

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA
CAMPUS AGRÍCOLA PORTO GRANDE

ARTHUR VINÍCIUS PIRES MOREIRA

**CRESCIMENTO DE FEIJÃO MANTEIGUINHA CULTIVADO EM SOLO DE
CERRADO SUBMETIDO A FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO**

PORTO GRANDE

2025

ARTHUR VINÍCIUS PIRES MOREIRA

**CRESCIMENTO DE FEIJÃO MANTEIGUINHA CULTIVADO EM SOLO DE
CERRADO SUBMETIDO A FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado Engenharia Agrônômica, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá - IFAP, *Campus* Agrícola Porto Grande, como requisito avaliativo para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Nilvan Carvalho Melo
Coorientadora: Profa. Dra. Fabrícia Kelly C. Moraes

PORTO GRANDE

2025

Biblioteca Institucional - IFAP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M838c Moreira, Arthur Vinícius Pires

Crescimento de feijão manteiguinha cultivado em solo de cerrado submetido a fontes e doses de nitrogênio / Arthur Vinícius Pires Moreira - Porto Grande, 2025.

69 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Porto Grande, Bacharelado em Engenharia Agrônômica, 2025.

Orientador: Nilvan Carvalho Melo. Coorientadora:
Fabricia Kelly Cabral Morais.

1. Leguminosa. 2. Ureia . 3. Sulfato de amônio. I. Melo, Nilvan Carvalho, orient. II. Morais, Fabricia Kelly Cabral, coorient. III. Título.

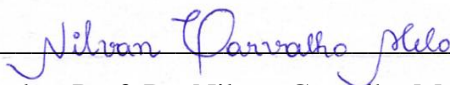
Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica do IFAP com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**CRESCIMENTO DE FEIJÃO MANTEIGUINHA CULTIVADO EM SOLO DE
CERRADO SUBMETIDO A FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO**

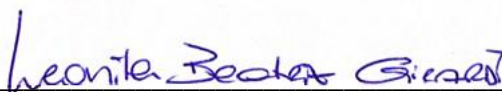
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado Engenharia Agrônoma, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá - IFAP, Campus Agrícola Porto Grande, como requisito avaliativo para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Nilvan Carvalho Melo
Coorientadora: Profa. Dra. Fabrícia Kelly C. Moraes

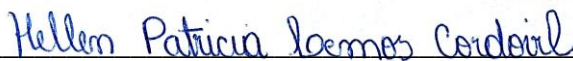
BANCA EXAMINADORA



Orientador, Prof. Dr. Nilvan Carvalho Melo - Presidente
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá – IFAP



Profa. Dra. Leonita Beatriz Girardi - Examinador Interno
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá – IFAP



Eng. Agr. Hellen Patrícia Lemos Cordovil - Examinador Externo
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - FCAV/Unesp

Apresentado em: 12/08/2025.

Conceito/Nota: APROVADO/9,4.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, o Ser mais poderoso deste universo, que sempre esteve comigo durante toda a minha jornada, protegendo-me, abençoando-me, levantando-me quando eu caía e nunca me desamparou. Com Sua ajuda, concretizei mais uma grande etapa em minha vida, a qual tem grande significado para mim e dá início a um novo ciclo. Nesta fase profissional, sei que Ele permanecerá comigo, iluminando meus caminhos, abrindo portas para o sucesso e contribuindo para a construção de um futuro científico e produtivo, com o objetivo de colaborar na produção de alimentos para o mundo e cuidar de nossos solos, plantas e animais.

Sou grato, de forma imensurável, aos meus pais, Orivaldo Vieira Moreira e Arliene Ferreira Pires Moreira, por tudo o que fizeram. De forma incansável, mesmo com todas as dificuldades, estiveram ao meu lado me apoiando, investindo no meu futuro, oferecendo seus colos para que eu pudesse me refugiar nos momentos mais difíceis e sempre estendendo as mãos para me reerguer quando eu não acreditava que conseguiria. Sempre me deram forças, mostrando que sou capaz e acreditando no meu potencial; nunca mediram esforços para me ajudar. Gratidão mais uma vez a Deus por tê-los em minha vida.

Agradeço, de forma especial, a minha irmã Carly Kathleen Pires Moreira, pelo apoio inestimável, dedicação, paciência e contribuições. Sou profundamente grato por sua generosidade em compartilhar conhecimento e por estar presente quando mais precisei. Também a Dra. Juliana De Gregori da Rocha por seu auxílio e apoio.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Nilvan Carvalho Melo, que, além de mestre, acolheu-me dentro e fora do instituto, tornando-se um verdadeiro pai acadêmico e amigo. Ele me mostrou os caminhos corretos a percorrer, tanto no campo quanto em sala de aula; ajudou-me quando pedi, corrigiu-me quando errei, chamou-me a atenção quando precisei e me parabenizou quando mereci. A ele, deixo meu muito obrigado por tudo e por ter servido de inspiração como profissional ético e competente.

Por falar em inspiração, jamais esquecerei da minha coorientadora, Profa. Dra. Fabrícia Kelly Cabral Moraes, minha mãe acadêmica. Um exemplo de humildade e força, além de amiga, foi a pessoa que mais me encantou em sala de aula. Suas aulas, de um nível técnico imenso e de fácil compreensão, abriram meus olhos novamente para o curso e me fizeram crescer como acadêmico. Sou grato por cada momento prático e teórico, por cada chamada de atenção, pelas correções e ideias. Deixo o meu muito obrigado por terem feito parte dessa longa caminhada e por terem sido fundamentais na minha formação.

Aos meus amigos, Madson Melo, Gizeli Santiago, Ana Caroline, Diomax e Gabriel Picanço, Adrielim Santiago, Jeferson de Deus, Karla Samylle e Cassio Oliveira, minha eterna gratidão. Obrigado por estarem ao meu lado nos momentos de incerteza, pelas palavras de incentivo, pelas risadas que aliviaram o peso dos dias difíceis e pela companhia constante ao longo desta caminhada. Cada conversa, apoio e gesto de carinho fizeram toda a diferença e tornaram esta jornada mais leve e significativa. Só tenho a agradecer por esta família que nos tornamos. Ao Grupo de Estudo em Solos e Plantas Cultivadas (GESP/IFAP), do qual fiz parte, agradeço pela experiência crítica, científica e pelos ricos conhecimentos que me foram proporcionados, fundamentais para a realização deste trabalho de conclusão de curso.

Expresso minha gratidão ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa que me deu apoio financeiro, facilitando a realização desta pesquisa. E ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá - IFAP, *Campus* Agrícola Porto Grande, seu corpo docente, à direção, aos técnicos administrativos e aos colaboradores terceirizados, pela oportunidade de realizar este curso, pautado na ótima qualidade de ensino e na pesquisa, que me permitiu acreditar em novas possibilidades de crescimento e sucesso profissional.

Aquele que aprende e não coloca em prática é como
aquele que ara e não semeia.

(Saadi)

RESUMO

O estudo avaliou o crescimento do feijão manteiguinha (*Vigna unguiculata*) cultivado em solo de cerrado sob diferentes fontes e doses de nitrogênio. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Instituto Federal do Amapá (IFAP), *Campus* Porto Grande, utilizando delineamento experimental em blocos casualizados, com tratamentos arranjos em esquema fatorial 5x2, correspondendo a cinco doses de nitrogênio (0, 25, 50, 75 e 100 kg ha⁻¹) e duas fontes (ureia e sulfato de amônio), com quatro repetições. Foram analisados parâmetros biométricos como altura da planta, diâmetro do caule, matéria seca da parte aérea e peso de 100 sementes. Os resultados demonstraram que o nitrogênio influenciou significativamente o desenvolvimento da cultura, sendo que a ureia apresentou maior eficiência na promoção do crescimento quando comparada ao sulfato de amônio. A dose de 75 kg ha⁻¹ de N representou o ponto de máxima eficiência técnica para a maioria dos parâmetros, indicando que a adubação nitrogenada deve ser ajustada de acordo com os objetivos produtivos. A interação significativa entre fontes e doses revelou que a resposta da cultura é dependente do fertilizante utilizado. O estudo conclui que a escolha da fonte e da dose de nitrogênio impacta diretamente a produtividade do feijão manteiguinha, sendo fundamental a validação destes resultados em campo para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais eficientes e economicamente viáveis no Cerrado amapaense.

Palavras-chave: Leguminosa; fertilidade do solo; ureia; sulfato de amônio.

ABSTRACT

The study evaluated the growth of cowpea (*Vigna unguiculata*) grown in savanna soil under different sources and doses of nitrogen. The experiment was conducted in a greenhouse at the Federal Institute of Amapá (IFAP), Porto Grande Campus, using a randomized block experimental design, with treatments arranged in a 5x2 factorial scheme, corresponding to five nitrogen doses (0, 25, 50, 75, and 100 kg ha⁻¹) and two sources (urea and ammonium sulfate), with four replicates. Biometric parameters such as plant height, stem diameter, dry matter of the aerial part, and weight of 100 seeds were analyzed. The results showed that nitrogen significantly influenced crop development, with urea being more efficient in promoting growth when compared to ammonium sulfate. The dose of 75 kg ha⁻¹ of N represented the point of maximum technical efficiency for most parameters, indicating that nitrogen fertilization should be adjusted according to production objectives. The significant interaction between sources and doses revealed that crop response is dependent on the fertilizer used. The study concludes that the choice of nitrogen source and dose directly impacts the productivity of manteiguinha beans, and it is essential to validate these results in the field for the development of more efficient and economically viable agricultural practices in the Amapá Cerrado.

Keywords: Legume; soil fertility; urea; ammonium sulfate.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Produção em toneladas de feijão-caupi, no ano de 2023, nos municípios do estado do Amapá..... | 24 |
| Figura 2 - Área colhida de feijão-caupi no Estado do Amapá em 2023..... | 25 |
| Figura 3 - Área de Cerrado no Estado do Amapá. | 29 |
| Figura 4 – Instituto Federal do Amapá (IFAP), Campus Agrícola Porto Grande (a), área experimental (b), disposição das unidades experimentais sob as bancadas no início do experimento (c) e registro fotográfico dos experimentos em andamento (d)..... | 41 |
| Figura 5 - Etapas para caracterização química e granulométrica do solo. | 42 |
| Figura 6 - Ilustração da disposição dos vasos no delineamento em blocos casualizados (DBC). | 43 |
| Figura 7 - Ilustração da unidade experimental e etiqueta. | 44 |
| Figura 8 - Ilustração das fontes e doses nas suas respectivas unidades experimentais. | 44 |
| Figura 9 - Aplicação de calcário para correção do solo (a), água destilada de laboratório (b) incorporação (c) e incubação em sacos plásticos (d)..... | 45 |
| Figura 10 - Pesagem de FTE, P ₂ O ₅ (Superfosfato simples), K ₂ O na forma de cloreto de potássio (a), aplicação (b) e incorporação dos nutrientes no solo (c)..... | 46 |
| Figura 11 - Realização do semeio do feijão-caupi manteiguinha, usando 15 sementes por vaso, priorizando o centro da unidade experimental (a) e fotografia das primeiras emergências das plântulas (b). | 46 |
| Figura 12 - Realização do desbaste sete dias DAE (a), mantendo 2 plantas por vaso (b). | 47 |
| Figura 13 – Pesagem (a) e (b) e aplicação dos tratamentos com ureia e sulfato de amônio (c) e (d). | 47 |
| Figura 14 - Presença de pulgões, mosca branca e manchas não identificadas nas folhas das plantas de feijão-caupi cultivados em casa de vegetação situada na fazenda experimental do IFAP Campus agrícola Porto Grande - AP..... | 48 |
| Figura 15 - Coleta dos dados biométricos de altura da planta (a) e do diâmetro do caule (b) das plantas de feijão manteiguinha cultivadas em solo submetido à aplicação de doses e fontes de N, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil. | 49 |
| Figura 16 - Determinação da matéria seca das folhas (MSF) (a), do caule (MSC) (b) e do peso de 100 grãos (P100G) (c) das plantas de feijão manteiguinha cultivadas em solo submetido à | |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| aplicação de doses e fontes de N, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil..... | 50 |
| Figura 17 Comparativo dos efeitos das doses (D1, D2, D3, D4) de ureia (a) e do sulfato de amônio (b) aplicadas sobre o experimento. | 50 |
| Figura 18 - Altura da planta (a) e número de vagem (b) de feijão manteiguinha em função de fontes e doses de N, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil. .. | 52 |
| Figura 19 - Diâmetro do caule (a) e matéria seca da folha (MSF) de feijão manteiguinha sob fontes de N (b), em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil. | 55 |
| Figura 20 - Diâmetro do caule de feijão manteiguinha em função das doses de N, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil..... | 56 |
| Figura 21 - Matéria seca do caule (a) e peso de 100 sementes (b) de feijão manteiguinha em função das doses de N, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil. | 57 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Feijão-caupi total (1 ^a , 2 ^a e 3 ^a safra) – Safras 2023/24 e 2024/25 Comparativo de área, produtividade e produção. | 22 |
| Tabela 2 - Feijão-caupi na Região Norte (1 ^a , 2 ^a e 3 ^a safra) – Safras 2023/24 e 2024/25 Comparativo de área, produtividade e produção. | 23 |
| Tabela 3 - Análise química e granulométrica do solo amostrado..... | 43 |
| Tabela 4 - Análise de variância para a altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de vagem (NV), matéria seca da folha (MSF), matéria seca do caule (MSC) e peso de 100 sementes (P100 Sem.) de feijão manteiguinha em função de fontes e doses de N, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil..... | 51 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|---------|--------------------------------------------------------------------------|
| BRS | Marca de cultivares desenvolvidas pela Embrapa: Brasil (ou Brasileira) |
| °C | Grau Celcius |
| N | Nitrogênio |
| FBN | Fixação Biológica de Nitrogênio |
| ATP | Adenosina Trifosfato |
| DMET | Dose de Máxima Eficiência Técnica |
| DMEE | Dose de Máxima Eficiência Econômica |
| FTE | Fritzche Trace Elements (Fonte comercial padronizada de micronutrientes) |
| MSPA | Matéria Seca da Parte Aérea |
| P100Sem | Peso de 100 Sementes |
| P100G | Peso de 100 Grãos |
| DBC | Blocos Casualizados |
| DAE | Dias após emergência |
| MSC | Massa Seca do Caule |
| MSF | Massa Seca da Folha |
| F | Fontes de Nitrogênio |
| D | Doses de Nitrogênio |
| AP | Altura da Planta |
| DC | Diâmetro do Caule |
| NV | Número de Vagem |
| G.L. | Graus de liberdade |

SUMÁRIO

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 16 |
| 2 OBJETIVOS | 18 |
| 2.1 Geral | 18 |
| 2.2 Específicos | 18 |
| 3 REVISÃO DE LITERATURA | 19 |
| 3.1 A cultura do feijão-caupi | 19 |
| 3.1.1 <i>Características botânicas e agronômicas do feijão-caupi</i> | 20 |
| 3.1.2 <i>Importância socioeconômica do feijão-caupi</i> | 21 |
| 3.1.3 <i>Feijão-caupi no Brasil</i> | 21 |
| 3.1.4 <i>Na região Norte</i> | 23 |
| 3.1.5 <i>Feijão-caupi tipo Manteiguinha</i> | 26 |
| 3.2 Solos do cerrado amapaense | 27 |
| 3.2.1 <i>Caracterização dos solos de cerrado</i> | 27 |
| 3.2.2 <i>Solos do cerrado amapaense: particularidades</i> | 28 |
| 3.3 Nitrogênio e sua importância para o feijão-caupi | 30 |
| 3.3.1 <i>Papel do nitrogênio nas plantas</i> | 30 |
| 3.3.2 <i>Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) em leguminosas</i> | 31 |
| 3.3.3 <i>Fontes de nitrogênio para adubação</i> | 33 |
| 3.3.4 <i>Doses de nitrogênio e resposta do feijão-caupi</i> | 35 |
| 3.3.5 <i>Adubação nitrogenada e parâmetros biométricos</i> | 36 |
| 3.3.6 <i>Ureia</i> | 37 |
| 3.3.6.1 <i>Caracterização da ureia</i> | 37 |
| 3.3.6.2 <i>Eficiência da ureia como fonte de nitrogênio</i> | 38 |
| 3.3.7 <i>Sulfato de amônio</i> | 39 |
| 3.3.7.1 <i>Caracterização do sulfato de amônio</i> | 39 |
| 3.3.7.2 <i>Eficiência do sulfato de amônio como fonte de nitrogênio</i> | 40 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS | 41 |
| 4.1 Descrição do local do estudo | 41 |
| 4.2 Caracterização química e granulométrica do solo | 42 |
| 4.3 Delineamento experimental e tratamentos | 43 |
| 4.4 Correção da acidez do solo e semeio do feijão-caupi | 45 |
| 4.5 Variáveis analisadas | 49 |

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| 4.6 Análise estatística..... | 51 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 51 |
| 6 CONCLUSÕES..... | 59 |
| REFERÊNCIAS | 60 |

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) é uma leguminosa de grande relevância nutricional, destacando-se como fonte de proteína vegetal, fibras, ferro e cálcio, além de apresentar baixo teor de gordura (Carvalho *et al.*, 2022; Frota *et al.*, 2008). Versátil no consumo, pode ser utilizado tanto em grãos secos quanto em vagens verdes, agregando valor à produção (Freire Filho *et al.*, 2011; Singh, 2020). Seu baixo custo, facilidade de cultivo e acessibilidade no mercado, favorecem a agricultura familiar (Freire Filho *et al.*, 2011; Singh, 2020). Além disso, trata-se de uma Fabaceae de ciclo curto, capaz de fixar nitrogênio (Oliveira *et al.*, 2017), apresentando rusticidade e adaptação a solos pobres, déficit hídrico e altas temperaturas, comuns em regiões semiáridas e de Cerrado (Nunes *et al.*, 2017; Carvalho *et al.*, 2022; Barros, 2021; Oliveira *et al.*, 2017; Freire Filho *et al.*, 2011).

No Brasil, essa cultura desempenha um papel crucial na segurança alimentar, especialmente entre famílias de baixa renda, além de representar importante fonte de renda para pequenos agricultores, principalmente nas regiões Norte e Nordeste (Freire Filho *et al.*, 2011). Essas duas regiões concentram aproximadamente 82,95% da produção nacional do feijão-caupi (CONAB, 2024), valor 7,95% superior ao registrado por Cavalcante (2000), o que demonstra o crescimento da cultura e o interesse crescente de médios e grandes produtores, ampliando sua difusão para outras regiões do país (Franco *et al.*, 2024; Soratto *et al.*, 2020).

No Amapá, a cultura apresenta grande potencial (Venturieri *et al.*, 2017) com aproximadamente 1.128 ha de áreas plantadas e 1.067 ha de áreas colhidas obtendo uma produção de 963 t de grãos na última safra, sendo os municípios responsáveis por maior parte da produção Porto Grande, Tartarugalzinho e Macapá (IBGE, 2024).

As condições edafoclimáticas do estado favorecem o cultivo de diferentes cultivares, como BRS Tumucumque, BRS Mazagão, BRS Novaera e Amapá (Cavalcante; Góes, 2011), além de BRS Xiquexique e BRS Cauamé (Freire Filho *et al.*, 2008; EMBRAPA, 2009). Entre as variedades, destaca-se ainda o feijão manteiguinha, típico do Pará e amplamente difundido no Norte e no Maranhão, caracterizado por grãos extra-pequenos de cor creme e muito valorizados na culinária regional (Freire Filho *et al.*, 2011; 2016). Além da relevância cultural, essa variedade representa um nicho de mercado importante, garantindo renda a pequenos e médios produtores (Freire Filho *et al.*, 2019).

Contudo, cerca de 900 mil hectares do Amapá (6,9% do território estadual) são ocupados por solo de cerrado (Melém Júnior *et al.*, 2008), sobretudo Latossolos Amarelos Distróficos, que abrangem 37,2% da área mapeada (Venturieri *et al.*, 2017). Apesar de

profundos e bem drenados, esses solos apresentam baixa fertilidade natural, marcada pela deficiência de nutrientes e à alta concentração de alumínio, fatores que limitam sua exploração agrícola sem o uso de corretivos e fertilizantes.

Somado a isso, o clima Ami da região impõe desafios adicionais: de agosto a novembro há um período de déficit hídrico acentuado, enquanto no inverno há o excesso de chuvas associado às altas temperaturas, o que favorece o surgimento de doenças e a emergência de plantas invasoras. Isso exige agricultura ou o cultivo de espécies adaptadas à estiagem, tornando indispensável um manejo agrícola capaz de equilibrar tanto a escassez quanto o excesso de água (Melém Júnior, Farias, Yokomizo, 2003).

Nesse cenário, compreender as limitações químicas e físicas do cerrado amapaense é fundamental para orientar práticas agrícolas que ampliem sua utilização de forma eficiente. A dupla condição climática, marcada pela escassez e pelo excesso de água, reforça a necessidade de estratégias de cultivo resilientes e adaptadas, capazes de tornar a produção mais estável e acessível.

Nesse contexto, o nitrogênio assume papel central, sendo essencial ao crescimento e à produtividade das plantas (Júnior Andrade *et al.*, 2010) e o nutriente mais demandado pelo feijão-caupi (Vera *et al.*, 2019). Para completar seu ciclo e alcançar bons rendimentos, a cultura requer mais de 100 kg de N por hectare (Vieira *et al.*, 2006; Freire Filho, 2011; Santana *et al.*, 2020), mas sua forma nítrica apresenta alta suscetibilidade à lixiviação, ocasionando perdas no solo (Chitolina, 1978). A deficiência de nitrogênio compromete o desenvolvimento e a resistência das plantas, enquanto o excesso gera tecidos frágeis e mais suscetíveis a patógenos (Marcuzzo *et al.*, 2021).

Diante desse contexto, destaca-se a problemática dos solos do cerrado amapaense, caracterizada por acidez elevada e baixa fertilidade natural, somada à escassez de fontes de nitrogênio disponíveis e às incertezas sobre como diferentes doses e formas de fornecimento desse nutriente influenciam o crescimento e a produtividade do feijão-caupi. A escolha da variedade manteiguinha justifica-se por sua ampla acessibilidade no consumo humano, valor cultural e importância econômica para pequenos e médios produtores, aliados ao seu potencial de contribuição para a segurança alimentar da região. Considerando a relevância do nitrogênio para a cultura e a necessidade de otimização de seu uso, este estudo parte da hipótese de que diferentes fontes e doses de nutrientes impactam significativamente o desenvolvimento da planta. Assim, o trabalho tem como objetivo avaliar a produtividade do feijão-caupi, variedade manteiguinha, cultivada em função de fontes distintas e doses de nitrogênio em condições de cerrado no estado do Amapá.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o crescimento do feijão-caupi, variedade manteiguinha, cultivado em função de diferentes fontes e doses de nitrogênio no cerrado amapaense.

2.2 Específicos

- Determinar parâmetros biométricos, como altura da planta e diâmetro do caule, de plantas de feijão-caupi (variedade manteiguinha) submetido a cinco doses de amônio e ureia.
- Determinar a produção por meio da matéria seca da parte aérea e o peso de 100 sementes de plantas de feijão-caupi (variedade manteiguinha) submetido às fontes e doses de sulfato de amônio e ureia.
- Determinar a dose ideal de N para maximizar o rendimento.
- Fazer uma análise econômica entre as duas fontes de nitrogênio utilizadas no trabalho.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A cultura do feijão-caupi

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), também conhecido como feijão-de-corda, feijão-fradinho ou feijão-macassar é uma Fabaceae herbácea comestível (Nunes *et al.*, 2017), de ciclo curto, que se destaca na fixação de nitrogênio por simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* (Oliveira *et al.*, 2017).

Além de ser uma excelente fonte de proteína vegetal, é rico em fibras e minerais essenciais, como ferro e cálcio, possuindo baixo teor de gordura, o que faz dele um alimento de alto valor nutricional (Carvalho *et al.*, 2021; Frota *et al.*, 2008) e fonte geradora de emprego e renda (Moreira *et al.*, 2008).

De origem africana, essa cultura foi introduzida no Brasil na segunda metade do século XVI por colonizadores portugueses no estado da Bahia (Freire Filho, 1988). Atualmente é cultivado em várias partes no mundo, sendo distribuído nas faixas tropicais e subtropicais do globo terrestre, apresentando grande importância devido sua ampla adaptabilidade às diferentes condições tropicais, a expansão comercial, bem como uma alternativa para manutenção da mão de obra no campo (Costa *et al.*, 2014). Isso contribuiu para que se tornasse uma das leguminosas mais cultivadas em regiões semiáridas (Costa *et al.*, 2020; Biama *et al.*, 2021; Araújo *et al.*, 2021) e a mais consumidas no Norte e Nordeste do Brasil (Moreira *et al.*, 2008).

Sendo assim, essa variedade de feijão destaca-se por sua rusticidade e ampla adaptação a diferentes condições edafoclimáticas (Singh, 2020). Tolerância a solos de baixa fertilidade (Carvalho *et al.*, 2022), déficit hídrico (Barros, 2021) e altas temperaturas, suportando períodos de seca prolongados, características de climas quentes e secos (Oliveira *et al.*, 2017).

Essa capacidade de adaptação, aliada ao uso de práticas de manejo como calagem e adubação fosfatada (Malavolta, 2006) e o potencial para a fixação biológica de nitrogênio em solos ácidos (Hungria *et al.*, 2016; Martins *et al.*, 2003), viabilizam seu cultivo em diferentes regiões com distintos regimes de precipitação e tipos de solo, incluindo áreas de Cerrado (Freire Filho *et al.*, 2011).

Embora possua resistência natural a algumas pragas e doenças, o feijão-caupi se beneficia de técnicas de manejo integrado de pragas para garantir uma produção saudável e sustentável (Costa *et al.*, 2020; EMBRAPA, 2024). Seu baixo custo, a facilidade de cultivo e a boa aceitação no mercado local o tornam uma alternativa promissora para a agricultura familiar,

com impactos positivos na economia e qualidade de vida regionais (Freire Filho *et al.*, 2011; Singh, 2020).

Dados da última atualização das Estatísticas Globais de Alimentos e Agricultura da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura apontam o Brasil como o segundo maior produtor mundial de “dry beans” (feijões secos - classificação específica para estatísticas agrícolas internacionais) entre 2021 e 2022 (FAOSTAT, 2023), sendo estimado em 3,1 milhões de toneladas para a safra 2023/2024, o que indica um crescimento de 0,7% em relação à safra de 2022/2023 (Coelho, 2023).

Apesar de sua importância, a produção enfrenta desafios relacionados à baixa produtividade em determinadas áreas, decorrentes de práticas agrícolas inadequadas, incluindo deficiências na adubação, calagem e controle de pragas, problemas mais comuns em propriedades familiares (CONAB, 2023).

3.1.1 Características botânicas e agronômicas do feijão-caupi.

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. *unguiculata*) é uma planta herbácea anual, de porte ereto pertencente à família *Fabaceae*, subfamília *Faboideae*, ordem *Fabales*, tribo *Phaseoleae*, subtribo *Phaseolinae*, gênero *Vigna*, subgênero *Vigna*, seção *Catiang*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp., subespécie: *Unguiculata* (Cavalcante; Goes, 2011). Apresenta grande diversidade na coloração dos grãos, incluindo branco, creme, marrom, vermelho e preto, característica que amplia sua acessibilidade e valor de uso em diferentes regiões (Boukar *et al.*, 2019).

A espécie é caracterizada por sua ampla variabilidade genética, o que resulta em uma diversidade de fenótipos, incluindo diferentes portes, cores de grãos e padrões de crescimento (Boukar *et al.*, 2019). Possui ciclo de vida relativamente curto, variando de 60 a 120 dias, dependendo da cultivar, das condições climáticas e do manejo da cultura (Singh, 2020), pode ser considerada desde superprecoce, quando a planta alcança a maturidade até 60 dias após a semeadura, a tardio, alcançada partir de 91 dias após a semeadura.

Cada fase fenológica (germinação, desenvolvimento vegetativo, floração, formação de vagens, enchimento de grãos e maturação) apresenta exigências específicas em relação a fatores ambientais como temperatura, umidade e luminosidade. Esses fatores devem ser considerados para o manejo adequado da cultura (Bobos; Komar; Fedosiy, 2022) que, por sua vez, exige temperatura entre 20 °C a 30 °C (Cavalcante; Goes, 2011; Fageria, 1989). A umidade em

excesso também pode ser prejudicial para o desenvolvimento da cultura, favorecendo o aparecimento de doenças fúngicas (Jemo *et al.*, 2017).

Em relação ao comprimento do dia, a maioria das cultivares do feijão-caupi não é influenciada pelo fotoperíodo, no entanto, existem genótipos de dias curtos que se adaptam melhor às latitudes tropicais mais elevadas (Cavalcante; Goes, 2011; Fageria, 1989). A cultura também apresenta adaptação a diferentes tipos de solo, incluindo solos arenosos e de baixa fertilidade, embora a resposta à adubação nitrogenada e fosfatada seja evidente (Jemo *et al.*, 2017).

A escolha da cultivar mais adequada para cada região deve levar em consideração as características edafoclimáticas locais, as preferências do mercado e os objetivos do produtor, priorizando características como porte adequado ao cultivo intensivo e resistência a pragas e doenças (Singh, 2020).

3.1.2 Importância socioeconômica do feijão-caupi

No contexto da segurança alimentar e nutricional, o feijão-caupi desempenha um papel importante, especialmente para famílias de baixa renda que dependem da agricultura de subsistência (Freire Filho *et al.*, 2011) nos países em desenvolvimento da África, Ásia e América Latina (Singh, 2020).

Sua importância econômica para pequenos agricultores e comunidades rurais é notória, pois a cultura representa uma fonte de renda e de geração de empregos em diversas etapas da cadeia produtiva, desde o cultivo até a comercialização dos grãos. O baixo custo de produção, a relativa facilidade de cultivo e a boa aceitação do produto no mercado local tornam o feijão-caupi uma alternativa atraente para a agricultura familiar, impulsionando a economia regional e a melhoria das condições de vida das populações rurais (Freire Filho *et al.*, 2011; Badiane; Diouf; Diouf, 2014).

Além disso, as partes aéreas da planta podem ser utilizadas como forragem animal, o que contribui para a alimentação do rebanho e para a integração da agricultura com a pecuária (Kulkarni *et al.*, 2018).

3.1.3 Feijão-caupi no Brasil

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de feijão-caupi, sendo estimado em 3,1 milhões de toneladas para a safra 2023/2024, o que indica um crescimento de 0,7% em relação

à safra de 2022/2023 (Coêlho, 2023). Sua produção ocorre especialmente na primeira e segunda safra nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste (Brasil; EMBRAPA, 2016), sendo aproximadamente 82,95% da produção nacional oriunda das regiões Norte e Nordeste juntos (CONAB, 2024) como exposto na Tabela 1.

Tabela 1 - Feijão-caupi total (1ª, 2ª e 3ª safra) – Safras 2023/24 e 2024/25 Comparativo de área, produtividade e produção.

| Região/UF | Área (mil ha) | | Produtividade (kg/ha) | | Produção (mil t) | |
|----------------|--------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | Safra 23/24 (a) | Safra 24/25 (b) | Safra 23/24 (c) | Safra 24/25 (d) | Safra 23/24 (e) | Safra 24/25 (f) |
| NORTE | 100,3 | 88,5 | 982 | 980 | 98,5 | 86,8 |
| NORDESTE | 1.063,2 | 1.075,9 | 448 | 427 | 475,9 | 459,7 |
| CENTRO-OESTE | 98,4 | 107,3 | 1.118 | 1.144 | 110,0 | 122,7 |
| SUDESTE | 15,7 | 13,5 | 507 | 548 | 8,0 | 7,4 |
| SUL | - | - | - | - | - | - |
| NORTE/NORDESTE | 1.163,5 | 1.164,4 | 494 | 469 | 574,4 | 546,5 |
| CENTRO-SUL | 114,1 | 120,8 | 1.034 | 1.078 | 118,0 | 130,1 |
| BRASIL | 1.277,6 | 1.285,2 | 542 | 526 | 692,4 | 676,6 |

Fonte: Adaptado de CONAB, 2024.

O feijão-caupi apresenta-se como uma opção promissora para fomentar emprego e renda entre os pequenos produtores rurais. Com seu sabor característico, pode ser usado nas mais variadas receitas culinárias, podendo ser consumido desde as vagens verdes até os grãos secos. Destaca-se também como uma fonte valiosa de matéria orgânica, funcionando como adubo verde eficaz para recuperar solos de baixa fertilidade ou exauridos pelo cultivo intenso, como afirma Cavalcante e Góes (2011).

A expansão da cultura tem ocorrido principalmente nas regiões de cerrado, sendo impulsionada por características como porte ereto, adaptação ao cultivo mecanizado, precocidade e tolerância ao déficit hídrico em comparação com outras culturas, como soja e milho. Além disso, o baixo custo de produção e o potencial para bons rendimentos tornam essa leguminosa especialmente atrativa para os produtores (Brasil; EMBRAPA, 2016).

O feijão-caupi, além da sua diversidade de nomes, desempenha um papel significativo na cultura alimentar de diferentes regiões brasileiras, evidenciando sua importância econômica local (Cavalcante; Góes, 2011).

No Norte, é popularmente chamado de feijão-de-corda, feijão branquinho, feijão-da-praia e feijão-da-colônia sendo uma importante base alimentar com acompanhamentos ou não. No Nordeste, recebe os nomes de feijão-de-corda e feijão-macassar (ou macáçar) e é indispensável em pratos tradicionais como o famoso “baião-de-dois”. Na Bahia, ganha ainda

mais destaque: o feijão mulatinho é usado em variações regionais da feijoada, enquanto o feijão-fradinho é essencial para o preparo de iguarias icônicas como o acarajé e o abará (Cavalcante; Góes, 2011).

No Sul, é conhecido como feijão-miúdo, e no Sudeste, especialmente no Rio de Janeiro, é chamado de feijão-fradinho ou feijão branco-do-olho-preto. Essas diferentes denominações e usos gastronômicos refletem a importância econômica, social e cultural dessa leguminosa no país (Cavalcante; Góes, 2011).

3.1.4 Na região Norte

O feijão-caupi apresentou 93,1 mil ha plantadas na região norte do país (Tabela 2), obtendo 91,7 mil toneladas na safra de 2023/2024, representando 3% da produção nacional, ocupando o quinto lugar no ranking de produção no Brasil (CONAB, 2024). Dando destaque para o estado do Pará, por apresentar maior número de cultivares melhoradas de feijão-caupi e adaptadas para o estado (Freire Filho, 2011), o que contribuiu para sua colocação no ranking nacional de feijão em que ocupou a décima quinta posição com a produção de 20.479 toneladas em 2023 (IBGE, 2023).

Tabela 2 - Feijão-caupi na Região Norte (1ª, 2ª e 3ª safra) – Safras 2023/24 e 2024/25 Comparativo de área, produtividade e produção.

| REGIÃO/UF | ÁREA (Em mil ha) | | | PRODUTIVIDADE (Em kg/ha) | | | PRODUÇÃO (Em mil t) | | |
|-----------|------------------|-------------|--------|--------------------------|-------------|--------|---------------------|-------------|--------|
| | Safra 23/24 | Safra 24/25 | VAR. % | Safra 23/24 | Safra 24/25 | VAR. % | Safra 23/24 | Safra 24/25 | VAR. % |
| | (a) | (b) | (b/a) | (c) | (d) | (d/c) | (e) | (f) | (f/e) |
| RR | 2,7 | 2,7 | - | 1.249 | 1.212 | (3,0) | 3,4 | 3,3 | (2,9) |
| AC | 5,3 | 5,3 | - | 564 | 563 | (0,2) | 3,0 | 3,0 | - |
| AM | 2,4 | 2,4 | - | 930 | 910 | (2,2) | 2,2 | 2,2 | - |
| AP | 1,1 | 1,1 | - | 908 | 909 | 0,1 | 1,0 | 1,0 | - |
| PA | 19,4 | 19,4 | - | 698 | 696 | (0,3) | 13,5 | 13,5 | - |
| TO | 70,5 | 58,7 | (16,7) | 1.084 | 1.104 | 1,9 | 76,4 | 64,8 | (15,2) |

Fonte: Adaptado de CONAB (2024).

As variedades adaptadas para o estado do Pará são BR2-Bragança; BR3-Tracuateua (EMBRAPA, 1983; 1985); BRS-Urubuquara; BRS-Milênio (Freire Filho *et al.*, 2006); BRS-Cauamé (EMBRAPA, 2009a); BRS-Tumucumaque (EMBRAPA, 2009b); BRS-Itaim (EMBRAPA, 2009c); BRS-Juruá (EMBRAPA, 2009d); BRS-Aracê (EMBRAPA, 2009e) BRS-Novaera (Freire Filho *et al.*, 2008a) e BRS-Xiquexique (Freire Filho *et al.*, 2008b), além

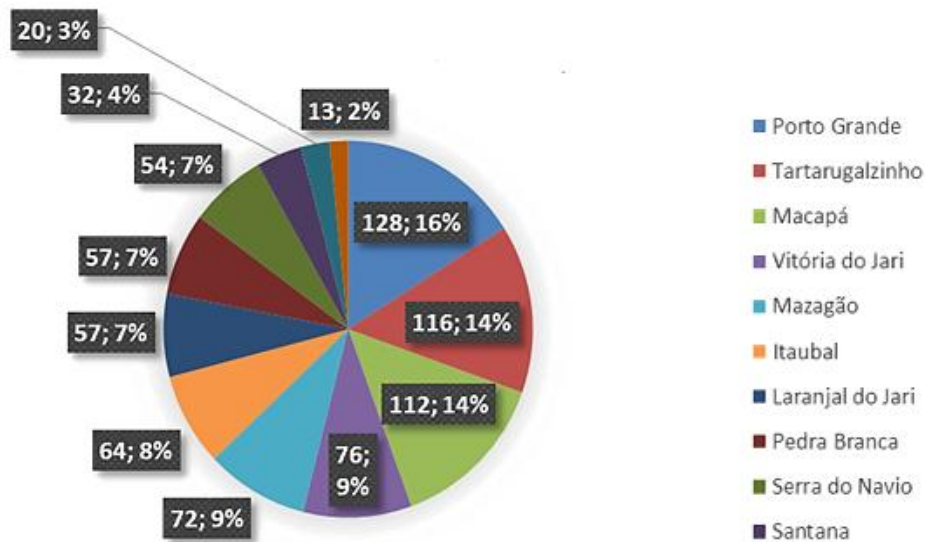
das quatro novas cultivares lançadas, BRS-Bené; BRS-Utinga; BRS-Guirá e BRS-Natalina, sendo esta, por sua vez, a primeira cultivar melhorada de feijão-caupi tipo manteiguinha (Chemim, 2023).

Já no Amapá, as cultivares BRS Tumucumque, BRS Mazagão, BRS Novaera e Amapá foram disponibilizadas pela EMBRAPA para que pudessem ser cultivadas com boa aceitação comercial (Cavalcante; Góes, 2011). O estado se destaca como uma das regiões de melhor adaptação de cultivo dessas variedades, bem como para as cultivares BRS Xiquexique (Freire Filho *et al.*, 2008b) e BRS Cauamé (EMBRAPA, 2009a).

3.1.4.1 No Amapá

O Amapá foi responsável por produzir 963 toneladas de feijão-caupi ocupando a vigésima sexta posição no ranking 2023, com uma área plantada equivalente a 1.128 ha e 1.067 colhidas (IBGE, 2023), onde os municípios que apresentaram maior produção, em ordem decrescente, respectivamente, foram Porto Grande (128 t), Tartarugalzinho (116 t), Macapá (112 t), Vitória do Jari (76 t) e Mazagão (72 t) (IBGE, 2023) conforme esboça a Figura 1.

Figura 1 - Produção em toneladas de feijão-caupi, no ano de 2023, nos municípios do estado do Amapá.

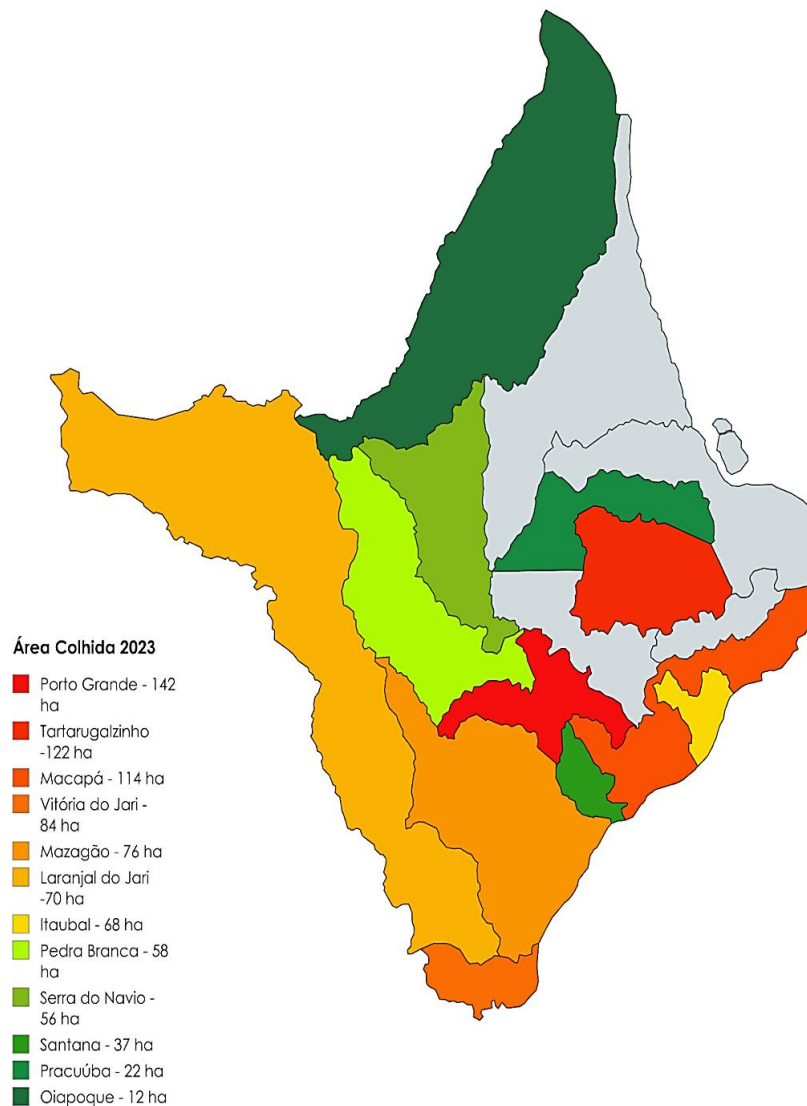


Fonte: Autor (2025) adaptado de IBGE (2023).

O aumento no cultivo do feijão-caupi no estado Amapá deve-se principalmente aos problemas com o licenciamento ambiental para o plantio de soja, fazendo com que parte dos empresários, que ficaram impedidos de plantar soja, aproveitassem para plantar o feijão-caupi (IBGE, 2021).

Ainda assim, sua produção apresentou uma diminuição considerável em relação à safra de 2021, quando o estado havia colhido 3740 mil toneladas de grãos com uma área de 4420 ha, considerada a maior safra de feijão dos últimos 15 anos naquele período (IBGE, 2021). Na Figura 2, é possível visualizar as áreas de feijão-caupi colhidas no estado do Amapá, em 2023, com suas respectivas quantidades em hectare.

Figura 2 - Área colhida de feijão-caupi no Estado do Amapá em 2023.



Fonte: Autor (2025) adaptado de IBGE (2023).

É possível que a guerra entre Rússia e Ucrânia também explique parte dessa diminuição na produção, pois ela afetou negativamente a compra de fertilizantes e prejudicou todo o sistema agrícola que dependia deles (Nascimento; Lobo; Passador, 2022).

Outro motivo seria a crise interna que Belarus enfrenta, sendo o segundo maior exportador de fertilizantes potássicos para o Brasil, fazendo com que ele fique desabastecido

(Nascimento; Lobo; Passador, 2022), juntos, Belarus e Rússia somam mais de 40% da produção mundial, dessa forma, o preço dos alimentos poderá subir de forma considerável, assim como poderá faltar alguns, sem essa parceria (Carregosa; Barros, 2022).

Por outro lado, o El Niño também tem um impacto significativo na agricultura e pecuária brasileira, visto que durante os períodos de sua manifestação, foi constatado declínio na produtividade de várias culturas como o milho, milho safrinha, feijão, arroz e café (Pereira; Dohler Junior, 2024; Assad; Assad, 2024).

Esse fenômeno climático, somado ao aumento global das temperaturas, além de alterar o regime de chuvas, provocando secas prolongadas ou precipitações intensas, também favorece o surgimento de pragas e doenças que afetam na quantidade e na qualidade da produção. Esses eventos extremos comprometem o solo, causando erosão e perda de nutrientes (Pereira; Dohler Junior, 2024; Assad; Assad, 2024).

3.1.5 Feijão-caupi tipo Manteiguinha

Na região Norte, há ainda um tipo de feijão-caupi muito importante para a culinária local chamado de manteiguinha (Freire Filho, 2011), típico do estado do Pará, tendo se expandido por todo o estado e no Maranhão (Freire Filho, 2016).

Há relatos de que a cultura chegou no Pará através de grupos de americanos insatisfeitos com o resultado da Guerra de Secessão, onde haviam sido vencidos pelo então presidente dos Estados Unidos da América, Abraham Lincoln (1865) o que os fez se estabelecerem em Santarém por volta de 1867, e com eles trouxeram cultivares de feijão-caupi que passariam a ser conhecidos por feijão-santarém, feijão-miúdo, feijão-de-praia e feijão-manteiguinha (Filgueiras *et al.*, 2009).

Com o passar do tempo a cultivar manteiguinha se tornou produto típico não somente em Santarém, mas também no restante do território paraense (Freire Filho *et al.*, 2023) e na atualidade é um componente importante de muitos pratos sofisticados da culinária brasileira (Freire Filho *et al.*, 2023) como o baião-de-dois, vinagretes, saladas, risotos e até como pipoca em determinados círculos de gastronomia no estado do Pará (Freire Filho *et al.*, 2023).

Destaca-se pela sua produtividade e pela qualidade de seus grãos, que são especialmente valorizados no mercado local, devido à sua textura macia, sabor suave (Almeida; Ribeiro, 2017), peso de cem grãos inferior a 10 g, (Lima *et al.*, 2019) com a cor creme de tamanho extra-pequeno (Freire Filho *et al.*, 2016) e hilo claro, são muito apreciados na culinária local (Corumbá, 2015).

3.2 Cerrado amapaense

Segundo Melém Júnior, Farias Neto, Yokomizo, (2003) o tipo climático do estado do Amapá é Ami, predominantemente tropical chuvoso (2700 mm/ ano) com curta estação seca nos meses de agosto a novembro, período em que chove apenas 197 mm ou pouco mais de 7% em relação ao ano todo.

Durante o verão, o déficit hídrico é acentuado (329 mm) provocado pelas altas temperaturas, exigindo irrigação em pequenas áreas com disponibilidade de água. As alternativas incluem o cultivo de espécies adaptadas à seca, plantio fora do período seco ou em fases de menor exigência hídrica (Melém Júnior; Farias Neto; Yokomizo, 2003).

Apesar do déficit hídrico prejudicar o crescimento e desenvolvimento das culturas, o excesso de chuvas no inverno (1371 mm) também gera problemas, como o aumento na incidência de pragas, doenças e plantas invasoras (Melém Júnior; Farias Neto; Yokomizo, 2003).

Embora possa observar as temperaturas mínimas em torno de 20 °C e médias entre 26 °C e 28 °C, as temperaturas máximas permanecem acima de 33 °C durante todo o ano, intensificando a evapotranspiração e dificultando o cultivo de culturas que exigem pelo menos uma estação mais amena para um bom desenvolvimento (Melém Júnior; Farias Neto; Yokomizo, 2003).

Além disso, uma alternativa viável é optar pelo plantio de culturas cujo ciclo agrícola não coincida com a estação seca ou que a cultura esteja em uma fase de desenvolvimento com menor demanda hídrica, como a fase de maturação (Castro; Alves, 2013).

3.3 Solos do cerrado

3.3.1 Caracterização

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, ocupando uma área de aproximadamente 2 milhões de km². Abrange extensas porções das regiões Centro-Oeste, Sudeste e Nordeste, além de áreas de transição com outros biomas como a Amazônia e a Mata Atlântica (IBGE, 2022).

A distribuição geográfica do Cerrado é caracterizada por uma grande diversidade de paisagens, com variações na vegetação, clima e solos, o que resulta em uma heterogeneidade de ecossistemas (Oliveira *et al.*, 2021).

Os solos desse bioma são predominantemente antigos, intemperizados e profundos (Resende *et al.*, 2014). Entre os principais tipos, destacam-se os Latossolos, que ocupam uma área maior, seguidos por Neossolos, Argissolos, Plintossolos e Gleissolos, entre outros (Santos *et al.*, 2018).

Os Latossolos são caracterizados pela textura argilosa ou muito argilosa, estrutura granular e porosidade elevada, o que facilita a infiltração de água e a aeração do solo. Já os Neossolos apresentam menor desenvolvimento do perfil, com baixa capacidade de retenção de água e nutrientes (Santos *et al.*, 2018).

As características físicas dos solos de Cerrado variam de acordo com o tipo de solo, a localização geográfica e o histórico de uso e manejo. A textura do solo, que se refere à proporção de areia, silte e argila, influencia a capacidade de retenção de água e nutrientes, bem como a aeração e a infiltração de água (Havlin *et al.*, 2021).

A estrutura do solo, que se refere à forma como as partículas se agrega, afeta a porosidade, a aeração e a resistência do solo à erosão. A densidade do solo, que se refere à massa de solo por unidade de volume, influencia a porosidade e a capacidade de armazenamento de água e ar. Em geral, os solos de Cerrado apresentam baixa densidade e boa porosidade, o que favorece o desenvolvimento radicular das plantas (Falcão *et al.*, 2020).

As características químicas dos solos de Cerrado são marcadas pela limitação da disponibilidade de nutrientes dada pela acidez do solo, pela baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e pela baixa mineralização da matéria orgânica (Abrahão *et al.*, 2018).

Além do nitrogênio (N), o fósforo (P), o potássio (K), o cálcio (Ca), o magnésio (Mg) e os micronutrientes como o zinco (Zn), o boro (B) e o cobre (Cu) são frequentemente deficientes em solos de Cerrado, limitando o desenvolvimento e a produtividade das plantas cultivadas. Os teores de matéria orgânica são geralmente baixos devido à alta taxa de decomposição da matéria orgânica sob condições tropicais e à baixa produção de biomassa pela vegetação nativa (Abrahão *et al.*, 2018).

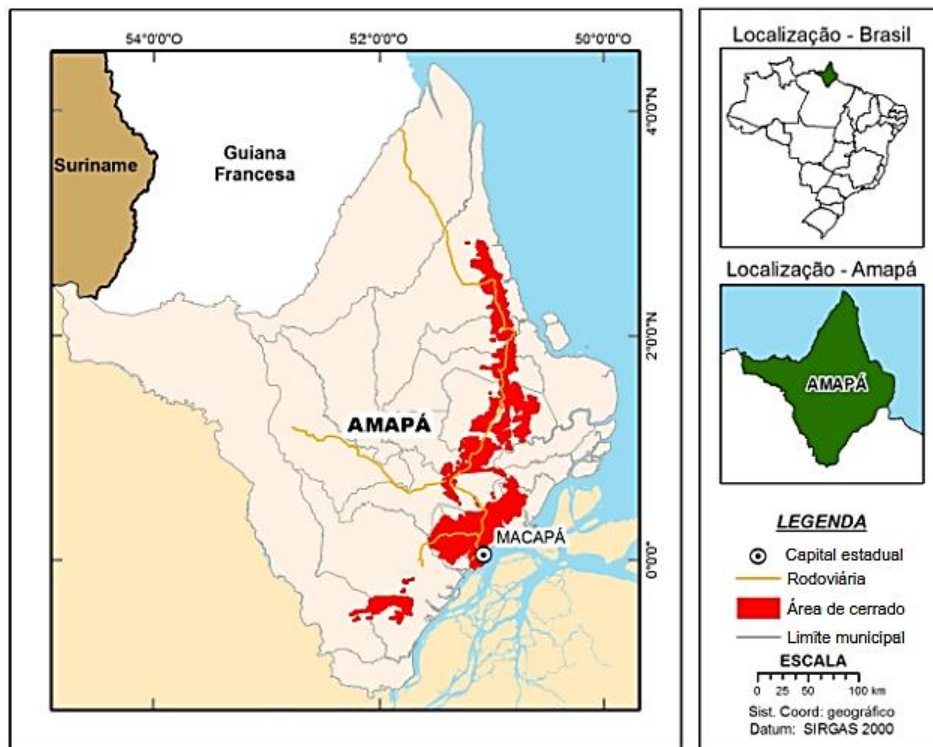
3.3.2 Solos do cerrado amapaense: particularidades

Os solos do cerrado amapaense apresentam características edáficas específicas que os diferenciam de outras regiões do bioma, influenciando diretamente o desenvolvimento e a produtividade agrícola e agropecuária, uma vez que está localizada em uma área de transição com a Amazônia, apresenta uma combinação única de fatores ambientais que moldam as características dos solos (Valente; Campos; Watrin, 2015).

O cerrado amapaense se dispõe pela rodovia BR 156 com cerca de 900 km, estendendo-se de Macapá em direção ao norte do estado até Calçoene. A atividade mais praticada nesse ecossistema é a silvicultura, onde é realizada a exploração de florestamentos de *Pinus sp.* e Eucalipto (Melém junior; Freitas Neto; Yokomizo, 2003), desenvolvida pela empresa Amapá Florestal Celulose (AMCEL).

A AMCEL possui cerca de 130 mil hectares disponíveis para a prática e 180 mil hectares de reservas nativas (AMCEL, 2018). Nesse trajeto, a formação do cerrado atravessa áreas de vários municípios como o de Santana, Porto Grande, Itaubal e Tartarugalzinho (Castro; Alves, 2013) conforme está apresentando a Figura 3.

Figura 3 - Área de Cerrado no Estado do Amapá.



Fonte: Adaptada de Valente; Campos; Watrin (2015).

Os solos do cerrado amapaense apresentam características edáficas específicas que os diferenciam de outras regiões do bioma, influenciando diretamente o desenvolvimento e a produtividade agrícola e agropecuária, uma vez que está localizada em uma área de transição com a Amazônia, apresenta uma combinação única de fatores ambientais que moldam as características dos solos (Valente; Campos; Watrin, 2015).

Dentre as classes de solo, destaca-se o Latossolo Amarelo Distrófico, com aproximadamente 127.696,51 ha de 266.917,70 ha mapeados com cerca de 37,2% desse bioma

no estado (Venturieri *et al.*, 2017). Os Latossolos ocupam uma área de 36.872,78 hectares, o que representa uma boa parte do solo com aptidão física favorável e sem limitações para mecanização. Isso se deve ao fato de o relevo ser predominantemente plano a levemente ondulado, o que os torna adequados tanto para a agricultura quanto para a pecuária.

No entanto, esses solos apresentam características químicas desfavoráveis, como a baixa saturação de bases, fertilidade natural reduzida e alta acidez, devido ao intenso processo de intemperismo que sofreram ao longo do tempo (Venturieri *et al.*, 2017), o que demanda o uso de fertilizantes químicos e orgânicos para que seja possível o bom desenvolvimento da agricultura, que além da baixa fertilidade, também é limitada nos meses entre julho a dezembro, sendo o período de seca no estado (Melém Junior; Freitas Neto; Yokomizo, 2003).

O cerrado do Amapá apresenta um alto potencial para a produção de grãos, silvicultura e pecuária. Além desses aspectos, sua localização geográfica é estratégica, atinge o mercado regional e é próxima a importantes mercados importadores, o que representa uma vantagem significativa, possibilitando a redução dos custos logísticos e tornando uma região mais competitiva no comércio internacional (Alves; Castro, 2014).

Pesquisas focando no fortalecimento da agropecuária estadual, visando o desempenho de frutíferas nativas e exóticas, como mangaba, graviola, cítricos, caju e manga, vêm sendo desenvolvidas pela EMBRAPA Amapá. A empresa implementou espécies florestais, como eucalipto, pinus, táxi-branco e acácia mangium, e tem investido em manejo sustentável da pecuária e no potencial do cerrado para a produção de milho, arroz, feijão-caupi e soja, promovendo crescimento econômico e social (EMBRAPA, 2024).

3.4 Nitrogênio (N) e sua importância para o feijão-caupi

3.4.1 Papel do nitrogênio nas plantas

O nitrogênio (N) é um macronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo o nutriente mais requerido em termos quantitativos pelas culturas agrícolas, participa de diversos processos metabólicos vitais, desempenhando funções cruciais na síntese de biomoléculas essenciais e no funcionamento celular (Fageria, 2014). Suas principais funções no metabolismo vegetal incluem a síntese de proteínas, ácidos nucleicos (DNA e RNA) e clorofila (Taiz *et al.*, 2017).

Segundo Marschner (2012) as proteínas são fundamentais para a estrutura celular, a função enzimática e a formação de hormônios e outras moléculas reguladoras. Já os ácidos

nucléicos são responsáveis pelo armazenamento e transmissão da informação genética, e a clorofila é o pigmento essencial para a fotossíntese, além disso, o N também participa da síntese de aminoácidos, vitaminas, alcaloides, coenzimas e outras moléculas importantes para o metabolismo vegetal.

Ele é essencial ao crescimento vegetativo e reprodutivo, pois favorece o desenvolvimento de folhas, caules, raízes, flores, vagens e grãos, no entanto a deficiência desse nutriente compromete o crescimento, reduz a fotossíntese, a área foliar e a biomassa, causando perdas na produtividade. (Hawkesford *et al.*, 2022).

Os sintomas da carência de nitrogênio em plantas incluem o amarelecimento das folhas mais velhas (clorose), o encurtamento dos entrenós, o crescimento lento, a redução do tamanho das folhas e o baixo desenvolvimento radicular (Marschner, 2012). Em casos de deficiência severa, as folhas mais velhas podem apresentar necrose (morte dos tecidos) e as plantas podem ficar raquíticas e pouco produtivas (Malavolta *et al.*, 2004).

Já o excesso, por outro lado, pode levar a um crescimento excessivo da parte vegetativa, em detrimento do desenvolvimento reprodutivo, além de aumentar a suscetibilidade das plantas a pragas e doenças (Mur *et al.*, 2016) além de causar desequilíbrios nutricionais e problemas ambientais, como a contaminação de corpos d'água por nitratos, dessa forma o manejo adequado do nitrogênio é imprescindível para garantir uma nutrição equilibrada e sustentabilidade do sistema de produção (Fageria, 2014).

3.4.2 Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) em leguminosas

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é um processo natural de grande importância para a nutrição das plantas, especialmente para as leguminosas, que têm a capacidade de estabelecer uma simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio (Costa, 2023). Esse processo de fixação pode fornecer de 55,6% a 81,5% do nitrogênio necessário para o feijão-caupi e 55,1% a 71,9% para o feijão comum, dependendo da disponibilidade de nitrogênio no solo e as condições de cultivo (Brito; Muraoka; Silva, 2011).

Essa fixação biológica consiste na conversão do nitrogênio atmosférico (N_2) em amônia (NH_3), uma forma de nitrogênio que pode ser utilizada pelas plantas. É um processo realizado por microrganismos, principalmente bactérias do gênero *Rhizobium*, que vivem no interior dos nódulos radiculares das leguminosas (Lindström; Mousavi, 2019).

O mecanismo da FBN envolve uma série de reações bioquímicas catalisadas pela enzima nitrogenase, que está presente nas bactérias fixadoras de nitrogênio. As bactérias do

gênero *Rhizobium* penetram nas raízes das leguminosas e induzem a formação de nódulos radiculares, onde se estabelece a simbiose. Dentro dos nódulos, as bactérias convertem o N_2 atmosférico em NH_3 , que é então transformado em aminoácidos e outras formas de nitrogênio que são transportadas para a planta. Em troca, a planta fornece às bactérias carboidratos e outros compostos orgânicos produzidos pela fotossíntese (Schulte *et al.*, 2021).

A simbiose entre o feijão-caupi e as bactérias do gênero *Rhizobium* é um exemplo clássico da FBN em leguminosas. O feijão-caupi possui a capacidade de estabelecer simbiose com diversas espécies de *Rhizobium*, o que permite que a cultura obtenha nitrogênio de forma natural e sustentável, reduzindo a dependência de fertilizantes nitrogenados sintéticos (Basu *et al.*, 2020).

Entretanto, a formação de nódulos radiculares eficientes é essencial para o bom desenvolvimento e produtividade do feijão-caupi, especialmente em solos com baixa disponibilidade de nitrogênio (Muindi *et al.*, 2021; Ngakou *et al.*, 2019) e a resposta do feijão-caupi ao nitrogênio também pode variar, algumas cultivares podem ser mais eficientes na FBN, exigindo doses menores de N, enquanto outras podem apresentar maior resposta à adubação nitrogenada (Giller, 2001).

A eficiência da FBN é influenciada por diversos fatores, tanto ambientais (como a disponibilidade de água, a temperatura, a aeração do solo e a presença de outros micronutrientes), quanto genéticos (Galindo *et al.*, 2022). É importante saber também que em solos com baixa fertilidade ou sob condições de estresse, a FBN pode não ser suficiente para suprir as necessidades da planta, sendo necessário um aporte adicional de nitrogênio via adubação (Giller, 2001).

A disponibilidade de fósforo (P) no solo é um fator crucial para a FBN, pois o P é essencial para a formação de ATP, a principal fonte de energia para a atividade da nitrogenase. A deficiência de molibdênio (Mo) também é importante, pois pode limitar a atividade da nitrogenase, uma vez que o Mo é um componente essencial dessa enzima. Outro elemento decisivo é o pH do solo, pois a acidez do solo pode inibir o crescimento das bactérias do gênero *Rhizobium* e reduzir a atividade da nitrogenase (Wan *et al.*, 2020).

A inoculação de sementes com bactérias fixadoras de N é uma prática recomendada para aumentar a eficiência da FBN em feijão-caupi. A inoculação consiste na aplicação de bactérias selecionadas do gênero *Rhizobium* nas sementes antes do plantio, o que garante o estabelecimento da simbiose e o fornecimento adequado de nitrogênio para a cultura, especialmente em áreas onde a população de bactérias fixadoras de nitrogênio é baixa ou ineficiente. A inoculação também é importante para reduzir a necessidade de adubação

nitrogenada sintética, promovendo a sustentabilidade do sistema de produção (Ahmad *et al.*, 2018).

3.4.3 Nitrogênio no solo

Nos solos, cerca de 98% do nitrogênio está na forma orgânica, ou seja, não assimilável pelas plantas, enquanto apenas 2% está presente na forma mineral, sendo absorvido principalmente na forma nítrica e, em menor grau, amoniacal. Apesar da quantidade total de nitrogênio ser suficiente, sua disponibilidade para as plantas é limitada pela forma em que se encontra (Chitolina, 1978).

Entretanto, o N do solo está sujeito a perdas significativas, o que pode comprometer a eficiência da adubação e suas previsões econômicas, especialmente em função do elevado custo dos fertilizantes. As principais vias de perda ocorrem por lixiviação, desnitrificação e volatilização (Chitolina, 1978).

A lixiviação é o principal mecanismo de perda do nitrogênio no solo na agricultura tropical, especialmente na forma de nitrato, que é altamente suscetível a esse processo (Allison, 1966; Chitolina, 1978). Chuvas intensas e doses elevadas de fertilizante nitrogenado são reportados como os principais fatores que favorecem esse tipo de perda (Freitas, 2020).

3.4.4 Fontes de nitrogênio para adubação

A adubação nitrogenada é uma prática comum na agricultura para suprir as necessidades de nitrogênio (N) das culturas, especialmente em solos com baixa disponibilidade desse nutriente. As fontes de nitrogênio podem ser classificadas em orgânicas e minerais, cada uma com características distintas e impactos diferentes sobre o solo e as plantas (Dawson; Hilton, 2011).

As fontes orgânicas de nitrogênio incluem esterco animal, compostos orgânicos, resíduos de culturas e outras matérias orgânicas. O esterco animal, proveniente de diferentes espécies, é uma fonte rica em nitrogênio e outros nutrientes, além de contribuir para a melhoria da estrutura e da capacidade de retenção de água do solo. Os compostos orgânicos, obtidos a partir da decomposição de resíduos vegetais e outros materiais orgânicos, também são fontes de nitrogênio e outros nutrientes, além de melhorar a atividade biológica do solo (Gaskell; Smith, 2007).

As fontes orgânicas de nitrogênio apresentam liberação gradual de nitrogênio para as plantas, reduzindo o risco de perdas por lixiviação e volatilização e promovendo a sustentabilidade do sistema de produção. No entanto, as fontes orgânicas podem apresentar baixo teor de nitrogênio, além de custo de transporte e necessidade de preparo prévio antes da aplicação (Gaskell; Smith, 2007).

As fontes minerais de nitrogênio incluem ureia, sulfato de amônio, nitrato de amônio, nitrato de cálcio, entre outros fertilizantes sintéticos (Fageria, 2014). A ureia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) é o fertilizante nitrogenado mais utilizado no mundo, devido ao seu baixo custo por unidade de N e à sua alta concentração (45-46% de N). O sulfato de amônio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) é outra fonte de nitrogênio comumente utilizada, apresentando uma concentração menor de N (20-21%), mas contendo enxofre (S) em sua composição (Fageria, 2014). O nitrato de amônio (NH_4NO_3) é um fertilizante com alta concentração de N (33-34%) e rápida liberação de nitrogênio para as plantas (Dahlin *et al.*, 2005).

Embora as fontes minerais de nitrogênio apresentam alta concentração de N e rápida disponibilidade para as plantas, facilitando a aplicação e o manejo da adubação, por outro lado elas podem apresentar maior risco de perdas por volatilização e lixiviação, além de acidificar o solo e apresentar maior impacto ambiental se usadas de forma inadequada (Dahlin *et al.*, 2005). As vantagens e desvantagens de cada fonte devem ser consideradas na escolha do fertilizante nitrogenado mais adequado para cada situação (Fageria, 2014).

As fontes orgânicas, apesar de apresentarem baixo teor de nitrogênio e liberação mais lenta, contribuem para a melhoria da qualidade do solo e a sustentabilidade do sistema de produção (Gaskell; Smith, 2007). As fontes minerais, por sua vez, apresentam alta concentração de nitrogênio e rápida disponibilidade para as plantas, mas podem apresentar maior risco de perdas e impacto ambiental (Good, 2018). A escolha da fonte de nitrogênio deve considerar o custo, a disponibilidade, o potencial de perdas, o impacto no solo e os objetivos do produtor.

Neste estudo, o foco será em ureia e sulfato de amônio, devido à sua ampla disponibilidade no mercado e ao seu uso frequente no cultivo do feijão-caupi. Apesar de apresentar maior potencial de perdas por volatilização, a ureia é mais econômica por unidade de N. O sulfato de amônio, por sua vez, apresenta menor potencial de perdas por volatilização e contém enxofre, um nutriente importante para o desenvolvimento das plantas, mas pode levar à acidificação do solo em aplicações contínuas (Fageria, 2014).

Sabe-se que o manejo adequado dessas fontes, com a aplicação no momento correto, em doses adequadas e com técnicas de incorporação ao solo, é fundamental para maximizar a

eficiência da adubação e minimizar as perdas e os impactos negativos sobre o ambiente (Fageria, 2014).

3.4.5 Doses de nitrogênio e resposta do feijão-caupi

Embora a adubação nitrogenada seja uma prática essencial para o cultivo do feijão-caupi, a definição da dose adequada de nitrogênio (N) é um desafio, pois tanto a deficiência quanto o excesso desse nutriente podem prejudicar o crescimento e a produtividade da cultura. Somando-se a isso, resposta do feijão-caupi ao nitrogênio é complexa e influenciada por diversos fatores, incluindo a cultivar, as condições do solo, o clima e as práticas de manejo (Galindo *et al.*, 2021)

A relação dose-resposta do nitrogênio e produtividade da cultura não é linear, ou seja, a produtividade não aumenta proporcionalmente ao aumento da dose de nitrogênio (Novais *et al.*, 2007).

Em geral, a produtividade aumenta com o incremento das doses de nitrogênio até um ponto máximo, a partir do qual o aumento da dose não leva a incrementos significativos na produtividade ou pode até mesmo reduzi-la, devido a efeitos tóxicos ou desequilíbrio nutricional (Fageria, 2014).

Sendo assim, a curva de resposta do feijão-caupi ao nitrogênio pode variar de acordo com a cultivar, as condições do solo, a disponibilidade de outros nutrientes, a umidade do solo e a incidência de pragas e doenças. A definição da dose adequada de nitrogênio deve levar em conta todos esses fatores (Novais *et al.*, 2007).

A importância do parcelamento da adubação e aplicação no momento adequado também é fundamental para otimizar a eficiência da adubação nitrogenada e minimizar as perdas de nitrogênio por volatilização, lixiviação e desnitrificação. O parcelamento da dose de nitrogênio, dividindo a aplicação em diferentes momentos ao longo do ciclo da cultura, pode garantir um suprimento mais constante de nitrogênio para a planta, reduzindo o risco de perdas e aumentando a eficiência da adubação (Da Silva *et al.*, 2019).

Portanto, a aplicação do nitrogênio no momento adequado, geralmente em fases de maior demanda nutricional, como no início do desenvolvimento vegetativo, na floração e no enchimento de grãos, também é fundamental para garantir o aproveitamento máximo do nitrogênio pela planta (Fageria, 2014).

A determinação da dose adequada de nitrogênio envolve a análise da curva de resposta da cultura, que frequentemente segue um modelo quadrático, atingindo um platô produtivo.

Nesse contexto, é crucial diferenciar dois conceitos: a dose de máxima eficiência técnica (DMET), que corresponde à quantidade de fertilizante que resulta na máxima produtividade física (o pico da curva), e a dose de máxima eficiência econômica (DMEE), que representa a dose que gera o maior retorno financeiro para o agricultor (Raij, 2011; Sousa; Lobato, 2004).

A DMEE é invariavelmente menor que a DMET, pois leva em consideração a lei dos rendimentos decrescentes e a relação entre o custo do insumo (fertilizante) e o preço do produto (grãos). Para sistemas de produção com restrição de capital, como a agricultura familiar, a identificação da DMEE é ainda mais estratégica do que a busca pela produtividade máxima a qualquer custo (Raij, 2011; Sousa; Lobato, 2004).

3.4.6 Adubação nitrogenada e parâmetros biométricos

A adubação nitrogenada influencia não apenas a produtividade, mas também os parâmetros biométricos do feijão-caupi. Esses parâmetros quantificam as características morfológicas da planta e são indicadores importantes da resposta da cultura à adubação nitrogenada e do seu potencial produtivo (Taiz *et al.*, 2017).

O impacto da adubação nitrogenada pode ser observado em diversos parâmetros biométricos, como a altura da planta, o diâmetro do caule (Elowad e Hall, 1987; Helmy; Hassan e Ibrahim, 2015; Mohamedzein, 2022), a matéria seca da parte aérea (MSPA) (Costa *et al.*, 2023; Kyei-Boahen *et al.*, 2017) e o peso de 100 sementes (P100) (Elowad; Hall, 1987; Kaveri; Singh; Indu, 2022; Ndor; Faringoro, 2020). A altura da planta, que reflete o desenvolvimento vegetativo da cultura, pode ser influenciada pela disponibilidade de nitrogênio (Fageria, 2014).

A adubação nitrogenada adequada pode promover um crescimento mais vigoroso da planta, resultando no aumento da altura e da área foliar (Alharbi *et al.*, 2022; Ndor; Faringoro, 2020), bem como no diâmetro do caule, indicando um maior desenvolvimento do sistema de suporte da planta (Nawar; Zyada; Boghdady, 2018).

A MSPA, que representa a acumulação de biomassa pela planta, é diretamente influenciada pela disponibilidade de nitrogênio, sendo um bom indicador da resposta da cultura à adubação nitrogenada (Ferreira *et al.*, 2023).

O P100, que reflete o tamanho e o desenvolvimento das sementes, também pode ser aumentado com a adubação nitrogenada, indicando uma maior acumulação de reservas nas sementes e um melhor potencial de germinação e estabelecimento da cultura na próxima safra (Ferreira *et al.*, 2023).

Os parâmetros biométricos são importantes indicadores da eficiência da adubação nitrogenada e do potencial produtivo do feijão-caupi (Araújo *et al.*, 2018; Galindo *et al.*, 2021). Plantas com maior altura, maior diâmetro de caule, maior MSPA e maior P100 tendem a apresentar maior produtividade, pois esses parâmetros estão relacionados com a capacidade da planta de absorver nutrientes, realizar a fotossíntese e acumular biomassa (Taiz *et al.*, 2017).

A avaliação dos parâmetros biométricos ao longo do ciclo da cultura pode auxiliar na tomada de decisão sobre o manejo da adubação nitrogenada, permitindo que os produtores ajustem as doses e os momentos de aplicação para maximizar a produtividade e a qualidade da produção (Fageria, 2014). A análise desses parâmetros também pode auxiliar na identificação de cultivares mais responsivas à adubação nitrogenada e mais adaptadas a determinadas condições de cultivo (Munjonji *et al.*, 2018; Jemo *et al.*, 2017; Adusei *et al.*, 2020).

3.4.7 Ureia

3.4.7.1 Caracterização da ureia

A ureia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) é o fertilizante nitrogenado mais utilizado em escala mundial, devido ao seu baixo custo por unidade de nitrogênio (N) e à sua alta concentração de N, o que a torna uma fonte eficiente e econômica para o suprimento desse nutriente para as culturas (Havlin *et al.*, 2021; Cantarella *et al.*, 2008).

Ela é um composto orgânico sintético, produzido industrialmente a partir da reação entre amônia (NH_3) e dióxido de carbono (CO_2) sob alta pressão e temperatura (Song *et al.*, 2023; Yang *et al.*, 2024). Sua fórmula química ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) indica a presença de um átomo de carbono (C), um átomo de oxigênio (O) e dois grupos amina (NH_2). Essa estrutura molecular confere à ureia suas propriedades químicas e sua capacidade de liberar nitrogênio para as plantas após a sua aplicação no solo (Song *et al.*, 2023; Vieira, 2017)

O alto consumo da ureia é justificado pela sua elevada concentração de N (44-46 %) na forma amídica, o que a torna uma das fontes de nitrogênio mais concentradas disponíveis no mercado, reduzindo os custos de transporte e armazenamento e facilitando o seu uso em larga escala. Com sua forma física geralmente sólida apresentada na forma de grânulos ou perlados, a sua aplicação e a distribuição do fertilizante no solo é facilitada (Havlin *et al.*, 2021).

A ureia também possui alta solubilidade em água, baixa corrosividade, compatibilidade com diversos outros fertilizantes e defensivos, além de boa absorção dos produtos de sua hidrólise (Fageria, 2014; Cantarella *et al.*, 2008).

Essa alta solubilidade em água, permite que o nitrogênio seja rapidamente disponibilizado para as plantas após a aplicação, especialmente em condições de umidade adequada (Suciati; Septiana, 2024), o que facilita também a aplicação da ureia via fertirrigação, em que o fertilizante é adicionado à água de irrigação e transportado até as raízes das plantas (Mukhopadhyay *et al.*, 2023; Silva; Feitosa Filho, 2003; Dimenstein, 2019).

3.4.7.2 Eficiência da ureia como fonte de nitrogênio

A eficiência da ureia como fonte de nitrogênio (N) para as plantas é um tema de grande importância para a agricultura, pois está relacionada com o aproveitamento do nutriente pelas culturas, o potencial de perdas para o ambiente e o impacto econômico da adubação (Havlin *et al.*, 2021). A eficiência da ureia é influenciada por diversos fatores, como as características do solo, as condições climáticas e as práticas de manejo utilizadas (Sangoi; Ernani; Lech, 2003; Cantarella, 2008).

A disponibilidade de nitrogênio para as plantas após a aplicação da ureia depende de uma série de transformações no solo, como a hidrólise da ureia, a formação de amônia e amônio, a nitrificação e a mineralização de compostos orgânicos (Fageria, 2014).

Após a aplicação da ureia no solo, a hidrólise pela enzima urease libera amônia (NH_3), que pode ser convertida em amônio (NH_4^+) em condições de pH adequado (Havlin *et al.*, 2021). O amônio pode ser absorvido pelas plantas, mas também pode ser oxidado a nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-) por bactérias nitrificantes (Vieira, 2017).

O nitrato é a principal forma de nitrogênio absorvida pelas plantas, mas também é uma forma móvel no solo, sujeita a perdas por lixiviação. A disponibilidade de nitrogênio para as plantas depende da velocidade dessas transformações e do equilíbrio entre a mineralização e a imobilização do nitrogênio no solo (Havlin *et al.*, 2021).

A resposta do feijão-caupi à adubação com uréia pode variar de acordo com as condições de solo e clima (Fageria, 2014). Em solos com baixa disponibilidade de nitrogênio, a adubação com ureia pode aumentar significativamente o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da cultura (Havlin *et al.*, 2021). Em solos com alta disponibilidade de nitrogênio, a resposta à adubação com ureia pode ser menor ou inexistente (Cantarella, 2007).

As condições climáticas, como a temperatura e a umidade, também influenciam a resposta da planta à adubação com ureia, pois afetam a taxa de hidrólise da ureia e a taxa de volatilização da amônia (Vieira, 2017).

A comparação da eficiência da ureia com outras fontes de nitrogênio é um tema de debate na literatura científica (Havlin *et al.*, 2021). Algumas pesquisas mostram que a ureia pode ser tão eficiente quanto outras fontes de nitrogênio, como o sulfato de amônio e o nitrato de amônio, desde que seja manejada de forma adequada para minimizar as perdas por volatilização e lixiviação (Fageria, 2014). Outras pesquisas mostram que a eficiência da ureia pode ser menor do que outras fontes de nitrogênio, especialmente em condições de alta temperatura, pH elevado e baixa umidade do solo, em que o risco de perdas por volatilização é maior (Faquin, 2005).

A comparação da eficiência da ureia com outras fontes de nitrogênio deve levar em conta as condições específicas de cada sistema de produção, incluindo o tipo de solo, o clima, a cultivar utilizada e as práticas de manejo empregadas (Gomes; Silva; Fonseca, 2017).

3.4.8 Sulfato de amônio

3.4.8.1 Caracterização do sulfato de amônio

O sulfato de amônio é um fertilizante nitrogenado amplamente utilizado na agricultura, sendo a segunda fonte mais utilizada no Brasil. Além de conter de 20 a 23% de nitrogênio (N) na forma amoniacal em sua composição, também é uma importante fonte de enxofre sulfatado (S – 20 a 23%), dois nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Havlin *et al.*, 2021; Cantarella, 2007).

Esse fertilizante é um sal inorgânico, produzido industrialmente a partir da reação entre amônia (NH_3) e ácido sulfúrico (H_2SO_4) (Oliveira; Costa; Silva, 2018). Sua fórmula química - $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - indica a presença de dois íons amônio (NH_4^+) e um íon sulfato (SO_4^{2-}), conferindo a ele propriedades químicas e capacidade de liberar nitrogênio e enxofre para as plantas após a sua aplicação no solo (Havlin *et al.*, 2021).

A presença de enxofre (S) em sua composição é uma característica importante do sulfato de amônio, pois o enxofre é um nutriente essencial para as plantas, participando de diversos processos metabólicos, como a síntese de proteínas, clorofila e vitaminas. A deficiência de enxofre pode limitar o crescimento e a produtividade das plantas, especialmente em solos com baixa disponibilidade desse nutriente (Marschner, 2012).

A forma física do sulfato de amônio é sólida, geralmente apresentada na forma de cristais ou grânulos, que facilitam a aplicação e a distribuição do fertilizante no solo (Pochteca, 2022; Unigel, 2021). No entanto, o seu alto custo de produção por unidade de nitrogênio e da

comercialização da sua forma granulada impedem uma maior expansão do seu uso na agricultura (Cantarella, 2007; Pinto, 2018).

O sulfato de amônio é altamente solúvel em água, o que permite que o nitrogênio e o enxofre sejam rapidamente disponibilizados para as plantas após a aplicação, especialmente em condições de umidade adequada. Essa solubilidade também facilita a aplicação do sulfato de amônio via fertirrigação (Havlin *et al.*, 2021).

3.4.8.2 Eficiência do sulfato de amônio como fonte de nitrogênio

A eficiência do sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄) como fonte de nitrogênio (N) para as plantas é um fator fundamental para o sucesso do cultivo, pois influencia diretamente o aproveitamento do nutriente pelas culturas, o potencial de perdas para o ambiente e o impacto econômico da adubação (Havlin *et al.*, 2021). Essa eficiência é influenciada por diversos fatores, incluindo as características do solo, as condições climáticas, as práticas de manejo e a cultura utilizada (Fageria, 2014).

A disponibilidade de nitrogênio e enxofre para as plantas após a aplicação do sulfato de amônio depende das transformações que ocorrem no solo (Vieira, 2017). Após a dissolução do sulfato de amônio no solo, os íons amônio (NH₄⁺) são liberados e podem ser absorvidos pelas plantas ou transformados em nitrito (NO₂⁻) e nitrato (NO₃⁻) pelas bactérias nitrificantes (Havlin *et al.*, 2021). O sulfato (SO₄²⁻), por sua vez, é a principal forma de enxofre absorvida pelas plantas, sendo importante para a síntese de proteínas e outros compostos essenciais (Marschner, 2012).

A resposta do feijão-caupi à adubação com sulfato de amônio pode variar de acordo com as condições do solo (Fageria, 2014). As condições climáticas, como a temperatura e a umidade, também influenciam a resposta do feijão-caupi à adubação com sulfato de amônio, pois afetam a taxa de nitrificação e a taxa de absorção dos nutrientes pelas plantas (Fageria, 2014).

A comparação da eficiência do sulfato de amônio com outras fontes de nitrogênio é um tema de discussão na literatura científica (Havlin *et al.*, 2021). Algumas pesquisas mostram que o sulfato de amônio pode ser tão eficiente quanto outras fontes de nitrogênio, como a ureia e o nitrato de amônio, desde que seja manejado de forma adequada para minimizar as perdas por lixiviação e desnitrificação (Fageria, 2014). Outras pesquisas mostram que o sulfato de amônio pode apresentar maior eficiência em solos com deficiência de enxofre, pois o sulfato de amônio fornece tanto nitrogênio quanto enxofre para as plantas (Marschner, 2012).

A comparação da eficiência do sulfato de amônio com outras fontes de nitrogênio deve levar em conta as condições específicas de cada sistema de produção, incluindo o tipo de solo, o clima, a cultivar utilizada e as práticas de manejo empregadas (Havlin *et al.*, 2021).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição do local do estudo

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, situada na fazenda experimental do Instituto Federal do Amapá-IFAP/*Campus* Agrícola Porto Grande, no período de outubro de 2023 a maio de 2024. As unidades experimentais foram compostas por vasos plásticos, contendo plantas de feijão-caupi (Manteiguinha de Santarém), com 6 dm³ de solo, coletado na camada arável de 0,00-0,20 m, de um Latossolo Amarelo Distrófico de textura franco-arenosa (Santos *et al.*, 2018), em área de cerrado do município de Porto Grande/AP (Figura 4).

Figura 4 – Instituto Federal do Amapá (IFAP), Campus Agrícola Porto Grande (a), área experimental (b), disposição das unidades experimentais sob as bancadas no início do experimento (c) e registro fotográfico dos experimentos em andamento (d).

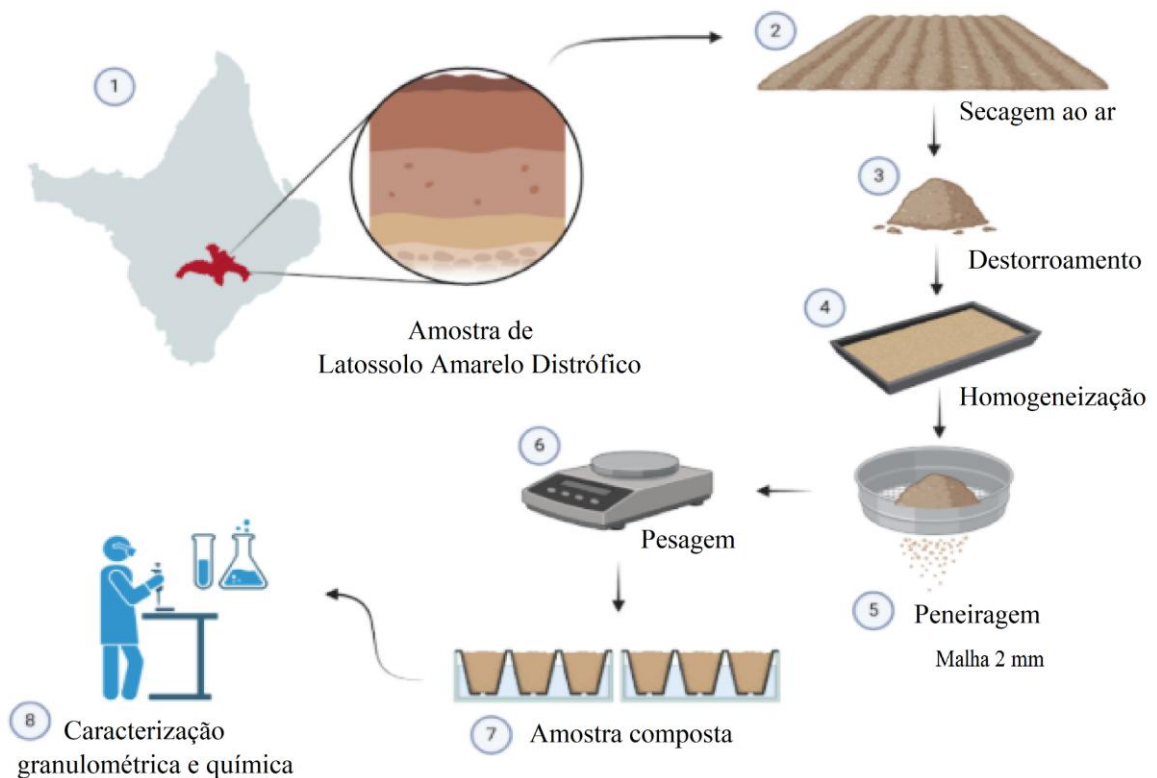


Fonte: Autor (2023).

4.2 Caracterização química e granulométrica do solo

O solo coletado foi seco ao ar, destorroado, homogeneizado e passado em peneira de aço inoxidável, com malha de 2 mm de abertura. Para a caracterização química e granulométrica do solo foi retirada uma amostra composta, formada a partir de seis amostras simples (Figura 5).

Figura 5 - Etapas para caracterização química e granulométrica do solo.



Fonte: Autor (2025).

O solo amostrado foi enviado ao Laboratório de Solos da EMBRAPA - AP, para caracterização granulométrica realizada segundo Claessen (1997) e química conforme metodologia proposta por Raij *et al.* (2001) sendo o teor de carbono orgânico (CO) determinado conforme Yeomans e Bremner (1988). O solo amostrado apresentou a seguinte análise química descrita na Tabela 3.

Tabela 3 - Análise química e granulométrica do solo amostrado.

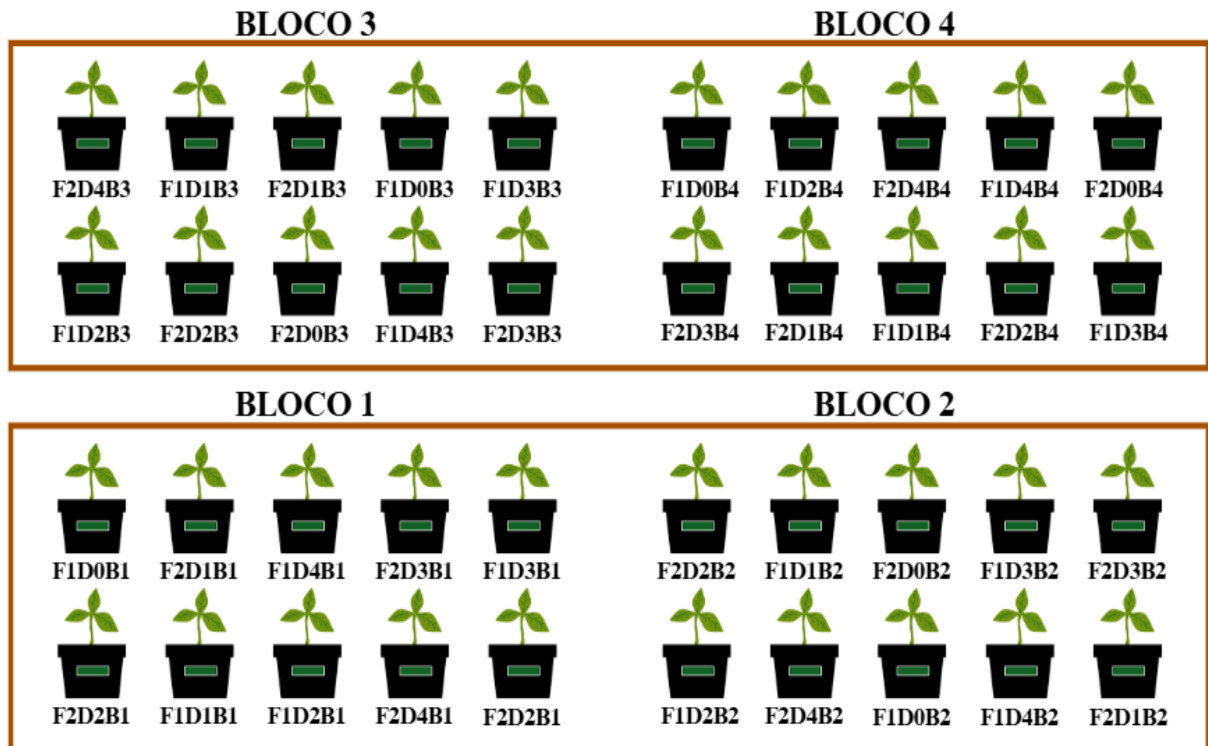
| Propriedades | Teores |
|------------------|-----------------------------------------|
| pH | 4,4 |
| Carbono orgânico | 9,72 g kg ⁻¹ |
| P | 17 mg dm ⁻³ |
| K | 0,02 cmol _c dm ⁻³ |
| Ca + Mg | 0,35 cmol _c dm ⁻³ |
| H + Al | 5,25 cmol _c dm ⁻³ |
| SB | 0,35 cmol _c dm ⁻³ |
| CTC | 5,5 cmol _c dm ⁻³ |
| Argila | 194 g kg ⁻¹ |
| Areia | 769 g kg ⁻¹ |
| Silte | 37 g kg ⁻¹ |

Fonte: Autor (2025).

4.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC), arranjado em esquema fatorial 5x2, com quatro repetições, perfazendo 40 unidades experimentais (Figura 6).

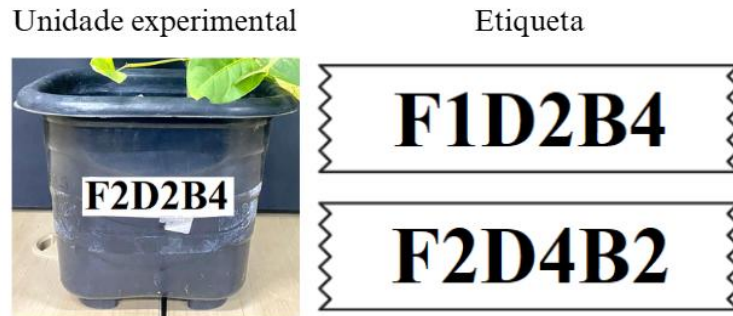
Figura 6- Ilustração da disposição dos vasos no delineamento em blocos casualizados (DBC).



Fonte: Autor (2025).

Em cada unidade experimental havia uma etiqueta identificando a fonte (F), dose (D) e o bloco (B) como mostra a Figura 7.

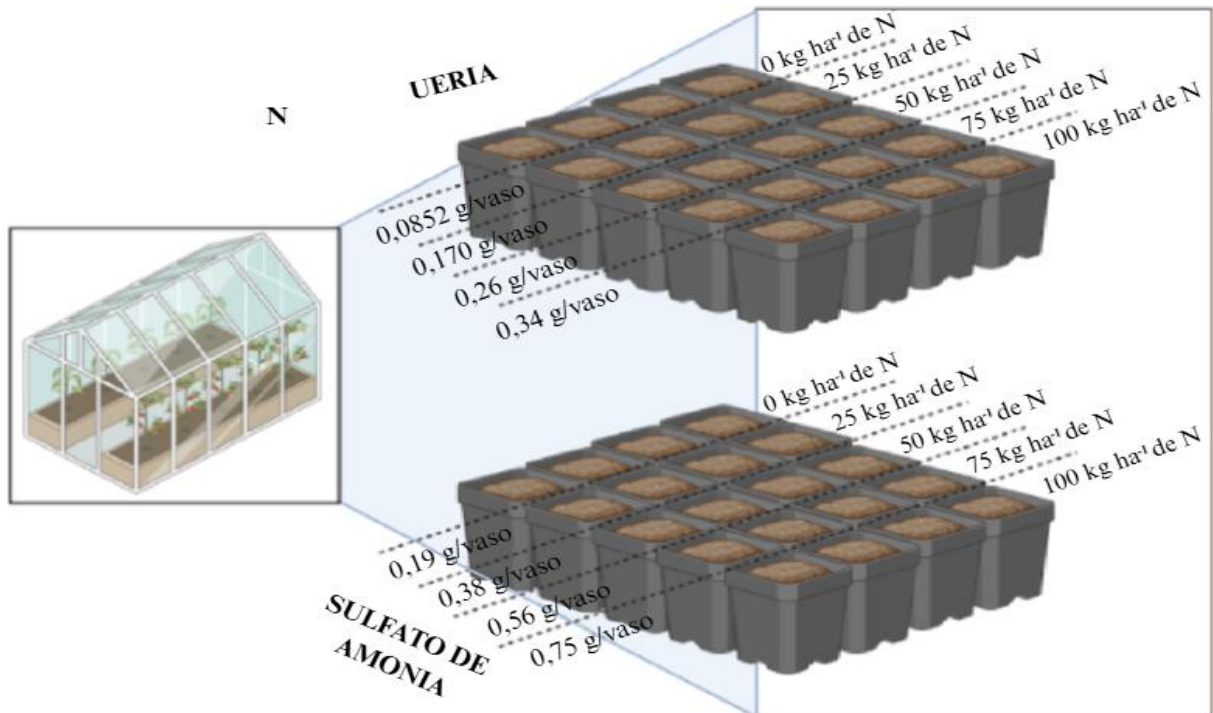
Figura 7 - Ilustração da unidade experimental e etiqueta.



Fonte: Autor (2024).

Os fatores foram constituídos de cinco doses de nitrogênio (0, 25, 50, 75 e 100 kg ha⁻¹ de N) e duas fontes de N (ureia e sulfato de amônio) baseado na metodologia de Oliveira *et al.*, (2003), que foram aplicadas por ocasião da semeadura. As doses de ureia e de sulfato de amônio corresponderam a: 0,0852, 0,170, 0,26, 0,34 g/vaso e 0,19, 0,38, 0,56, 0,75 g/vaso, respectivamente (Figura 8).

Figura 8 - Ilustração das fontes e doses nas suas respectivas unidades experimentais.



Fonte: Autor (2025).

4.4 Correção da acidez do solo e semeio do feijão-caupi

A correção da acidez do solo foi realizada 30 dias antes do semeio do feijão-caupi, utilizando-se o equivalente a $2,1 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário dolomítico, com 32% de CaO, 15% de MgO e PRNT de 92%, para elevar a saturação por bases a 50% (Raij *et al.*, 2001; Brasil *et al.*, 2020), acondicionando 8,1 g/vaso de calcário em sacos plásticos, mais 600 ml de água destilada para a reação do corretivo, e finalizando com revolvimento do solo de forma manual para incorporar o corretivo no solo para incubação (Figura 9).

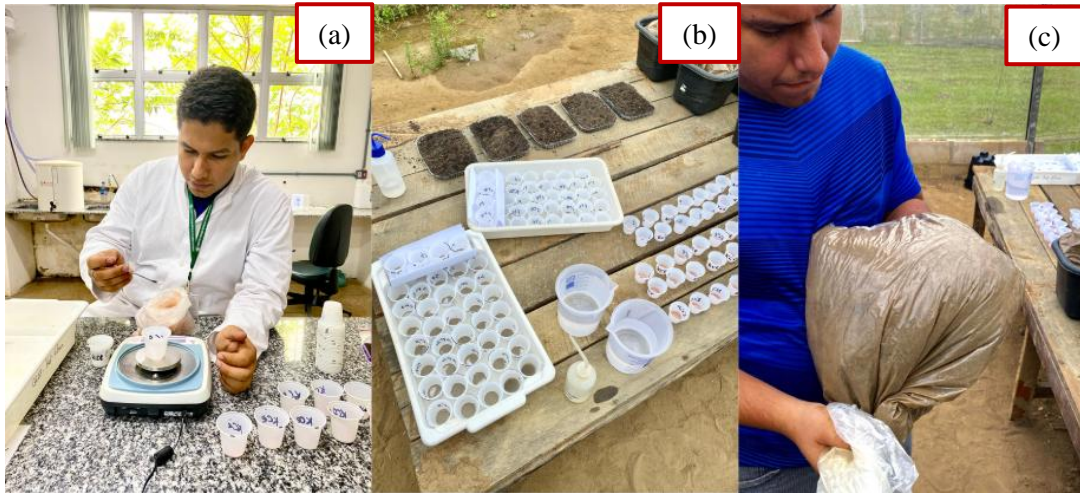
Figura 9 - Aplicação de calcário para correção do solo (a), água destilada de laboratório (b) incorporação (c) e incubação em sacos plásticos (d).



Fonte: Autor (2024).

Após o período de incubação do calcário e antes da aplicação das doses de N, foi efetuada uma adubação básica por meio da água de irrigação em todos os vasos, com macro e micronutrientes, aplicando 0,09 g de FTE; 0,67 g de P_2O_5 na forma de superfosfato simples e 0,45 g de K_2O na forma de cloreto de potássio KCl (Figura 10), conforme recomendação de calagem e adubação para o estado do Pará (Brasil; Cravo; Viegas, 2020).

Figura 10 - Pesagem de FTE, P_2O_5 (Superfosfato simples), K_2O na forma de cloreto de potássio (a), aplicação (b) e incorporação dos nutrientes no solo (c).



Fonte: Autor (2024).

O semeio do feijão-caupi foi realizado utilizando-se em média quinze sementes por vaso (Figura 11).

Figura 11 - Realização do semeio do feijão-caupi manteiguinha, usando 15 sementes por vaso, priorizando o centro da unidade experimental (a) e fotografia das primeiras emergências das plântulas (b).



Fonte: Autor (2024).

Dois plantas foram mantidas após o desbaste, que foi realizado sete dias após a emergência (DAE) como mostrado na Figura 12.

A aplicação do N (Figura 13) foi parcelada em duas aplicações: a primeira após o período germinativo (15 DAE) segundo Melo *et al.*, (2018) e a segunda antes do florescimento do feijão-caupi (35 DAE) segundo trabalho feito por Stone (2002).

Figura 12 - Realização do desbaste sete dias DAE (a), mantendo 2 plantas por vaso (b).



Fonte: Autor (2024).

A aplicação do N (Figura 15) foi parcelada em duas aplicações: a primeira após o período germinativo (15 DAE) segundo Melo *et al.*, (2018) e a segunda antes do florescimento do feijão-caupi (35 DAE) segundo trabalho feito por Stone (2002).

Figura 13 – Pesagem (a) e (b) e aplicação dos tratamentos com ureia e sulfato de amônio (c) e (d).



Fonte: Autor (2024).

Durante a condução do experimento, a umidade do solo foi mantida próximo a 60% do volume total de poros, por meio de regas diárias com água destilada permitindo condição de capacidade de campo, completando-se com água quando necessário, de acordo com o método de estimativa de evapotranspiração diária das plantas, conforme descreve Salvador (2011).

Foi possível, identificar presença de algumas pragas como pulgões e mosca-branca além de algumas folhas e plantas cortadas, e algumas manchas características sem identificação em algumas plantas durante o andamento do experimento, porém, não foi possível fazer o controle químico (Figura 14).

Figura 14 - Presença de pulgões, mosca branca e manchas não identificadas nas folhas das plantas de feijão-caupi cultivados em casa de vegetação situada na fazenda experimental do IFAP Campus agrícola Porto Grande - AP.



Fonte: Autor (2024).

4.5 Variáveis analisadas

Antes da colheita foram avaliados a altura da planta (mensurada com fita métrica, que compreende a medida do colo da planta à extremidade do nó da última folha desenvolvida) (Figura 15a) e o diâmetro do caule (com o auxílio de paquímetro digital) (Figura 15b).

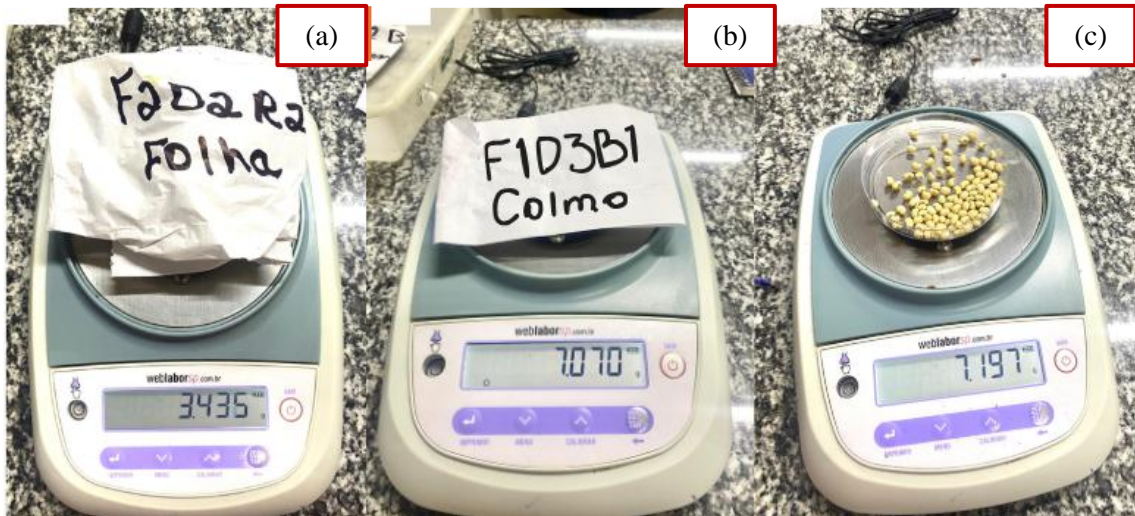
Figura 15 - Coleta dos dados biométricos de altura da planta (a) e do diâmetro do caule (b) das plantas de feijão manteiguinha cultivadas em solo submetido à aplicação de doses e fontes de N, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.



Fonte: Autor (2024).

Na colheita, que ocorreu aos 81 dias de cultivo, foram avaliados o número de vagens por planta e o peso de 100 grãos (Freire Filho *et al.*, 2019). O material vegetal da parte aérea (folha e colmo) do feijão-caupi foi coletado e separado em sacos de papel previamente identificados e pesados, para obtenção da matéria úmida. Em seguida as amostras de folha e caule foram levadas para secagem, em estufa de circulação forçada de ar, a 60-70 °C por 72h, até atingirem o peso constante, para determinação da matéria seca (Figuras 16a, 16b e 16c).

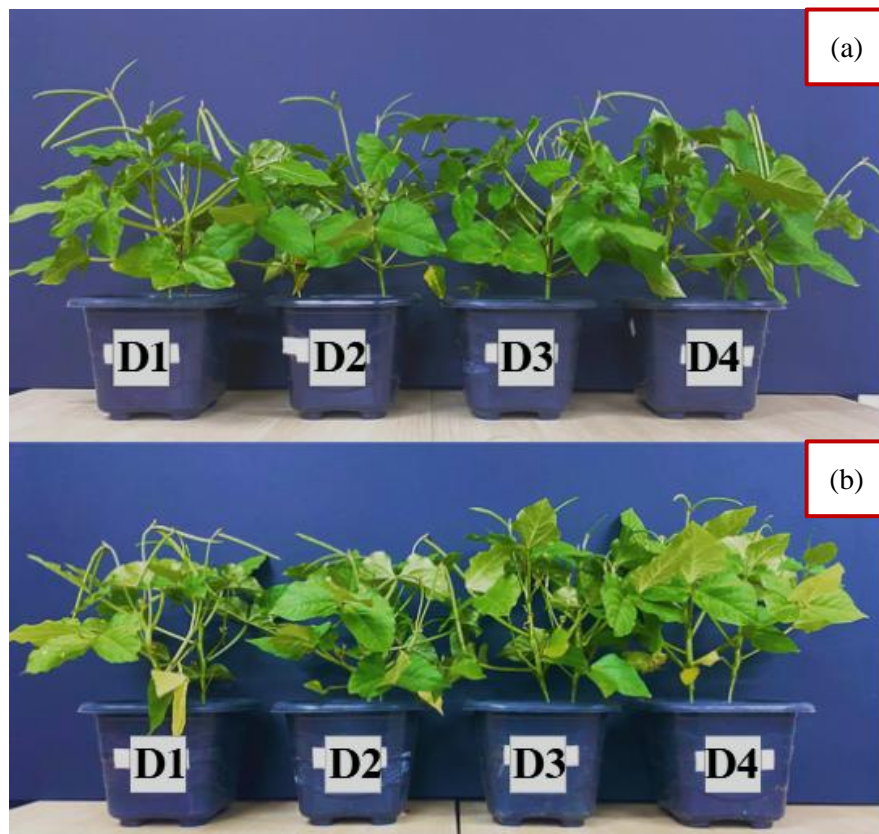
Figura 16 - Determinação da matéria seca das folhas (MSF) (a), do caule (MSC) (b) e do peso de 100 grãos (P100G) (c) das plantas de feijão manteiguinha cultivadas em solo submetido à aplicação de doses e fontes de N, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.



Fonte: Autor (2024).

Foi possível fazer um comparativo visual dos efeitos das doses nas plantas tratadas com ureia e com sulfato de amônio aplicadas sobre o experimento como mostra a Figura 17.

Figura 17 Comparativo dos efeitos das doses (D1, D2, D3, D4) de ureia (a) e do sulfato de amônio (b) aplicadas sobre o experimento.



Fonte: Autor (2024).

4.6 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância, com as fontes de N analisadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), e o efeito das doses de N analisado por regressão, ajustando-se às equações para expressar adequadamente o comportamento das variáveis. Para a análise estatística foi utilizado o programa estatístico AgroEstat (Barbosa; Maldonado Junior, 2014).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados na Tabela 4 revelam que tanto as fontes de nitrogênio (F) quanto às doses de nitrogênio (D), bem como a interação entre esses dois fatores (F x D), tiveram efeitos significativos em diversos parâmetros avaliados no feijão-caupi manteiguinha. Esses achados corroboram a importância do nitrogênio para o crescimento e desenvolvimento das plantas, conforme descrito por Fageria (2014).

Tabela 4 - Análise de variância para a altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de vagem (NV), matéria seca da folha (MSF), matéria seca do caule (MSC) e peso de 100 sementes (P100 Sem.) de feijão manteiguinha em função de fontes e doses de N, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.

| Fonte de Variação | G.L | Quadrado Médio | | | | | |
|-------------------|-----|----------------|--------------------|--------|--------------------|--------------------|-----------|
| | | AP | DC | NV | MSF | MSC | P100 Sem. |
| Fontes de N (F) | 1 | 19,83** | 1,15** | 0,96** | 14,47** | 0,12 ^{NS} | 0,19** |
| Doses de N (D) | 4 | 134,07** | 0,17* | 1,26** | 0,62 ^{NS} | 0,55* | 0,42** |
| F x D | 4 | 4,35** | 0,11 ^{NS} | 0,71** | 0,35 ^{NS} | 1,74** | 0,67** |
| CV (%) | - | 3,38 | 5,36 | 8,09 | 15,53 | 8,34 | 2,27 |

CV = Coeficiente de Variação; G.L = Grau de Liberdade ^{NS} = não significativo; ** = significativo ($p < 0,01$) e * = significativo ($p < 0,05$), pelo teste F. Fonte: Autores, 2024.

A análise de variância (Tabela 4) revelou que tanto as fontes de nitrogênio (F) quanto às doses (D) aplicadas, assim como a interação entre esses fatores (F x D), exerceram influência significativa sobre a maioria das variáveis de crescimento e produção do feijão-caupi. A significância observada para as fontes (ureia e sulfato de amônio) na altura, diâmetro do caule e número de vagens evidencia que a forma como o nitrogênio é disponibilizado no solo afeta diretamente a fisiologia da planta.

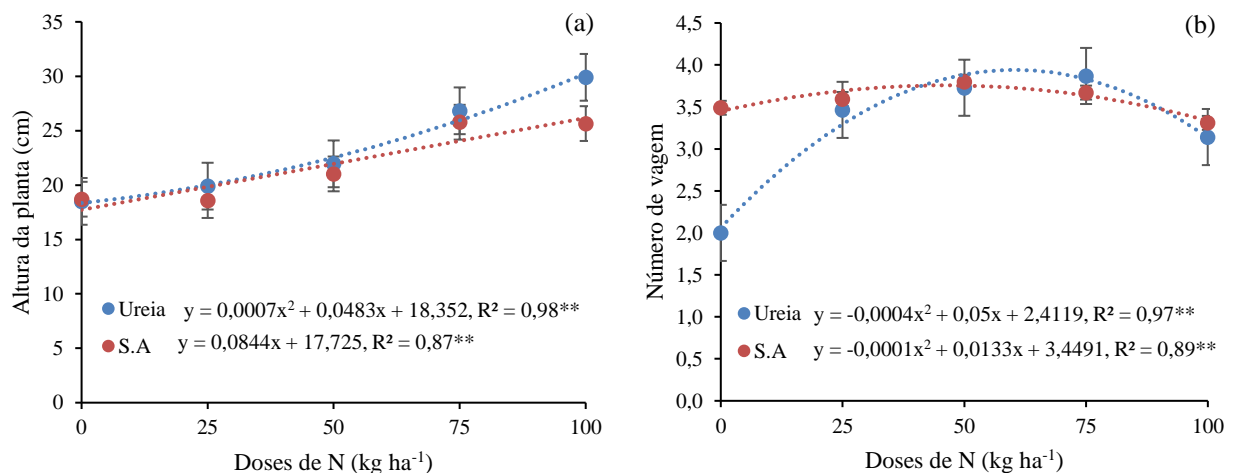
Essas fontes diferem em sua concentração de N, solubilidade e processos de conversão no solo (ureia dependendo da hidrólise e sulfato de amônio da nitrificação), o que resulta em

diferentes velocidades de absorção e assimilação pela cultura (Havlin *et al.*, 2021). O fato de a matéria seca do caule (MSC) não ter sido influenciada pelas fontes ($p>0,05$) sugere que, embora o crescimento inicial (diâmetro) seja afetado, a alocação final de biomassa para essa estrutura foi similar entre os tratamentos.

O efeito significativo das doses de N em quase todos os parâmetros (exceto MSF) confirma o papel central deste nutriente, que é componente essencial de proteínas, enzimas e clorofila, impulsionando diretamente a fotossíntese e a expansão celular (Taiz *et al.*, 2017). A ausência de resposta para a matéria seca da folha (MSF) às doses pode indicar que, mesmo na dose zero (controle), o N disponível no solo ou via fixação biológica inicial foi suficiente para o desenvolvimento foliar básico, ou que a planta priorizou alocar o N adicional para estruturas reprodutivas (vagens e sementes), que apresentaram alta significância ($p<0,01$).

Particularmente importante foi a interação significativa (F x D) para variáveis chave como altura da planta, número de vagens e peso de sementes. Isso indica que a resposta do feijão-caupi a uma determinada dose de N depende da fonte que está sendo utilizada. Ou seja, a dose ótima de ureia não é necessariamente a mesma que a dose ótima de sulfato de amônio. Esse resultado é crucial para o manejo da adubação, pois reforça que uma recomendação de N deve considerar não apenas a quantidade, mas também o tipo de fertilizante, visando otimizar a eficiência de uso do nutriente pela cultura (Khan *et al.*, 2021).

Figura 18 - Altura da planta (a) e número de vagem (b) de feijão manteiguinha em função de fontes e doses de N, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.



Barras verticais em cada ponto representam os erros-padrão das médias. S.A = Sulfato de Amônio, ** = $p<0,01$ significativo pelo teste F. Fonte: Autor, 2024.

A Figura 18 (a) e (b) apresenta a relação entre as doses de nitrogênio (0, 25, 50, 75 e 100 kg ha⁻¹) com a altura da planta e o número de vagens, respectivamente. A altura da planta

(Figura 20a) foi significativamente influenciada ($p < 0,01$) tanto pelas fontes quanto pelas doses aplicadas, havendo também interação entre os dois fatores (Tabela 4).

Quanto ao efeito das fontes de nitrogênio, observa-se que o tratamento com ureia promoveu maior altura das plantas em comparação com o sulfato de amônio. Esse resultado pode ser explicado pela maior concentração de N na ureia (44-46% de N) em comparação com o sulfato de amônio (20-23% de N), o que proporciona uma disponibilidade mais rápida e eficiente de N para o crescimento vegetativo (Fageria, 2014), além disso, a ureia é altamente solúvel em água, o que facilita sua absorção pelas plantas (Havlin *et al.*, 2021).

Essa diferença de resposta foi confirmada pela análise de regressão, que revelou um modelo quadrático para a ureia ($y = -0,0007x^2 + 0,0483x + 18,352$, $R^2 = 0,98^{**}$), indicando um ponto máximo de crescimento, enquanto a resposta ao sulfato de amônio foi linear ($y = 0,0844x + 17,725$, $R^2 = 0,87^{**}$), sugerindo que a altura continuou a aumentar até a dose máxima testada.

Em relação ao efeito geral das doses, a altura das plantas aumentou com o incremento da adubação nitrogenada, atingindo um ponto máximo estimado na dose de 75 kg ha^{-1} de N, a partir do qual tendeu à estabilização. Esse comportamento de platô produtivo é um padrão clássico da resposta das culturas aos nutrientes, conforme descrito por Novais *et al.* (2007) e Fageria (2014), e pode ser explicado por mecanismos fisiológicos intrínsecos à planta. Inicialmente, o aumento da disponibilidade de N no solo do Cerrado, naturalmente pobre neste nutriente, estimula a síntese de clorofila e proteínas, acelerando a fotossíntese e, conseqüentemente, o crescimento vegetativo (altura da planta).

No entanto, a partir de um determinado nível de suprimento de N (o ponto ótimo), outros fatores se tornam limitantes ao crescimento, como a capacidade genética da cultivar, a disponibilidade de luz, água ou outros nutrientes. Adicionalmente, por se tratar de uma leguminosa, a própria capacidade de fixação biológica de nitrogênio (FBN) pela planta contribui para este efeito; doses elevadas de N mineral no solo tendem a inibir a simbiose com bactérias fixadoras, representando um gasto energético para a planta sem um benefício adicional significativo. Doses excessivas podem, ainda, levar a um desequilíbrio metabólico ou causar efeitos de toxidez por amônio (Taiz *et al.*, 2017). Desta forma, a dose de 75 kg ha^{-1} de N representou o ponto de máxima eficiência de uso do nutriente para o crescimento em altura nesta cultivar, sob as condições do presente estudo.

A dose ótima de N (75 kg ha^{-1}) identificada neste trabalho dialoga de forma interessante com a literatura e as recomendações para a Amazônia Oriental, o que pode ser atribuído ao alto potencial de resposta da cultura em ambiente controlado. O manual de Recomendação de

Calagem e Adubação para o Estado do Pará (Brasil; Cravo; Viegas, 2020), por exemplo, sugere doses que variam de 20 a 40 kg ha⁻¹, podendo chegar a 60 kg ha⁻¹ em áreas de bom manejo.

Embora estudos de dose-resposta para o feijão-caupi na região do Pará/ Amapá sejam escassos, pesquisas na região nordeste paraense, como a de Silva *et al.* (1986), focaram na adaptação de cultivares, evidenciando a necessidade de trabalhos que, como o presente, investiguem o manejo nutricional. Em um estudo conduzido em Roraima, Smiderle e Schwengber (2004) observaram produtividade máxima de grãos da cultivar BRS Mazagão com a dose de 60 kg ha⁻¹ de N, um valor próximo ao encontrado e que válida a faixa de resposta para as condições edafoclimáticas regionais, sendo a diferença possivelmente atribuída à resposta específica de cada cultivar.

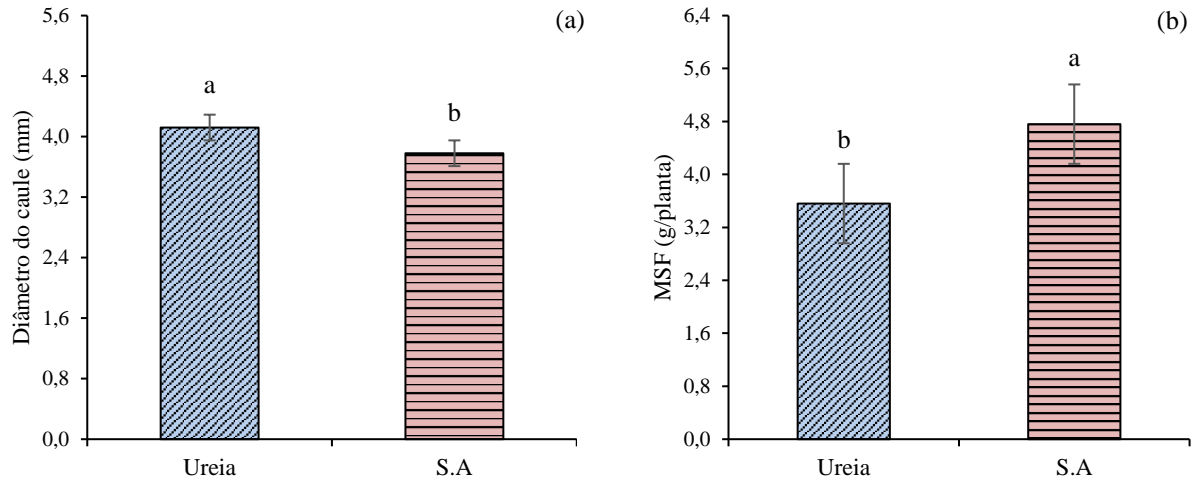
As variações na dose ótima, contudo, reforçam a influência do ambiente e do sistema de produção. Oliveira *et al.* (2003), por exemplo, determinaram a dose de 56 kg ha⁻¹ de N como ideal para a produção de grãos secos no semiárido paraibano, sugerindo que solos com menor capacidade de retenção de água ou regimes hídricos mais restritivos podem limitar o potencial de resposta da cultura a doses mais elevadas.

De forma ainda mais específica, Moreira *et al.* (2013), em Roraima, identificaram a dose de 31 kg ha⁻¹ de N como suficiente para a máxima produção de vagens verdes, indicando que a demanda nutricional da planta varia conforme o estágio fenológico e o produto final desejado.

Neste trabalho, o número de vagens (Figura 18b) apresentou um comportamento similar aos anteriormente citados. O tratamento com ureia resultou em um maior número de vagens em comparação ao sulfato de amônio, e o efeito das doses também atingiu um ponto máximo em 75 kg ha⁻¹ de N.

A análise de regressão revelou um modelo quadrático para ambas as fontes, indicando que, após o ponto ótimo, o incremento de N passa a não ter efeito ou a ser prejudicial à formação de vagens. Esse resultado está em consonância com a literatura, que destaca que doses excessivas podem levar a um crescimento vegetativo exuberante em detrimento da produção de vagens (Taiz *et al.*, 2017; Fageria, 2014), reforçando a necessidade de um fornecimento adequado de nitrogênio para o bom desenvolvimento reprodutivo da cultura. É fundamental, no entanto, distinguir a dose de máxima eficiência técnica (próxima a 75 kg ha⁻¹ neste estudo) da dose de máxima eficiência econômica, que é a que realmente interessa ao produtor.

Figura 19 - Diâmetro do caule (a) e matéria seca da folha (MSF) de feijão manteiguinha sob fontes de N (b), em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.



Barras verticais representam os erros-padrão das médias. S. A = Sulfato de Amônio. Letras distintas indicam diferença significativa pelo teste Tukey ($p < 0,01$). Fonte: Autor, 2024.

Segundo dados apresentados pela Tabela 4, o diâmetro do caule (DC) foi influenciado significativamente pelas fontes e doses de nitrogênio a $p < 0,01$ e $p > 0,05$ respectivamente, mas não houve interação significativa na interação entre fontes e doses. A Figura 19a, apresenta a relação entre fontes de N e o DC, onde é possível observar que o tratamento à base de ureia resultou em maior diâmetro do caule ($> 4,0$ mm) em comparação ao tratamento com o sulfato de amônio ($< 4,0$ mm), isso pode estar relacionado à maior disponibilidade de N na ureia, que promove maior desenvolvimento na biomassa da planta.

O N é essencial para a síntese de proteínas e o crescimento celular, o que contribui para o aumento do diâmetro do caule (Marschner, 2012). No entanto, o sulfato de amônio promoveu uma maior matéria seca da folha em relação a ureia (Figura 19b), indicando um aumento da capacidade da planta em realizar fotossíntese e, conseqüentemente, influenciar o potencial produtivo da cultura (Taiz *et al.*, 2017), o que pode ser explicado pela disponibilidade de enxofre no sulfato de amônio, um nutriente essencial para a síntese de proteínas e clorofila e que pode ter contribuído para um melhor desenvolvimento da folha (Marschner, 2012; Taiz *et al.*, 2017).

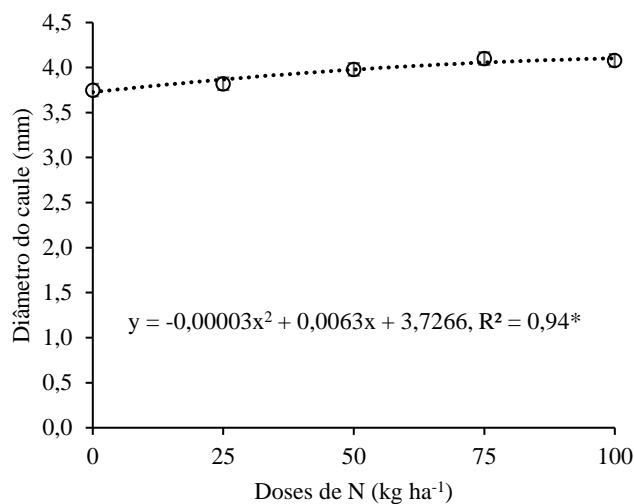
A superioridade da ureia em promover maior diâmetro do caule (Figura 19a) pode ser atribuída, principalmente, à sua maior concentração de nitrogênio (46% de N), que resulta em um aporte mais imediato e robusto do nutriente para o crescimento inicial da planta em comparação ao sulfato de amônio (21% de N). Por outro lado, o sulfato de amônio ter resultado em maior matéria seca da folha (Figura 19b) reforça o papel sinérgico do enxofre, também presente em sua composição. O enxofre é crucial para a síntese de aminoácidos essenciais

(como metionina e cisteína) e para a formação de clorofila, otimizando a eficiência fotossintética e, conseqüentemente, o acúmulo de biomassa nas folhas (Taiz *et al.*, 2017).

É importante ressaltar que o experimento foi conduzido em casa de vegetação, o que permitiu controlar fatores ambientais cruciais como temperatura e precipitação. A irrigação foi manejada para manter a umidade do solo em capacidade de campo, minimizando o estresse hídrico e garantindo a solubilização dos fertilizantes.

Contudo, o ambiente não foi totalmente estéril, sendo observada a presença de pragas que podem ter introduzido certa variabilidade nos resultados. Por essa razão, a escolha do delineamento em blocos casualizados (DBC) foi fundamental, pois permitiu isolar estatisticamente e minimizar o efeito dessas variações não controladas, assegurando que as diferenças observadas sejam, de fato, atribuíveis aos tratamentos aplicados.

Figura 20 - Diâmetro do caule de feijão manteiguinha em função das doses de N, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.



Barras verticais em cada ponto representam os erros-padrão das médias. S.A = Sulfato de Amônio, * = $p < 0,05$ significativo pelo teste F. Fonte: Autor, 2024.

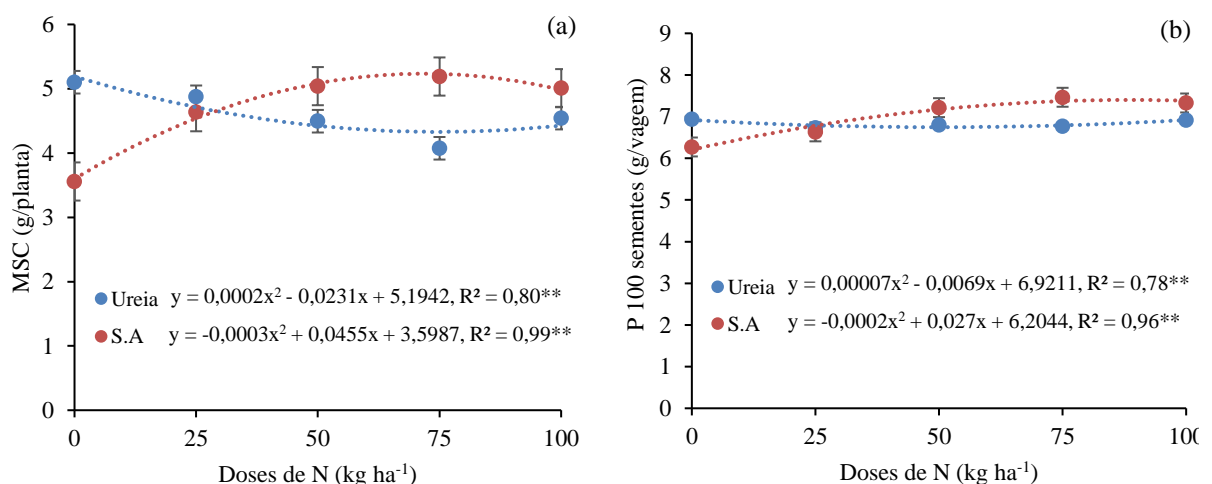
A Figura 20, apresenta o diâmetro do caule em função das doses de nitrogênio independentemente da fonte. Essa relação teve significância $p > 0,05$ e pôde ser observado atingindo um ponto máximo e tendendo a estabilizar ou apresentar uma leve redução em doses mais elevadas. Esse padrão de resposta é semelhante ao observado para a altura da planta e o número de vagens. As curvas de resposta às doses de nitrogênio evidenciam uma relação quadrática para o diâmetro do caule ($y = -0,00003x^2 + 0,0063x + 3,7266$, $R^2 = 0,94^*$), o que indica que o diâmetro do caule aumenta com o aumento das doses de nitrogênio até um ponto máximo, a partir do qual o aumento é menor.

Esse padrão de resposta quadrática, observado tanto para o diâmetro do caule (Figura 20) quanto para o peso de sementes (Figura 21b), sugere que o incremento produtivo se torna marginal com o aumento das doses, reforçando a existência de um ponto ótimo de adubação. É fundamental distinguir a dose de máxima eficiência técnica (o ponto no gráfico que gera a maior produção física, neste estudo, próxima a 75 kg ha⁻¹ de N) da dose de máxima eficiência econômica, que é a que realmente interessa ao produtor. Esta última é sempre inferior à primeira, pois considera a relação entre o custo do fertilizante e o preço de venda do feijão.

Para pequenos produtores do Amapá, que operam com margens de lucro mais apertadas e menor acesso a capital, a aplicação da dose de máxima produção pode não ser economicamente viável. O custo adicional para passar de, por exemplo, 50 kg ha⁻¹ para 75 kg ha⁻¹ de N pode não ser compensado pelo pequeno acréscimo de produtividade obtido nesse intervalo.

Portanto, a recomendação prática baseada nestes resultados deve ser cautelosa, sugerindo que doses ligeiramente inferiores ao pico de produção (na faixa de 50 a 60 kg ha⁻¹) podem oferecer um retorno sobre o investimento mais seguro e atrativo para a agricultura familiar da região. Estudos futuros que integrem uma análise de custo-benefício, utilizando os preços locais de insumos e da saca de feijão, seriam de grande valia para refinar essa recomendação.

Figura 21 - Matéria seca do caule (a) e peso de 100 sementes (b) de feijão manteiguinha em função das doses de N, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.



Barras verticais em cada ponto representam os erros-padrão das médias. S.A = Sulfato de Amônio, ** = $p < 0,01$ significativo pelo teste F. Fonte: Autor, 2024.

A matéria seca do caule (MSC) e o peso de 100 sementes (P100 Sem.), componentes chave para a estruturação e produtividade final da planta, também demonstraram resposta

significativa às doses de nitrogênio (Figura 21). Para a MSC (Figura 21a), a resposta variou conforme a fonte. Com sulfato de amônio, observou-se um aumento significativo até a dose de 75 kg ha^{-1} , sugerindo que a combinação de N e S foi benéfica para o desenvolvimento de tecidos estruturais do caule. Em contrapartida, a resposta à ureia, embora estatisticamente significativa ($R^2 = 0,80^{**}$), foi de menor magnitude, indicando que, uma vez suprida a demanda básica para a estrutura, o N adicional foi prioritariamente alocado para outras partes da planta, como folhas ou grãos.

Para o peso de 100 sementes (Figura 21b), um componente direto do rendimento, ambas as fontes apresentaram um comportamento quadrático, com a máxima expressão também ocorrendo próximo à dose de 75 kg ha^{-1} . Este resultado evidencia que esta faixa de N foi ótima para a fase de enchimento de grãos, garantindo a máxima translocação de fotoassimilados para as sementes. Doses superiores não resultaram em sementes mais pesadas, reforçando a ideia de que a capacidade de acúmulo de reservas no grão atingiu seu limite genético ou foi limitada por outros fatores fisiológicos, alinhado ao que foi observado para o número de vagens. Ambos os gráficos, portanto, corroboram a dose de 75 kg ha^{-1} como o ponto de máxima eficiência técnica para a cultura sob as condições deste estudo.

6 CONCLUSÕES

A dose de 75 kg ha⁻¹ de N representou o ponto de máxima eficiência técnica, sendo a ureia a fonte mais eficaz para promover o crescimento e a produtividade do feijão-caupi 'Manteiguinha' nas condições avaliadas.

A interação significativa (Fonte x Dose) foi um resultado crucial, indicando que a dose ótima de N é dependente do fertilizante utilizado, o que exige um manejo da adubação que considere ambos os fatores, e não apenas a quantidade.

É fundamental a validação destes resultados em condições de campo no Cerrado amapaense, com foco na determinação da Dose de Máxima Eficiência Econômica (DEE), na interação com a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) e na avaliação de diferentes cultivares, visando desenvolver um manejo sustentável para a cultura na região.

Estudos com o uso das duas fontes, ureia seguida de sulfato de amônio, conforme etapas de desenvolvimento da altura e massa seca da planta são indicados.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, A. *et al.* (2018). Soil types select for plants with matching nutrient-acquisition and -use traits in hyperdiverse and severely nutrient-impooverished campos rupestres and cerrado in Central Brazil. **Journal of Ecology**, 107, p. 1302 - 1316. 2018.
- ADUSEI, G. *et al.* **The Variability of Grain Yield of Some Cowpea Genotypes in Response to Phosphorus and Water Stress under Field Conditions.** *Agronomy*. 2020.
- AHMAD, M. *et al.* Perspectives of microbial inoculation for sustainable development and environmental management. **Frontiers in Microbiology**, [S.l.], v. 9, p. 2992, 2018.
- ALHARBI, K. *et al.* **Physiological Studies and Ultrastructure of *Vigna sinensis* L. and *Helianthus annuus* L. under Varying Levels of Nitrogen Supply.** *Plants*, 11, 2022.
- ALLISON, F. E. The fate of nitrogen applied to soils. **Advances in agronomy**, v. 18, p. 219-258, 1966.
- ALMEIDA, A. F.; RIBEIRO, M. C. Avaliando o potencial agronômico de variedades de feijão-caupi no semiárido brasileiro. **Revista de Pesquisa Agropecuária**, 34(1), 22-31, 2017.
- ALVES, L. W. R.; CASTRO, G. S. A. **Proposta de ocupação e uso agropecuário mais sustentável do cerrado amapaense: princípios, critérios e indicadores técnicos.** Macapá-AP: Embrapa Amapá, 2014. 46 p. (Documentos 80, Embrapa Amapá).
- AMCEL – **Amapá Florestal e Celulose S.A.** (2018) Página institucional. Disponível em: <https://www.amcel.com.br/>. Acesso em: 06 fev. 2025.
- ARAUJO, E. *et al.* Nutritional Status of Cowpea Plants Inoculated with Bradyrhizobium and Azospirillum brasilense in Associated with Phosphate Fertilization in Soil Amazonian. **Journal of Experimental Agriculture International**, 2018.
- ARAUJO, M. *et al.* Selection of superior cowpea lines for multi-traits and adaptabilities to the Piauí semi-arid using genotype by yield*trait biplot analysis. **Ciencia E Agrotecnologia**, 45, 2021.
- ASSAD, E. D.; ASSAD, M. L. R. C. L. Mudanças do clima e agropecuária: **impactos, mitigação e adaptação.** Desafios e oportunidades. Estudos Avançados, v. 112, pág. 271-292, 2024. DOI: 10.1590/s0103-4014.202438112.015.
- BADIANE, F. A.; DIOUF, M.; DIOUF, D. Feijão-caupi. In: Singh, M., Bisht, I., & Dutta, M. (eds) **ampliando a base genética de leguminosas para grãos.** Springer, Nova Déli, 2014.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JUNIOR, W. AgroEstat - **Sistema para Análises Estatísticas de Ensaio Agrônomicos.** Versão 1.1.0.712, 2014.
- BARROS, J. R. A. **Feijão-caupi: parâmetros produtivos, biométricos, fisiológicos, bioquímicos e prospecção de genes, frente ao aumento da temperatura e do déficit hídrico.**

2021. 200f. Tese (Doutorado em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2021.

BASU, S.; KUMAR, G. **Nitrogen fixation in a legume-Rhizobium symbiosis: the roots of a success story.** In: VARMA, A.; PRASAD, R.; TRIPATHI, S. (org.). *Plant microbe symbiosis*. Cham: Springer, p. 35–53, 2020.

BIAMA, P. *et al.* **Nutritional, Technological And Sensory Characteristics of Improved Cowpea (*Vigna Unguiculata* L.) Lines and Varieties Cultivated in Arid And Semi-Arid Lands of Eastern Kenya.** 2021. Tese de Doutorado. Egerton University, 2021.

BOBOS, I.; KOMAR, O.; FEDOSIY, I. **Assessment of growth and development of cowpea varieties based on phenological and morphological observations.** *Plant and Soil Science*, 2022.

BOUKAR, O. *et al.* Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. In: Genetic Improvement of Grain Legumes. **Advances in Plant Breeding Strategies: Legumes: Volume 7**, p. 185-224, 2019.

BRASIL, E. C.; CRAVO, M. da S.; VEIGAS, I. de J. M. **Recomendação de calagem e adubação para o estado do Pará.** 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2020. 419 p.

BRASIL, *et al.* **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará.** 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; EMBRAPA. **A cultura do feijão-caupi no Brasil.** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2016.

BRITO, M. M. P.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C. da. **Contribuição da fixação biológica de nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio do solo no desenvolvimento de feijão e caupi.** *Bragantia*, v. 70, p. 206-215, 2011.

CANTARELLA, H. *et al.* Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. *Scientia Agricola*, v. 65, n. 4, p. 397-401, 2008.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. *et al.* (Ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo** 1017 p, 2007.

CARREGOSA, L.; BARROS, R. **Entenda como a guerra impacta o mercado de fertilizantes.** 2022.

CARVALHO, A. V. *et al.* Qualidade de novas cultivares de feijão-caupi durante o armazenamento. Belém, PA: **Embrapa Amazônia Oriental**, 2022, (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 155.

CASTRO, G. S. A.; ALVES, L. W. R. Cerrado amapaense: estado da arte da produção de grãos. Macapá: **Embrapa Amapá**, 46 p, 2013. (Embrapa Amapá. Documentos, 81).

CASTRO, G. S. A.; ALVES, L. W. R. **Cerrado amapaense: estado da arte da produção de grãos.** 2013.

CAVALCANTE, E. da S.; GÓES, A. C. P. **O feijão-caupi no Amapá: do Campo à mesa.** Macapá: Embrapa Amapá, 2011. 20 p. il. (Embrapa Amapá. Documentos, 71).

CAVALCANTE, E. S. **BRS-Mazagão - Cultivar de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) para o estado do Amapá,** p. 1-3. Embrapa Amapá, Comunicado Técnico, Macapá, AP, 2000.

CHEMIM, F. **Novas cultivares de Feijão-caupi lançadas para o estado do Pará.** Curitiba, PR: IBRAFE, 4 maio 2023.

CHITOLINA, J. C. **Perdas de nitrogênio por lixiviação: efeitos da uréia coberta com enxofre.** 1978. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 1978.

CLAESSEN, M. E. C. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 212 p. 1997.

COELHO, J. D. **FEIJÃO:** v. 8 n. 322 (2023). Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste - ETENE, Fortaleza, v. 8, n. 312, 2023. Disponível em: <<https://www.bnb.gov.br/revista/cse/article/view/2622>>. Acesso em: 16 fev. 2024.

CONAB - **COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO.** Acompanhamento da safra brasileira de grão: 2º levantamento - Safra 2023/24. Brasília, DF: CONAB, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 10 nov. 2024.

CONAB - **COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO.** Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: 3º Levantamento - Safra 2024/25. Brasília, DF: CONAB, 2024. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>> Acesso em: 13 de dezembro de 2024.

CORUMBÁ, L. G. **Avaliação da qualidade de sementes *Vigna unguiculata*(L.) Walp após processo de secagem em leito de jorro.** 2015. 162 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Recursos Naturais da Amazônia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém, 2015.

COSTA, A. F. da. *et al.* Feijão-caupi no semiárido brasileiro. **Cadernos do Semiárido: riquezas & oportunidades,** v. 17, n. 3. Recife: CREA-PE, Editora UFRPE, 2020.

COSTA, C. A. S. *et al.* **Avaliação da divergência genética em genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.),** subclasse manteiguinha. Anais do XIII Seminário Anual de Iniciação Científica da UFRA, 2014.

COSTA, M. M. M. N. Fixação biológica de nitrogênio: uma revisão. Campina Grande: **Embrapa Algodão,** 2023. 34 p. (Documentos / Embrapa Algodão, e-ISSN 2966-0343; 293).

DA SILVA, E. *et al.* **Organic nitrogen in agricultural systems.** In: RIGUBEIRA, N. (ed.). Organic fertilizers. London: IntechOpen, 2019. Cap. 6. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/70071>. Acesso em: 21 jul. 2025.

DAHLIN, S. *et al.* Possibilities for improving nitrogen use from organic materials in agricultural cropping systems. **Journal of Environmental Quality**, [S.l.], v. 34, n. 4, p. 288–295, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1579/0044-7447-34.4.288>. Acesso em: 21 jul. 2025.

DAWSON, C.; HILTON, J. **Fertiliser availability in a resource-limited world: production and recycling of nitrogen and phosphorus**. *Food Policy*, [S.l.], v. 36, p. 14–22, 2011.

DIMENSTEIN, L. **Regra de ouro da fertirrigação**. 2. ed. [SI]: [sn], 2019.

ELOWAD, H.; HALL, A. **Influences of early and late nitrogen fertilization on yield and nitrogen fixation of cowpea under well-watered and dry field conditions**. *Field Crops Research*, v. 15, p. 229-244, 1987.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **BRS Cauamé**: nova cultivar de feijão-caupi com porte semi-ereto . Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Manejo integrado de praxe. Brasília, DF: Embrapa, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/producao/manejo-integrado-de-pragas> . Acesso em: 1 JAN. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Fixação biológica de nitrogênio**. Agência de Informação Tecnológica. Brasília: Embrapa, 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/producao/correcao-e-adubacao/fixacao-biologica-de-nitrogenio>. Acesso em: 06 fev. 2025.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte. **BRS Aracê**: cultivar de feijão-caupi com grãos tipo mulatinho para o Nordeste brasileiro. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009. 4 p. Folder.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte. **BRS Cauamé**: nova cultivar de feijão-caupi com porte semi-ereto. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009. 4 p. Folder.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte. **BRS Cauamé**: nova cultivar de feijão-caupi com porte semi-ereto. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009. Folder.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte. **BRS Cauamé**: nova cultivar de feijão-caupi com porte semi-ereto. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009. 4 p. Folder.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte. **BRS Itaim**: cultivar de feijão-caupi com grãos tipo fradinho. Teresina: Embrapa Meio-Norte, agosto 2009. Folder. 4p

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte. **BRS Novoeste**: cultivar de feijão-caupi com grãos tipo fradinho para o Centro-Oeste brasileiro. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009. Folder.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Trópico Único. **Novas cultivares de caupi**. Goiânia: Embrapa-CNPAF; Belém: Embrapa-CPATU, 1983. Folder

EMBRAPA. Novas cultivares de caupi: **BR2-Bragança; BR3-Tracuateua**. Belém: Embrapa-CPATU; Goiânia: Embrapa-CNPAF, 1985.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **BRS Cauamé**: nova cultivar de feijão-caupi com porte semi-ereto . Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009.

FAGERIA, N. K. **Ecofisiologia da cultura do caupi**. In: FAGERIA, N. K. (Ed.). Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas. Brasília, DF: Embrapa-DPU, 1989. p. 397-409.

FAGERIA, N. K. **Nitrogen management in crop production**. Boca Raton: CRC Press, 2014. 408 p. il.

FALCÃO, K. *et al.* (2020). **Surface runoff and soil erosion in a natural regeneration area of the Brazilian Cerrado**. International Soil and Water Conservation Research, v. 8, n. 2, p. 124-130, 2020.

FAOSTAT - **Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Database**. 2023. Crops and Livestock Products. 2023.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas** / Valdemar Faquin. -- Lavras: UFLA / FAEPE, 2005. p.: il. - Curso de Pós-Graduação "Lato Sensu" (Especialização) a Distância: Solos e Meio Ambiente. v. 183, 2005.

FERREIRA, I. C. *et al.* **Nitrogen use efficiency in cowpea: a meta-analysis of recent studies**. Plant and Soil, 484(1-2), 1-15, 2023.

FILGUEIRAS, G. C. *et al.* Aspectos socioeconômicos. In: ZILLI, J. E.; VILARINHO, A. A.; ALVES, J. M. A. (ed.). *A Cultura do Feijão-caupi na Amazônia Brasileira*. Boa Vista, RR: Embrapa Roraima, p. 23-58, 2009.

FRANCO, A. A. N. *et al.* Desempenho agrônômico de cultivares de feijão-caupi em primeira safra no Sudoeste de Minas Gerais, Brasil." Caderno Pedagógico, 2024.

FREIRE FILHO, F. R. *et al.* **BRS Xiquexique: cultivar de feijão-caupi rica em ferro e zinco**. Teresina, PI; Aracaju, SE: Embrapa Meio-Norte; Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2008. 1 folder.

FREIRE FILHO, F. R. *et al.* Avaliação preliminar de progênies de feijão-caupi tipo manteiguinha no município de Belém, Pará. In: **CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI**, 4., 2016, Sorriso. Feijão-caupi: avanços e desafios tecnológicos e de mercado: resumos. Brasília, DF: Embrapa, 2016. p. 140.

FREIRE FILHO, F. R. *et al.* Produtividade de linhagens e cultivares crioulas de feijão-caupi, tipo manteiguinha, no estado do Pará. In: **CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI**, 5., 2019, Fortaleza. Sustentabilidade e inovações tecnológicas para o feijão-caupi: desafios e perspectivas: anais. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará: Embrapa Meio-Norte, 2019. p. 1-5.

FREIRE FILHO, F. R. *et al.* **Melhoramento genético do feijão-caupi na Embrapa Amazônia Oriental**: período de 2013 a 2022. Brasília: Embrapa, 2023. 113 p. ISBN 978-65-89957-50-8.

FREIRE FILHO, F. R.; *et al.* **BRS Milênio e BRS Urubuquara: cultivares de feijão-caupi para a região Bragantina do Pará.** Revista Ceres, Viçosa, MG, v. 56, n. 6, p. 749-752, nov./dez. 2006.

FREIRE FILHO, F.R. *et al.* Feijão-caupi no Brasil: **produção, melhoramento genético, avanços e desafios.** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 84 p. p.: il.; 27 cm. ISBN 978-85-88388-21-5.

FREIRE FILHO, F.R. **Genética do caupi.** In: ARAÚJO, J.P.P.; WATT, E.E. (Org.). O caupi no Brasil. Brasília, DF: Embrapa CNPAF; Ibadan: IITA, 1988. p.194-222.

FREITAS, S. E. de. **Lixiviação de nitrato em colunas de solo afetada por textura, doses de nitrogênio e lâmina de água adicionada.** 2020.

FROTA, K. M. G.; SOARES, R. A. M.; ARÊAS, J. A. G. Chemical composition of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp), BRS-Milênio cultivar. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 2, pág. 470-476, 2008.

GALINDO, F. *et al.* Nitrogen recovery from fertilizer and use efficiency response to *Bradyrhizobium sp.* and *Azospirillum brasilense* combined with N rates in cowpea-wheat crop sequence. **Applied Soil Ecology**, 157, 103764, 2021.

GALINDO, F. S. *et al.* **Co-inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium sp.* enhances nitrogen uptake and yield in field-grown cowpea and did not change N-fertilizer recovery.** Plants, [S.l.], v. 11, n. 14, p. 1847, 2022.

GASKELL, M.; SMITH, R. **Nitrogen Sources for Organic Vegetable Crops.** v. 17, n. 4, p. 431-441, 2007.

GILLER, K. E. **Nitrogen fixation in tropical cropping systems.** 2. ed. Wallingford: CAB Publishing, 2001.

GOMES, J. F. S.; SILVA, A. L. R.; FONSECA, L. C. Fontes alternativas à ureia no fornecimento de nitrogênio para o arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 47, n. 5, p. 36-42, 2017.

GOOD, A. **Toward nitrogen-fixing plants.** Science, [S.l.], v. 359, p. 869–870, 2018.

HAVLIN, J. L. *et al.* **Soil Fertility and Fertilizers: an introduction to nutrient management.** 8. ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson, 2021. xi, 528 p. ISBN 978-0137593392.

HAWKESFORD, M. J. *et al.* Functions of macronutrients. In: RENGEL, Z.; CAKMAK, I.; WHITE, P. J. (ed.). Marschner's mineral nutrition of plants. Amsterdam: Elsevier, 2023. p. 201–281.

HELMY, A.; HASSAN, H.; IBRAHIM, H. **Influence of planting density and bio-nitrogen fertilization on productivity of cowpea.** v. 15, n. 10, p. 1953-1961, 2015.

HUNGRIA, M.; MENDES, I. C.; MERCANTE, F. M. A fixação biológica do nitrogênio como tecnologia de baixa emissão de carbono para as culturas do feijoeiro e da soja. Londrina: **Embrapa Soja**, 2013. 22 p.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Aumento no cultivo do feijão-caupi no estado Amapá. 2021.

IBGE, **Produção Agrícola Municipal 2023**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

IBGE. (2022). Biomass do Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Recuperado de <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/15842-biomass.html>

JEMO, M. *et al.* (2017). Comparative Analysis of the Combined Effects of Different Water and Phosphate Levels on Growth and Biological Nitrogen Fixation of Nine Cowpea Varieties. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 2111, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02111>

JÚNIOR ANDRADE, A. R.; SILVA, L. F.; PEREIRA, M. A. O papel do nitrogênio na nutrição e produtividade das plantas. **Revista Brasileira de Agricultura**, v. 20, n. 1, p. 45-59, 2010.

KAVERI, K.; SINGH, R.; INDU, T. Effect of foliar spray of nitrogen and NAA on growth and yield traits of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). **International Journal of Plant & Soil Science**, 2022.

KHAN, Z. *et al.* Compensation of high nitrogen toxicity and nitrogen deficiency with biochar amendment through enhancement of soil fertility and nitrogen use efficiency promoted rice growth and yield. **GCB Bioenergy**, [S.l.], v. 13, n. 7, p. 1211–1226, jul. 2021.

KULKARNI, K. P. *et al.* (2018). Harnessing the Potential of Forage Legumes, Alfalfa, Soybean, and Cowpea for Sustainable Agriculture and Global Food Security. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1314, 2018.

KYEI-BOAHEN, S. *et al.* Growth and yield responses of cowpea to inoculation and phosphorus fertilization in different environments. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 646, 2017.

LIMA, L. F. *et al.* Herança e incorporação de gene de resistência ao CPSMV em genótipos de feijão-caupi subclasse manteiga. In: **CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI**, 5., 2019, Fortaleza. Sustentabilidade e inovações tecnológicas para o feijão-caupi: desafios e perspectivas: anais. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará: Embrapa Meio-Norte, 2019. p. 5.

LINDSTRÖM, K.; MOUSAVI, S. A. **Effectiveness of nitrogen fixation in rhizobia**. *Microbial Biotechnology*, v. 13, n. 5, p. 1314–1335, 2020.

MALAVOLTA, E. *et al.* **Evaluation of nutritional status of the cotton plant with respect to nitrogen**. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Philadelphia, v. 35, p. 1007–1019, 2004.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MARCUZZO, L. L. *et al.* Efeito de doses de nitrogênio na severidade da ferrugem do alho. *Revista de Agricultura Brasileira*, Rio do Sul: Instituto Federal Catarinense, v. 5, n. 22, 2021.

MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. illustrated. Edited by Petra Marschner. London: Academic Press, 2012. 651 p. ISBN 9780123849052.

MARTINS, L. *et al* (2003). **Contribution of biological nitrogen fixation to cowpea: a strategy for improving grain yield in the semi-arid region of Brazil**. *Biology and Fertility of Soils*, v. 38, n. 6, p. 333-339, 2003.

MELÉM JÚNIOR, N. J.; FARIAS NETO, J. T. D.; YOKOMIZO, G. K. I. **Caracterização dos cerrados do Amapá**. Macapá: Embrapa Amapá, 2003. (Comunicado Técnico, 105).

MELÉM JÚNIOR, N.J. *et al*. Adsorção e fósforo remanescente em latossolo amarelo distrófico do cerrado do Amapá. In: **SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO, 9.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS, 2.**, 2008, Brasília, DF. Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais: análises... Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008.

MELO, F. D. B. *et al*. **Recomendação de adubação e calagem para o feijão-caupi na região Meio-Norte do Brasil**. Teresina, PI. 2018.

MOHAMEDZEIN, E. Effect of intercropping (sorghum/cowpea), *Bradyrhizobium*, nitrogen and phosphorus fertilizers on growth of cowpea under rainfed conditions. **Humanitarian and Natural Sciences Journal**, v. 3, n. 6, p. 203-217, 2022.

MOREIRA, P. X. *et al*. Estrutura e composição química do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walpi). In: BRITO, E. S. de (Ed.). **Feijão-caupi**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, p. 11-23, 2008.

MOREIRA, V. B. *et al*. Rendimento de feijão-caupi sob diferentes fontes e doses de nitrogênio em Roraima. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34.**, 2013, Florianópolis. Anais... Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. p. 1-4.

MUINDI, M. *et al*. **Eficiência simbiótica e caracterização genética de rizóbios e endófitos não rizóbios associados ao feijão-caupi cultivado nos trópicos semiáridos do Quênia**. *Heliyon*, v. 7, 2021.

MUKHOPADHYAY, R. *et al* (2023). Urea and *Trichoderma harzianum* Loaded Clay-Polymer Composite in Conjunction with Farmyard Manure Sustains Soil Moisture and Nitrogen Availability to Manage *Fusarium-Meloidogyne* Disease Complex in Lentil (*Lens culinaris*). **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 55, n. 7, p. 1071-1091, 2023.

MUNJONJI, L. *et al*. Screening Cowpea Genotypes for High Biological Nitrogen Fixation and Grain Yield under Drought Conditions. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 5, p. 1925-1935, 2018.
MUR, L. *et al*. **Moving nitrogen to the centre of plant defence against pathogens**. *Annals of Botany*, Oxford, v. 119, p. 703–709, 2016.

NASCIMENTO, D. N.; LOBO, V. D. S.; PASSADOR, G. **A importação brasileira de fertilizantes potássicos da Rússia e como a guerra com a Ucrânia influência no setor**. São Paulo: Fatec Zona Leste, 2022.

NAWAR, D.; ZYADA, H.; BOGHDADY, M. (2018). **Effect Of Lithovit On Growth, Seed Yield Components And Anatomy Of Stem And Leaf Of Cowpea Plants Under Different Mineral Nitrogen Levels**, v. 45, n. 3, p. 851-867, 2018.

NDOR, E.; FARINGORO, U. Response of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) to time of application and nitrogen fertilizer on the degraded soil of Southern Guinea Savanna Zone of Nigeria. **Advances in Science Research Journal**, v. 3, p. 36-42, 2020.

NGAKOU, A. *et al.* Ocorrência de ocupação de nódulos na simbiose entre rizóbio e feijão-caupi em Adamawa-Camarões. **Journal of Plant Sciences**, v. 15, p. 1-8, 2019.

NOVAIS, R. F. *et al.* **Fertilidade do solo**. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), 2007. 1017 p. ISBN 9788586504082.

NUNES, R. T. C. *et al* (2017). Produção e qualidade de sementes de feijão-caupi em função de doses de molibdênio e da população de plantas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 3, p. 533-542, 2017.

OLIVEIRA, A. B. *et al.* **Exigências Edafoclimáticas e ecofisiologia**. Feijão-caupi: do plantio à colheita. Ed. UFV. Viçosa, MG, cap.3, p. 52-69. 2017.

OLIVEIRA, A. P. *et al.* **Rendimento de feijão-caupi em função de doses e formas de aplicação de nitrogênio**. Horticultura Brasileira, Brasília, DF, v. 21, n. 1, p. 77-80, mar. 2003.

OLIVEIRA, M. B.; COSTA, P. R.; SILVA, L. A. **Produção de sulfato de amônio duplamente marcado com os isótopos estáveis 15N e 34S**. Química Nova, v. 41, n. 6, p. 640-645, 2018.

OLIVEIRA, R. A.; OLIVEIRA, F. M.; SILVA, T. G. Feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.): aspectos gerais e possibilidades de uso. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, 11(1), 1-16, 2021.

PEREIRA, K. O.; DOHLER JÚNIOR, M. B. Impactos causados pelo El Niño na agricultura e na pecuária brasileira. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 2, n. 1, 2024. ISSN 2178-6925.

PINTO, G.A. Sulfato de amônio: nova tecnologia cria oportunidades para produção. **Revista Química e Derivados**, 2018.

POCHTECA (2022) Sulfato de amônio: o que é e para que serve? Pochteca Brasil, 2023. Disponível em: <https://brasil.pochteca.net/sulfato-de-amonio/>. Acesso em: 06 fev. 2025.

RAIJ, B. *et al.* **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. 2. ed. rev. e ampl. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas (IAC), 2001. 285 p.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RESENDE, J. M. do A. *et al.* Variabilidade espacial de atributos de solos coesos do leste maranhense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1077-1090, 2014.

SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 9, n. 1, p. 27-32, 2011.

SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; LECH, V. A. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia em cobertura na cultura do milho: I. Influência de doses e fontes de nitrogênio e da época de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 535–542, 2003.

SANTANA, Í. O. *et al.* **Produção de feijão-de-corda sob diferentes doses de nitrogênio aliado à aplicação de boro**. Agropecuária Científica no Semiárido, Patos, v. 2, pág. 75-80, 2020.

SANTOS H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed. revisada e ampliada. Brasília - DF: EMBRAPA, 2018. 356 p.

SCHULTE, C. *et al.* **Metabolic control of nitrogen fixation in rhizobium-legume symbioses**. Science Advances, [S.l.], v. 7, 2021.

SILVA, D. J.; FEITOSA FILHO, J. C. **Fertirrigação para iniciantes**. João Pessoa-PB: Universidade Federal da Paraíba, 2003.

SILVA, J. F. de A. F. da; AQUINO, S. F. F. de; OLIVEIRA, A. F. F. de. **Adaptação de cultivares de caupi às condições ecológicas do nordeste paraense**. In: SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO, 1., 1984, Belém. Anais [...]. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1986. v. 3, p. 209-218.

SINGH, B. **Cowpea: the food legume of the 21st century**. Edição ilustrada. Madison: John Wiley & Sons, 2020. 192 p. (ASA, CSSA, and SSSA Books). ISBN 0891186212.

SMIDERLE, O. J.; SCHWENGBER, D. R. **Rendimento de sementes de feijão-caupi em função de doses de nitrogênio**. Horticultura Brasileira, Brasília, DF, v. 22, n. 2, jul. 2004. Suplemento CD-ROM.

SONG, H. *et al.* **Progress in Photochemical and Electrochemical C–N Bond Formation for Urea Synthesis**. Accounts of Chemical Research, v. 56, n. 21, p. 2944-2953, 2023.

SORATTO, R. P. *et al.* **Densidade ótima de plantio agrônômico para feijão-caupi semi-ereto como segunda cultura no sudeste do Brasil**. Crop Science, 60: 2695-2708. 2020.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

STONE, L. F. **Efeitos de lâminas de irrigação e preparo do solo na resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 24 p. 2002. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Arroz e Feijão, ed. 21)

SUCIATI, D. E.; SEPTIANA, Y. (2024). **Optimasi Coating Pupuk Urea Prill Dengan Poliuretan Sebagai Aplikasi Crf** (Fertilizante De Liberação Controlada). Sainti: Majalah Ilmiah Teknologi Industri, v. 21, n. 1, p. 1-7, 2024.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

UNIGEL (2021) Sulfato de amônio. Disponível em: <https://www.unigel.com.br/sulfato-de-amonio/>. Acesso em: 06 fev. 2025.

VALENTE, M. A.; CAMPOS, A. G. S.; WATRIN, O. dos S. **Mapeamento dos solos do bioma cerrado do Estado do Amapá**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. Anais [...]. São José dos Campos: INPE, 2015. p. 3557–3564.

VENTURIERI, A. *et al.* **Mapeamento de solos e cobrança agrícola das terras do Cerrado Amapaense, realizado em escala de reconhecimento de alta intensidade, como subsídio ao Macro ZEE**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 48 p. 2017. 15 cm x 21 cm. (Documentos / Embrapa Amazônia Oriental, ISSN 1517-2201; 429).

VERA, C. A.; SOUZA, F. J.; MARTINS, R. D. Nutrição do feijão-caupi: A importância do nitrogênio para a produtividade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 23, n. 3, p. 123-134, 2019.

VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J. de; BORÉM, A. **Feijão**. 2. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006.
VIEIRA, R. F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Brasília, DF: Embrapa, 163 p. 2017. ISBN 978-85-7035-780-9.

WAN, W. *et al.* Responses of the rhizosphere bacterial community in acidic crop soil to pH: **Changes in diversity, composition, interaction, and function**. *The Science of the Total Environment*, v. 700, p. 134418, 2020.

YANG, C. *et al.* **Catalysts for C-N coupling in urea electrosynthesis under ambient conditions from carbon dioxide and nitrogenous species**. *Chemical communications*, v. 60, n. 44, p. 5666-5682, 2024.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. **A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil**. *Communications in soil science and plant analysis*, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.