A. S. F.; CARVALHO, E. M. S. **Fixação Biológica de Nitrogênio em Leguminosas**. Teresina: UFPI, 2006. p. 1-4.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 14. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p. 7–8.
- BARBOSA, S.S. **Composição e Efeito do *Lithothamnium* como Corretivo de solo**. 2025. 26 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2025.
- BASI, S.; NEUMANN, M.; MARAFON, F.; UENO, R. K.; SANDINI, I. E. Influência da adubação nitrogenada sobre a qualidade da silagem de milho. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 4, p. 219–234, 2011.
- BATISTA, M. A.; INOUE, T. T.; ESPER NETO, M.; MUNIZ, A. S. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. In: BRANDÃO FILHO, J. U. T.; FREITAS, P. S. L.; BERIAN, L. O. S.; GOTO, R. (Org.). **Hortaliças-fruto**. Maringá: EDUEM, 2018. p. 113–162.

ISBN 978-65-86383-01-0. Disponível em: <https://doi.org/10.7476/9786586383010.0006>. Acesso em: 05 dez. 2025.

BENTO, R. L. **Análise de germinação em sementes de feijão-caupi oriundas de Picos-PI**. 2025. 46 f. Monografia (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual do Piauí, Picos, 2025. Disponível em: <http://sistemas2.uespi.br/handle/tede/2467>. Acesso em: 05 nov. 2025.

BERNARDES, M. H. de D. **Efeito do *Lithothamnium* em consórcio com ureia convencional e revestida com polímero na cultura do milho**. 2012. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

BOSCHIERO, B. N.; MARIANO, E.; AZEVEDO, R. A.; TRIVELIN, P. C. O. Influence of nitrate-ammonium ratio on the growth, nutrition, and metabolism of sugarcane. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 139, p. 246-255, 2019.

BOLHÁR-NORDENKAMPF, H. R.; LONG, S.P.; BAKER, N. R.; OQUIST, G.; SCHREIBERS, U; LECHNER, E. G. Chlorophyll fluorescence as a probe of photosynthetic competence on leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, v.3, p. 497-514, 1989.

CALETTI, R. P. K. **Remoção de fósforo presente em lixiviado de aterro sanitário por granulados bioclásticos**. 2017. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

CAMPOSTRINI, E. **Fluorescência da clorofila a: considerações teóricas e aplicações práticas**. Rio de Janeiro: UFNRF, 2001.

CARDOSO, A. P. M. **Uso do bioestimulante à base de algas marinhas e água residuária de piscicultura na produção de mudas de Mulungu (*Erythrina velutina* Wild) em solo de área degradada**. 2021. 51 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

CARLOS, A. C.; SAKOMURA, N. K.; PINHEIRO, S. R. F.; TOLEDANO, F. M. M.; GIACOMETTI, R.; SILVA JÚNIOR, J. W. Uso da alga *Lithothamnium calcareum* como fonte alternativa de cálcio nas rações de frangos de corte. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 4, p. 834-839, 2011.

CARONI, P. H. B. **Produção de soja sob aplicação de lithotamnium**. 2025. 29 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2025.

CASSETARI, A. de S.; SILVA, M. C. P. da; CARDOSO, E. J. B. N. Fixação biológica de nitrogênio simbiótica. In: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. (org.). **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba, SP: ESALQ, 2016. 113-133 p.

CASSOL, P. C.; COSTA, A. C.; CIPRANDI, O.; PANDOLFO, C. M.; ERNANI, P. R. Disponibilidade de macronutrientes e rendimento de milho em Latossolo fertilizado com dejetos suíno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1911-1923, 2012.

CAVALCANTI, V. M. M. **Plataforma Continental: A última fronteira da mineração brasileira**. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, 2011. 104 p.

CHAVES, H. S.; GALDINO, G. C.; SANTIAGO, T. de S.; OLIVEIRA NETO, C. F. de; MARIANO, D. de C.; OKUMURA, R. S. Níveis de saturação por bases e corretivos de acidez

do solo no desenvolvimento do milho. In: REDIN, E. (org.). **Ciências rurais em foco**. Belo Horizonte: Poisson, 2022. p. 35-39.

CIARLINI, C.; DE MORAIS, J. O. Análise textural dos granulados bioclásticos na plataforma continental de Icapuí-Ceará. **Revista GeoUECE**, [S. l.], v. 3, n. 5, p. 198–209, 2021. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/GeoUECE/article/view/6967>. Acesso em: 22 nov. 2025.

CORABI, C. **Utilização do clorofilômetro na arborização urbana como ferramenta auxiliar na avaliação de risco**. 2023. 40 f. Monografia (Pós-graduação em Arborização Urbana) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2023.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: 7º levantamento, safra 2024/25**. Brasília, DF, 2024. Disponível em: https://static.congressoemfoko.com.br/attachment/2025/04/11/bdb5b4_Ebook_BoletimZdeZSafraZ-Z7ZlevantamentoZ2025.pdf. Acesso em: 19 nov. 2025.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: 2º levantamento, safra 2025/26**. Brasília, DF, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/2o-levantamento-safra-2025-26/e-book_boletim-de-safras-2o-levantamento_2025.pdf. Acesso em: 19 nov. 2025.

COSTA, M. M. M. N. **Fixação Biológica de Nitrogênio: uma revisão**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2023. 34 p. 1-17 (Embrapa Algodão. Documentos, 293).

COSTA, R. S. da. **Respostas fisiológicas, nutricionais e produtivas em plantas de feijão-de-corda cultivadas sob fontes de adubos**. 2020. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

CRESTANI, P. A. **Produção de biomassa e estado nutricional de trevo-encarnado (*Trifolium incarnatum* L.) e aveia (*Avena sativa* L.) após aplicação de nitrogênio mineral, biochar e composto orgânico**. 2025. 35 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Escola Superior Agrária de Bragança, Bragança; Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2025.

DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C. **Diversificação da sucessão milho segunda safra/soja por meio de modelos de produção intensificados envolvendo cultivo de trigo associado a culturas graníferas na janela outonal no norte paranaense**. Londrina: Embrapa Soja, 2025. 77 p. (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937; n. 476).

DI GREGÓRIO, A. C. S. **Sistema de plantio direto e adubação orgânica melhoram a fertilidade do solo e a produtividade de repolho ao longo do tempo**. 2022. 69 f. Dissertação (mestrado) -Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Florianópolis, 2022.

DI RIENZO, J. A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M. G.; GONZALES, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C. W. **Infostat version 2011**. Grupo InFostat, Faculdade de Ciências Agropecuárias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, v. 8, p. 195-199, 2011.

DIAS, C. B.; BARROS, E. L.; MORAIS, J. O. **Granulados marinhos na plataforma continental N/NE do Brasil: ensaio metodológico**. In: XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, III Encontro do Quaternário Sul-Americano. Anais. Rio de Janeiro: ABEQUA, 2011. p. 168-171.

DIAS, G. Granulados bioclásticos: algas calcárias. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 18, p. 307-318, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EVANGELISTA, A. W. P.; VIEIRA, M. A.; ALVES JÚNIOR, J.; BRASIL, E. P. F.; CASAROLI, D. Seedling production of *Jatropha curcas* in substrates fertilized with *Lithothamnium*. Bioscience Journal, Uberlândia, v. 32, n.1, p. 132-139. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/BJv32n1a2016-26270>.

FARIA, V. de O.; RIBEIRO, L. L. O.; GODINHO, B. F.; SILVEIRA, B. B. da; SIMON, M. V.; STANGARLIN, J. R. Potencial indutor de fitoalexinas em feijão e soja por formulado à base de alecrim + *Lithothamnium*. **Revista Ambientale**, Arapiraca, v. 14, n. 2, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.48180/ambientale.v14i2.355>. Acesso em: 15 abr. 2025.

FARIAS, A. dos A.; SANTOS, L. B. dos; ANDRADE NETO, T. M. de; TORRES, A. N. L.; SANTOS, E. B. dos; SANTOS, C. O. dos; SODRÉ, P. H. B.; PIMENTA, A. H. Utilização biochar como mitigador da salinidade do solo na cultura do mamão Formosa. **Revista de Agronomia**, v. 28, n. 138, p. 5, set. 2024. DOI: 10.69849/revistaft/th10249122035. Disponível em: <https://revistaft.com.br/category/edicao138/>. Acesso em: 04 nov. 2025.

FERREIRA, N. W. P. **Armazenamento criogênico de sementes de feijão-caupi**. 2014. 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

FREIRE FILHO, F. R. Origem, evolução e domesticação do caupi. In: ARAÚJO, J. P. P. de; WATT, E. E. (Org.). **O caupi no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 1988. p. 26-46.

FREIRE FILHO, F. R.; COSTA, A. F. Feijão-caupi: classificação botânica e importância. In: COSTA, A.F. (Org.). **Feijão-caupi no semiárido brasileiro**. Recife: CREA-PE: Editora UFRPE, 2020. (Cadernos do Semiárido: riquezas & oportunidades, v. 17, n. 3, p. 17). ISSN 2526-2556.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; NOGUEIRA, M. S. R.; RODRIGUES, E. V. **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 84 p.

FREITAS, M. A. C. **Desempenho de *Lithothamnium* sp. no cultivo de manga ‘Palmer’ em argissolo**. 2016. xiv, 73 f.: il. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/25548>. Acesso em: 16 abr. 2025.

GARCIA, G.; CARDOSO, A. A. A importância da deposição atmosférica seca como fonte de Nitrogênio e Fósforo para ecossistemas lacustres. In: POMPEO, M. et al. (Org.). **Ecologia de reservatórios e interfaces**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2015. p. 143-159.

GONÇALVES, J. F. C.; SILVA, C. E.; GUIMARÃES, D. G.; BERNARDES, R. S. Análise dos Transientes da Fluorescência da Clorofila a de Plantas Jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata* submetidas a dois ambientes de luz. **Acta Amazônica**, v.40, p.89-98, 2010.

GOMES, D. P.; FRANÇA, É. G.; SANTANA, C. C. S.; COSTA, A. R. S.; SILVA, D. N. da. Tratamento Alternativo de Sementes de Feijão-caupi Produzido no Maranhão. In: Anais do 2º

Congresso Online Internacional de Sementes Crioulas e Agrobiodiversidade – Dourados/MS. **Cadernos de Agroecologia**, v. 17, n. 2, 2022. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/issue/view/11>. Acesso em: 19 nov. 2025.

GOMES, G. C. S. **Panorama cienciométrico de fertilizantes organominerais e microrganismos solubilizadores: tendências, desafios e perspectivas para a agricultura sustentável**. 2024. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/5062>. Acesso em: 15 abr. 2025.

GUARÇONI, A.; FAVARATO, L. F.; STIPP, S. R.; CASARIN, V. Manejo da fertilidade do solo para uma produção agropecuária mais sustentável. **Incaper em revista**, [S. l.], p. 22-42, 2019. Disponível em: <https://revista.incaper.es.gov.br/index.php/ojs/article/view/3>. Acesso em: 22 nov. 2025.

GUIMARÃES JÚNIOR, M. P. A.; SANTOS, A. C.; ARAÚJO, A. S.; OLIVEIRA, L. B. T.; RODRIGUES, M. O. D.; MARTINS, A. D. Relação Ca: Mg do corretivo da acidez do solo e as características agrônômicas de plantas forrageiras. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 14, n. 3, p. 460-471, jul./set. 2013.

GUIMARÃES, I. T. **Uso do clorofilômetro portátil na adubação nitrogenada da batata-doce**. 2024. 83 f. Tese (Doutorado em Horticultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2024.

HERNÁNDEZ, K. V. A. **Alterações na atividade fotossintética em folhas do mamoeiro ‘Golden’ infectadas com PMeV, detectadas por meio da fluorescência da clorofila a**. 2017. 44 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2017.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T.; ARAÚJO, R. S. Fixação biológica do nitrogênio em feijoeiro. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Org.). **Biologia dos solos dos cerrados**. Brasília: Embrapa, 1997. p. 187-294.

INMET. Instituto Nacional De Meteorologia. **Dados meteorológicos da Estação São Luís (A203), período de julho a novembro**. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/GraficosDiarios/A203>. Acesso em: 24 nov. 2025.

JOAQUIM, O. A. **Estudo comparativo da eficácia de diferentes métodos de interpolação espacial no zoneamento da variabilidade espacial do pH do solo como ferramenta de apoio a aplicação a taxas variadas de fertilizantes**. 2024. 112 f. Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Agronomia) – Universidade Católica de Moçambique, Faculdade de Ciências Agrônômicas. Disponível em: <http://repositorio.ucm.ac.mz/handle/123456789/340>. Acesso em: 22 nov. 2025.

LAURENTINO, L. G. de S. **Influência do biocarvão na fertilidade do substrato, emergência e crescimento inicial de mudas de mamão e melão**. 2021. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2021.

LEITE, J. **Simbiose feijão-caupi e rizóbio: diversidade de bactérias associadas aos nódulos**. 2015. 75 f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2015.

LIMA, A. Y. V. **Condicionadores orgânicos e inorgânicos nas propriedades químicas de um solo arenoso**. 2019. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2019.

LOCATELLI, V. E. R.; MEDEIROS, R. D.; SMIDERLE, O. J.; ALBUQUERQUE, J. A. A.; ARAÚJO, W.F.; SOUZA, K.T.S. Componentes de produção, produtividade e eficiência da irrigação do feijão-caupi no cerrado de Roraima. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.18, n.6, p.574–580, 2014.

MACEDO, R. A. T. **Efeitos da extrusão de H⁺ /OH⁻ em plantas de feijão crescidas com diferentes fontes de nitrogênio sobre o início da formação de nódulos radiculares**. 2010. 126 f. Tese (Doutorado em Agronomia, Fitotecnia) – Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

MACEDO, R.; CABUCCI, T. *Lithothamnium*: fonte nobre para os microrganismos do solo e plantas. **Revista Campo & Negócios Grãos**, Uberlândia-MG, ano XXII, n. 256, p. 38, jul. 2024. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/lithothamnium-fonte-nobre-para-os-microrganismos-do-solo-e-plantas/>. Acesso em: 15 abr. 2025.

MACHADO, C. F.; TEIXEIRA, N. J. P.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F. Identificação de genótipos de feijão-caupi quanto à precocidade, arquitetura da planta e produtividade de grãos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, p. 114-123, 2008.

MARCOLINI, B. de P. **Inoculação de *Azospirillum brasilense* e doses de nitrogênio, visando produção de etanol e teor de proteína nos grãos, em milho cultivado na entressafra sob baixa latitude**. 2018. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2018.

MARTINS, C. R.; PEREIRA, P. A. P.; LOPES, W. A.; ANDRADE, J. B. Ciclos Globais de Carbono, Nitrogênio e Enxofre: a Importância na Química da Atmosfera. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, n. 5, p. 28-41, 2003.

MATHEUS, G. L. **Doses de nitrogênio e coinoculação com bactérias benéficas no milho cultivado em Cerrado de baixa altitude**. 2025. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira, 2025.

MATOS FILHO, C. H. A.; GOMES, R. L. F.; ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, R. R.; LOPES, A. C. A. Potencial produtivo de progênies de feijão-caupi com arquitetura ereta de planta. **Ciência Rural**, v. 39, n. 2, p. 348-354, 2009.

MEDEIROS, J. E. **Caracterização morfológica, agrônômica e análise multivariada de genótipos de feijão-caupi**. 2018. 108 f.: il. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Melhoramento Genético de Planta) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Recife, 2018.

MELO, F. B.; CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; RIBEIRO, V. Q. Recomendação de adubação e calagem para o feijão-caupi na região Meio-Norte do Brasil. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2018. 8 p.

MELO, P. C. **Agricultura Regenerativa: O Uso de *Lithothamnium* para Remineralizar, Condicionar e Revitalizar as Terras Agrícolas**. In: TAVARES, S. R. L. et al. (Eds.). 1º Workshop Brasileiro de *Lithothamnium*: Uso de bioclásticos marinhos na agricultura. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2022. p.22.

MELO, S. A. F. Microbiologia do solo: microrganismos em foco. In: GUEDES, D. M.; SILVA, L. F.; OLIVEIRA, V. C. (Org.). *Avances científicos y tecnológicos en ciencias agrícolas 4*. Ponta Grossa: **Atena Editora**, 2024. Cap. 14, p. 143-166. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/avances-cientificos-y-tecnologicos-en-ciencias-agricolas>. Acesso em: 15 jun. 2025.

MELO, S. R.; ZILLI, J. E. Fixação biológica de nitrogênio em cultivares de feijão-caupi recomendadas para o Estado de Roraima. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 09, p. 1177-1183, 2009.

MESQUITA, A. de F. N. **Cross-feeding entre actinobactérias e rizóbios do Semiárido nordestino e seu papel na prospecção de novos biofertilizantes**. 2022. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biotecnologia) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Fortaleza, 2022.

MICHALAK, D. M. **Fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja**. 2021.53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Norte do Paraná, Londrina, 2021.

MIGUEL, P. S. B.; GOMES, F. T.; ROCHA, W. S. D.; CARVALHO, C. A.; OLIVEIRA, A. V. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas e controles genéticos. **CES Revista**, v. 24, n. 1, p. 11-30, 2010. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/884394/1/Efeitos-toxicosdoaluminio-no-crescimento-das-plantas.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2025.

MOHAMMADI, K.; SOHRABI, Y.; HEIDARI, G.; KHALESRO, S.; MAJIDI, M. Effective factors on biological nitrogen fixation. **African Journal of Agricultural Research**, v. 7, n. 12, p. 1782-1788, 26 mar. 2012. DOI: 10.5897/AJARX11.034. ISSN 1991-637X Disponível em: <http://www.academicjournals.org/AJAR>. Acesso em: 08 nov. 2025.

MOREIRA, R. A.; RAMOS, J. D.; ARAÚJO, N. A. de; MARQUES, V. B. Produção e qualidade de frutos de pitaia-vermelha com adubação orgânica e granulado bioclástico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. Especial, p. 762–766, 2011.

MOURA, I.; PAULETA, S. R.; CAREPO, M. S. P.; CORDAS, C. M.; MAIA, L. B.; MOURA, J. J. G. **Elogio da Desnitrificação**. **Boletim da Sociedade Portuguesa de Química**, Lisboa, v. 47, n. 171, p. 275-277, out.-dez. 2023.

MOUREIRA, A. M. M. **Influência do boro na cultura do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)**. 2025. 30 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2025.

NASCENTE, A. S.; COBUCCI, T.; GOES de A., MARCO A. *Lithothamnium* Effects on Soil Attributes, Phosphorus Utilization Efficiency, and Grain Yield of Soybeans, Corn, and Common Bean. **International Journal of Agronomy**, v. 2024, n. 1, p. 7817281, 2024.

NASSAR, A. S. M. A.; MEAWAD, A. A.; ABDELKADER, M. A. Efeito da salinidade e do Lithovit no crescimento, componentes de rendimento e constituintes químicos do feijão-guar (*Cyamopsis tetragonoloba* Taub.). **Zagazig Journal of Agricultural Research**, v. 45, n. 6A, p. 1913-1924, 2018.

NEGREIROS, A. M. P. **Crescimento, produção e qualidade do melão produzido sob *Lithothamnium***. 2015. 85 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2015.

NEGREIROS, A. M. P.; MELO, N. J. A.; BARBOZA, H. S.; SALES JÚNIOR, R. Enhancing melon production and quality through the application of '*Lithothamnium*'. **Revista Caatinga**, v. 36, p. 590-600, 2023.

NETO, A. A. C.; SILVA, P. P. A. **Nitrogênio: um dos elementos essenciais para as plantas**. In: PEÑA H., M. (Org.) et al. VI Botânica no Inverno 2016. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, Departamento de Botânica, 2016. p. 144.

NOVAK, E.; CARVALHO, L. A.; SANTIAGO, E. F.; FERREIRA, F. S.; MAESTRE, M. R. Composição química do solo em diferentes condições ambientais. **Revista Ciência Florestal**, v. 31, n. 3, p. 1063-1085, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509828995>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/dDLtG9SCvbf9wq4C3M9q8QC/abstract/?lang=en>. Acesso em: 08 dez. 2025.

OLIVEIRA, L. M. S.; SANTANA, D. M.; RODRIGUES, J. H. M.; CAVALCANTE, R. H. C.; LEITE, W. S. **Produtividade de cultivares de feijão-caupi sob aplicação de silício em condições de sequeiro no cerrado piauiense**. In: X Congresso internacional de ciências agrárias – COINTER PDVAgro 2025, 2025, Maceió, AL. Anais. Maceió: UFAL/IIDV, 2025. Disponível em: <https://cointer.institutoidv.org/pdvagro/anais2025.php>. Acesso em: 21 nov. 2025.

OLIVEIRA, I. J.; FONTES, J. R. A.; DIAS, M. C.; BARRETO, J. F. Recomendações técnicas para o cultivo de feijão-caupi no estado do Amazonas. 1. ed. Manaus, AM: Embrapa Amazônia Ocidental, 2019. **Circular Técnica Embrapa**. Publicação digital. ISSN 1517-2449. Disponível em: <https://www.idam.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/Feij%C3%A3o-Caupi.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2025.

OLIVEIRA, D. A.; FERREIRA, S. d. C.; CARRERA, D. L. R.; SERRAO, C. P.; CALLEGARI, D. M.; BARROS, N. L. F.; COELHO, F. M.; SOUZA, C. R. B. Characterization of *Pseudomonas* Bacteria of *Piper tuberculatum* Regarding the Production of Potentially Bio-Stimulating Compounds for Plant Growth. **Acta Amazonica**, v. 51, n. 1, p. 10–19, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/q5PZqmzgj3y9sq7r6TC5sWL/?lang=en>. Acesso em: 05 dez. 2025.

PENG, W. T.; ZHANG, L. D.; ZHOU, Z.; FU, C.; CHEN, Z. C.; LIAO, H. Magnesium promotes root nodulation through facilitation of carbohydrate allocation in soybean. *Physiologia Plantarum*, v. 163, n. 3, p. 372-385, 2018. DOI: 10.1111/ppl.12730. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ppl.12730>. Acesso em: 8 dez. 2025.

PRADO, R. de M.; NATALE, W. Calagem na nutrição de cálcio e no desenvolvimento do sistema radicular da goiabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 10, p. 1007-1012, out. 2004.

PEREIRA NETO, J. M. **Desempenho agrônômico da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) em resposta a adubação nitrogenada e potássica**. 2019. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, João Pessoa, 2019.

PIRES, J. S. B.; FERNANDES, A. A.; GRÉLLA, W. C.; LIMA, A. C. C.; ARANTES, L. O.; ARANTES, S. D. ***Lithothamnium* sp. no cultivo hidropônico da alface**. In: SIMPÓSIO

INCAPER PESQUISA, 2023, Vitória, ES. Anais. Vitória, ES: Incaper, 2024. v. 3, p. 41. ISSN 2965-7415. DOI: 10.54682/sip.v3.

PINHO, A. C.; CUNHA, P. S. J. **Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de Feijão-Caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp).** 2019. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Belém, PA. Orientadora: Denmora Gomes de Araújo.

QUIROGA, M.; AGÜERO, D.; ZAPATA, R.; BUSILACCHI, H.; BUENO, M. Activadores de crecimiento y biofertilizantes como alternativa al uso de fertilizantes químicos en cultivo de chía (*Salvia hispánica* L.). **Energías Renovables y Medio Ambiente**, Salta, v. 35, p. 31-40, 2015. Disponível em: <https://portalderevistas.unsa.edu.ar/index.php/erma/article/view/1418>. Acesso em: 15 abr. 2025.

RAMOS, E. P.; FERREIRA, T. R.; AGUIAR, D. B.; ALVES, F. L.; DOUSSEAU-ARANTES, S. *Lithothamnion* sp. as biostimulant in plant cultivation. **Pesquisa Agropecuária Trop.**, v. 53, e76273, 2023.

RAUBER, B. A. D. L. **Qualidade física e fisiológica de sementes de feijão produzidas em diferentes densidades de semeadura e condições de sequeiro e irrigado.** 2025. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Ibirubá, Ibirubá, 2025.

REETZ, H. F. **Fertilizantes e o seu uso eficiente.** Tradução: Alfredo Scheid Lopes. São Paulo: ANDA, 2017. 178 p.: il.; ISBN 979-10-92366-04-4. Disponível em: <https://www.ufla.br/dcom/wp-content/uploads/2018/03/Fertilizantes-e-seu-uso-eficiente-WEB-Word-Ouubro-2017x-1.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2025.

REIS, F. S. dos; EZEQUIEL, M. J.; ARAÚJO, C. A. de S. **Protocolo de produção de bioestimulante organomineral a partir de Commax algas®.** Jornada de Iniciação Científica e Jornada de Iniciação à Docência – JINCE/JID, v. 15, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ifsertaope.edu.br/ojs2/index.php/jince/article/view/1286>. Acesso em: 15 abr. 2025.

RESENDE, A. V.; FONTOURA, S. M. V.; BORGHI, E.; SANTOS, F. C.; KAPPES, C.; MOREIRA, S. G.; OLIVEIRA JÚNIOR, A.; BORIN, A. L. D. C. Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. **Informações Agrônomicas**, n. 156, p. 1-19, dez. 2016.

ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; MENEZES JUNIOR, J. A. N. Cultivo do feijão-caupi. **Embrapa: Sistema de Produção**, v. 2, 2017. Versão eletrônica. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1071691/1/SistemaProducaoCaupiCapituloCultivares.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2025.

ROCHA, J. F. da. **Estudo da mistura carboximetilcelulose/*Lithothamnium* como veículo para inoculantes rizobianos.** 2018. 50 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química – Tecnologia Química) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2018.

ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; HASHIMOTO, J. M.; NEVES, A. C.; SOUSA, F. M. **Feijão-caupi: mercado, melhoramento genético e manejo.** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2017.

RODRIGUEZ, W. D. M.; EVANGELISTA, A. W. P.; ALVES JÚNIOR, J.; LEANDRO, W. M.; DOMINGOS, M. V. H.; CASAROLI, D. *Lithothamnium* e vinhaça na produção de cana-de-açúcar orgânica irrigada e de sequeiro. **Irriga**, v. 23, p. 390-401, 2018.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. 2. ed. Campinas: Embrapa Territorial, 2020. 34 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Territorial, n. 35, ISSN 1806-3322). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1128267/1/5840.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2025.

RUFINI, M.; FERREIRA, P. A. A.; SOARES, B. L.; OLIVEIRA, D. P.; ANDRADE, M. J. B.; MOREIRA, F. M. S. Simbiose de bactérias fixadoras de nitrogênio com feijoeiro-comum em diferentes valores de pH. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 1, p. 81-88, jan. 2011.

RUEDE, C.; DIETZ, C.; HORN, M.; SCHINDELIN, J.; NORTAN, B.; BERTHOLD, M.; ELICEIRI, K. **ImageJ Ops** [Software]. Versão 2021. Disponível em: <https://imagej.net/Ops>. Acesso em: 30 nov. 2025.

SÁ, J. C. de M. **O uso do *Lithothamnium* no aumento da eficiência de fertilizantes em sistema de manejo do solo**. In: Workshop brasileiro de *Lithothamnium* – uso de bioclásticos marinhos na agricultura, 2022. Rio de Janeiro. Embrapa Solos, 2022. 96 p. (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627; 232).

SANTOS, I. S. **Avaliação da inoculação de *Rhizobium* e da adição do extrato de algas marinhas no desenvolvimento de mudas de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) em solo de área degradada da Caatinga**. 2019. 55 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

SANTOS, T. A. **Avaliação da tolerância ao calor de diferentes acessos de *Jatropha curcas* L.** 2016. 51 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Vitória, ES, 2016.

SANT'ANA, E. V. P.; SANTOS, A. B.; SILVEIRA, P. M. Adubação nitrogenada na produtividade, leitura SPAD e teor de nitrogênio em folhas de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, p. 491-496, 2010.

SILVA, F. F. **Uso de fertilizantes de eficiência aumentada na agricultura**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, 2024. 48 f. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/4496>. Acesso em: 20 fev. 2025.

SILVA, L. M. A. **Biofortificação agronômica com zinco em cultivares de feijão-caupi: estratégia para a agricultura familiar maranhense**. 2024. 61 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2024. Disponível em: <https://ppgciag.uema.br/wp-content/uploads/2024/09/TESE-LINCON.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2025.

SINISCALCHI, D. **Efeitos de fontes de fertilizantes nitrogenados em pastagens de capim-marandu sobre a volatilização de amônia e emissões de gases de efeito estufa**. 2025. 93 f.

Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2025. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/3f46c776-53f1-4096-be74-60130004ae6b>. Acesso em: 08 dez. 2025.

SOARES, E. **Influência do teor de potássio trocável na absorção de cálcio e magnésio pela soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. 1978. 116 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1978.

SOARES, C. M. **Estudo químico da alga *Lithothamnion calcareum* e avaliação da atividade inibitória do rolamento de leucócitos**. 2009. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Faculdade de Farmácia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SOUSA, F. F. **Nodulação, nutrição, crescimento e produtividade de duas cultivares de feijão-comum em resposta ao magnésio**. 2021. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/b957f9a7-3bd8-4a89-b477-dad910f03b3b>. Acesso em: 08 nov. 2025.

SOUZA, H. A.; RAMOS, J. D.; MELO, P. C. de.; HAFLE, O. M.; RODRIGUES, H. C. de A.; SANTOS, V. A. dos. Avaliação de doses e produtos corretores da acidez em variáveis biométricas na produção de mudas de maracujazeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 607-612, 2009.

SOUZA, M. **Efeitos fotônicos e de antibióticos sobre o cultivo hidropônico de *Lactuca sativa***. 2025. Dissertação (Mestrado em Física Biomolecular) - Instituto de Física de São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2025. doi:10.11606/D.76.2025.tde-19092025-092247. Acesso em: 08 nov 2025.

SOUZA, S. M. S. **Variabilidade morfoagronômica de variedades tradicionais de feijão-caupi do Acre**. 2016. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2016.

STRADA, J. **Fertilizantes: calcanhar de Aquiles na sustentabilidade?** 2023. 160 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2023. Disponível em: <http://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/17476>. Acesso em: 08 nov. 2025.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TANAN, T. T. **Absorção, assimilação e transporte de nitrogênio em plantas de *Physalis angulata* L.** 2019. 131 f. Tese (Doutorado Acadêmico em Recursos Genéticos Vegetais) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2019.

TEIXEIRA, G. A.; SOUZA, H. A.; MENDONÇA, V.; RAMOS, J. D.; CHALFUN, N. N. J.; FERREIRA, E. A.; MELO, P. C. de. Produção de mudas de mamoeiro ‘Formosa’ em substratos com doses de *Lithothamnion*. **Revista da FZVA**, v. 16, n. 2, p. 220-229, 2009.

TERTO, C. H. F. **Nodulação de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (Fabaceae) inoculada com isolados obtidos de raízes de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) nativas de diferentes solos da Caatinga.** 2021. 31f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2021.

VALE, J. C.; BERTINI, C.; BOREM, A. **Feijão-caupi: do plantio à colheita.** 1. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2017. 267 p.

VELOSO, C. A. C.; SILVA, A. R.; SALE, A. Manejo da adubação NPK na formação do açaizeiro em latossolo amarelo do nordeste paranaense. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, p. 2177-2182, 2015.

ZONTA, E. Fertilidade dos solos brasileiros e o potencial de uso de bioclásticos marinhos. In: Workshop Brasileiro de *Lithothamnium*, 1., 2022, Rio de Janeiro. **Uso de bioclásticos marinhos na agricultura.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2022. p. 15.