



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS ARAGUATINS
CURSO SUPERIOR BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA**

**BRENO SOUSA ARAÚJO
JOÃO MARIO QUIXABEIRA SOARES KACZMARK**

**RESPOSTA DA RÚCULA (*Eruca sativa* Mill) À ADUBAÇÃO NITROGENADA
EM DIFERENTES DOSES: CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E
QUALIDADE**

**ARAGUATINS
2025**

BRENO SOUSA ARAÚJO
JOÃO MARIO QUIXABEIRA SOARES KACZMARK

**RESPOSTA DA RÚCULA (*Eruca sativa* Mill) À ADUBAÇÃO NITROGENADA
EM DIFERENTES DOSES: CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E
QUALIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso
Superior de Bacharelado em Engenharia
Agrônômica da Unidade Araguatins do
Instituto Federal do Tocantins, como
exigência à obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Agrônômica.

Orientadora: Prof.^a Dra. Roberta de Freitas
Souza Lobo.

ARAGUATINS

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

A658r Araújo, Breno Sousa
Resposta da rúcula (*Eruca sativa* Mill) à adubação nitrogenada em
diferentes doses: crescimento, produtividade e qualidade / Breno Sousa
Araújo, João Mário Quixabeira Soares Kaczmark. – Araguatins, TO,
2025.

46 p. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Agrônômica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins - IFTO, Araguatins, TO, 2025.

Orientadora: Dra. Roberta de Freitas Souza Lobo.

1. *Eruca sativa*. 2. Nitrogênio. 3. Horticultura protegida. I. Kaczmark,
João Mário Quixabeira Soares. II. Lobo, Roberta de Freitas Souza. III.
Título.

CDD 630

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).



Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Campus Araguatins
Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: RESPOSTA DA RÚCULA (*Eruca sativa* Mill) À ADUBAÇÃO NITROGENADA EM DIFERENTES DOSES: CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E QUALIDADE

**AUTORES: Breno Sousa Araújo
João Mário Quixabeira Soares Kaczmark**

ORIENTADORA: Profª. Drª. Roberta de Freitas Souza Lobo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *Campus Araguatins*, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica.

Aprovado em 06 de Junho de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Roberta de Freitas Souza Lobo, Servidora**, em 25/06/2025, às 17:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Decio Dias dos Reis, Servidor**, em 25/06/2025, às 17:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcio Rogerio Pereira Leite, Servidor**, em 25/06/2025, às 17:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.iftoc.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2823209** e o código CRC **32E3A751**.

“Tudo posso naquele que me fortalece.”

Filipenses 4:13

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecemos a Deus, nossa fonte de força e inspiração, por nos guiar durante todo este processo.

Aos nossos familiares, por acreditarem em nós e por todo amor e apoio.

E também gostaríamos de agradecer a Prof.^a Dra. Roberta de Freitas Souza Lobo por não medir esforços para nos guiarmos nessa trajetória.

RESUMO

A rúcula (*Eruca sativa* L.) é uma hortaliça amplamente cultivada no Brasil, cujo desempenho agrônômico é diretamente influenciado pelo manejo nutricional, especialmente pela adubação nitrogenada. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo geral avaliar a resposta da rúcula a diferentes doses de nitrogênio aplicadas em cobertura, analisando seu impacto sobre variáveis de crescimento, produtividade e qualidade fitotécnica. A pesquisa foi conduzida em ambiente protegido, no Instituto Federal do Tocantins – Campus Araguatins, utilizando o delineamento em blocos casualizados com seis doses de nitrogênio (0, 5, 10, 15, 20 e 25 g m⁻¹) e quatro repetições. Foram mensuradas altura de plantas, número de folhas, massa fresca e massa seca da parte aérea. Os dados foram submetidos à análise estatística com regressões ajustadas. Os resultados demonstraram que o aumento das doses de nitrogênio proporcionou incrementos significativos na massa fresca, massa seca e número de folhas, com destaque para a dose de 25 g m⁻¹, que apresentou os melhores desempenhos produtivos. A altura máxima das plantas foi observada na dose de 10 g m⁻¹, indicando um ponto de equilíbrio morfológico. Conclui-se que a adubação nitrogenada influencia positivamente o desempenho da rúcula, sendo necessário ajustar as doses conforme o objetivo produtivo e o padrão comercial desejado.

Palavras-chave: *Eruca sativa*; nitrogênio; horticultura protegida.

ABSTRACT

Arugula (*Eruca sativa* L.) is a leafy vegetable widely cultivated in Brazil, whose agronomic performance is directly influenced by nutritional management, especially nitrogen fertilization. In this context, the present study aimed to evaluate the response of arugula to different rates of nitrogen applied as top dressing, analyzing its impact on growth variables, productivity, and agronomic quality. The research was conducted in a protected environment at the Federal Institute of Tocantins - Araguatins Campus, using a randomized block design with six nitrogen rates (0, 5, 10, 15, 20, and 25 g m⁻¹) and four replications. Plant height, leaf number, fresh weight, and dry weight of the aerial part were measured. The data were subjected to statistical analysis with fitted regressions. The results showed that increasing nitrogen rates provided significant increases in fresh weight, dry weight, and leaf number, highlighting the rate of 25 g m⁻¹, which showed the best productive performances. The maximum plant height was observed at the rate of 10 g m⁻¹, indicating a point of morphological balance. It is concluded that nitrogen fertilization positively influences the performance of arugula, and it is necessary to adjust the rates according to the production goal and desired commercial standard.

Keywords: *Eruca sativa*; nitrogen; protected horticulture.

SUMARIO

1 INTRODUÇÃO.....	08
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	10
2.1 A cultura da rúcula.....	10
2.2 Adubação Nitrogenada em Hortaliças.....	13
2.3 Adubação Nitrogenada na Rúcula.....	16
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1 Localização da Área Experimental.....	19
3.2 Delineamento Experimental.....	21
3.3 Tratos Culturais.....	25
3.4 Coleta de Dados.....	29
3.5 Análise Estatística.....	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1 Massa Fresca da Parte Aérea.....	34
4.2 Massa Seca da Parte Aérea.....	35
4.3 Altura de Plantas.....	36
4.4 Número de Folhas.....	38
4.5 Discussão Integrada dos Resultados.....	39
5 CONCLUSÃO.....	43
REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

A rúcula (*Eruca sativa*) é uma hortaliça pertencente à família *Brassicaceae*, sendo cultivada principalmente para consumo *in natura* em saladas e pratos culinários diversos. Seu ciclo curto e rápido crescimento tornam essa cultura atrativa para pequenos e médios produtores, especialmente em sistemas de produção intensiva. No Brasil, a demanda por rúcula tem aumentado nos últimos anos, impulsionada pelo interesse dos consumidores por alimentos frescos e ricos em compostos bioativos. A cultura se adapta bem a diferentes condições climáticas, embora apresente melhor desenvolvimento em temperaturas amenas, entre 15°C e 20°C, com boa disponibilidade de água e manejo nutricional adequado (Stefanello *et al.*, 2023).

De acordo com Silva (2017) o nitrogênio é um dos principais nutrientes para o desenvolvimento das plantas e exerce influência direta na produtividade da rúcula. Esse elemento participa da síntese de proteínas, enzimas e da clorofila, impactando processos fisiológicos como fotossíntese, crescimento vegetativo e acúmulo de biomassa. Em culturas folhosas, a deficiência de nitrogênio pode reduzir significativamente a produção, enquanto o excesso pode resultar em acúmulo de nitratos, o que levanta preocupações do ponto de vista nutricional e ambiental. A adubação nitrogenada, portanto, deve ser aplicada em doses equilibradas para garantir produção satisfatória e qualidade comercial (Stefanello *et al.*, 2023).

Diferentes estratégias podem ser adotadas para otimizar o uso do nitrogênio no cultivo da rúcula. O parcelamento da adubação é uma das técnicas recomendadas para aumentar a eficiência de absorção do nutriente e reduzir perdas por lixiviação. Além disso, a definição de doses específicas para cada ambiente de produção pode contribuir para um manejo mais sustentável. Em sistemas de cultivo intensivo, onde a demanda nutricional da planta é elevada, a aplicação do nitrogênio em cobertura se mostra uma alternativa viável para suprir as exigências da cultura e melhorar seu desempenho agrônômico (Guimarães *et al.*, 2019).

A ausência de recomendações precisas para a adubação nitrogenada da rúcula justifica a realização de experimentos que avaliem doses e formas de aplicação desse nutriente. Pesquisas como a de Silva (2017) demonstram que a

cultura responde positivamente à adubação nitrogenada, porém doses excessivas podem comprometer a qualidade das folhas e aumentar os impactos ambientais. Dessa forma, torna-se necessário estabelecer parâmetros adequados para a fertilização, garantindo produção eficiente sem comprometer a sustentabilidade do sistema agrícola.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar diferentes doses de nitrogênio aplicadas em cobertura na cultura da rúcula e seu impacto sobre a produção da cultura. Para isso, foram conduzidos experimentos em blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições, onde foram analisadas variáveis como altura das plantas, número de folhas, massa fresca e massa seca da parte aérea. A pesquisa busca contribuir para o aprimoramento das recomendações de adubação nitrogenada, fornecendo informações que possam otimizar a produtividade e minimizar os impactos ambientais da fertilização.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A cultura da rúcula

A rúcula (*Eruca sativa*) pertence à família *Brassicaceae*, a mesma de hortaliças como couve, mostarda e repolho. Esse grupo botânico é caracterizado pela presença de compostos sulfurados, responsáveis pelo sabor picante da rúcula. O gênero *Eruca* compreende poucas espécies, sendo *Eruca sativa* a mais cultivada para consumo humano. Sua estrutura folhosa e ciclo curto a tornam uma das hortaliças mais produtivas em sistemas comerciais (Silva, 2017).

De acordo com Steiner *et al.*, (2022) a identificação botânica da rúcula é essencial para o entendimento de seu manejo agrícola. Como membro das *Brassicaceae*, compartilha características fisiológicas com outras espécies do grupo, influenciando suas necessidades nutricionais e fitossanitárias. A adaptação da rúcula a diferentes ambientes e solos reforça sua importância na produção de hortaliças. Além disso, seu reconhecimento taxonômico possibilita a seleção de cultivares mais produtivas e resistentes a fatores adversos.

O sistema radicular da rúcula é pivotante, apresentando uma raiz principal profunda e ramificações laterais superficiais. Essa estrutura favorece a absorção de água e nutrientes, mas a torna sensível a solos compactados e déficits hídricos. O crescimento das raízes é influenciado pela textura do solo, sendo essencial o manejo adequado da irrigação para garantir bom desenvolvimento (Brasil, 2009).

O caule da rúcula é curto e ereto, sustentando folhas lobadas de coloração verde intensa. As folhas possuem bordas recortadas e textura levemente rugosa, sendo a parte mais consumida da planta. As flores, dispostas em racemos terminais, apresentam coloração branco-amarelada e são polinizadas por insetos. O fruto é uma síliqua, que abriga sementes pequenas e escuras, utilizadas tanto para propagação quanto na produção de óleos essenciais (Souza *et al.*, 2010). Conforme destaca Steiner *et al.*, (2022, p.13):

A rúcula tem origem no sul da Europa e na região do Mediterrâneo, onde seu cultivo remonta à antiguidade. Civilizações como gregos e romanos a utilizavam tanto na alimentação quanto para fins medicinais. Com o tempo, a hortaliça foi disseminada para outras partes da Europa, consolidando-se em países como Itália, França e Espanha, onde seu consumo é tradicional.

Atualmente, a rúcula é cultivada globalmente, com destaque para os Estados Unidos, onde seu consumo tem crescido nos últimos anos. No Brasil, sua produção é expressiva nas regiões Sul e Sudeste, especialmente em São Paulo e Minas Gerais. A adaptação a diferentes condições de cultivo permitiu sua inserção no mercado nacional, onde a demanda tem aumentado devido à valorização da alimentação saudável (Silva *et al.*, 2017).

Liberada (2019) aponta que a rúcula se desenvolve melhor em temperaturas entre 15°C e 22°C, sendo que valores acima de 25°C podem acelerar o espigamento. O florescimento precoce reduz a qualidade comercial das folhas, tornando o manejo térmico essencial. Em regiões de clima quente, o plantio no outono e inverno é mais indicado para evitar estresses térmicos que comprometam a produtividade.

O fotoperíodo influencia diretamente o crescimento da rúcula, que se adapta melhor a dias intermediários de luminosidade. Além disso, a umidade relativa do ar deve ser controlada para evitar estresses fisiológicos. A cultura se desenvolve em solos férteis e bem drenados, preferencialmente com pH entre 6,0 e 6,8. O manejo adequado do solo e da irrigação é essencial para garantir um crescimento uniforme e evitar deficiências nutricionais (Souza *et al.*, 2018).

A demanda por rúcula tem crescido no Brasil, impulsionada pela busca por alimentos frescos e nutritivos. Seu ciclo curto permite sucessivas colheitas ao longo do ano, tornando-se uma cultura rentável para produtores. O consumo da hortaliça tem se expandido em mercados atacadistas e redes varejistas, aumentando sua importância na economia agrícola nacional (Peron, 2019).

Segundo Silva *et al.*, (2017) os principais estados produtores de rúcula são São Paulo, Minas Gerais e Paraná, onde a proximidade com grandes centros urbanos favorece a logística de distribuição. A modernização dos sistemas de cultivo tem garantido maior oferta da hortaliça ao longo do ano. O investimento em novas tecnologias de produção, como cultivo protegido e fertirrigação, tem ampliado a produtividade e a competitividade do setor.

O cultivo convencional de rúcula é o mais utilizado, empregando fertilizantes químicos e defensivos agrícolas para maximizar a produção. Esse sistema possibilita maior controle fitossanitário e altos rendimentos, mas requer planejamento adequado para evitar impactos ambientais. O manejo do solo e a

aplicação eficiente de insumos são essenciais para garantir colheitas de qualidade (Souza *et al.*, 2010).

Neste contexto, Souza *et al.*, (2018) destaca que o cultivo orgânico tem ganhado espaço devido à demanda por alimentos livres de agrotóxicos. Nesse sistema, a fertilização é realizada com adubos naturais, como esterco e compostagem, e o controle de pragas ocorre por manejo integrado. Já a hidroponia se destaca pela eficiência no uso de recursos, permitindo produção contínua sem solo. Esse sistema exige maior investimento inicial, mas proporciona alta produtividade e menor incidência de doenças. Para os referidos autores:

A rúcula é uma hortaliça rica em vitaminas A, C e K, além de minerais como potássio, ferro e cálcio. Seu consumo regular auxilia na manutenção da saúde óssea, fortalecimento do sistema imunológico e controle da pressão arterial. Os antioxidantes presentes na rúcula contribuem para a redução do estresse oxidativo, prevenindo doenças cardiovasculares e inflamatórias (Souza *et al.*, 2018, p.17).

Além dos nutrientes essenciais, a rúcula contém glucosinolatos, compostos bioativos com propriedades anticancerígenas. Estudos indicam que esses compostos auxiliam na desintoxicação do organismo e no metabolismo de enzimas protetoras. A alta concentração de fibras melhora o trânsito intestinal e promove saciedade, tornando a rúcula uma excelente opção para dietas equilibradas e saudáveis (Silva *et al.*, 2017).

A rúcula possui alta exigência nutricional, necessitando de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) para o crescimento adequado. O nitrogênio é o elemento mais demandado, pois influencia diretamente a formação de folhas e o metabolismo vegetal. O fósforo atua no desenvolvimento radicular, enquanto o potássio contribui para a regulação hídrica da planta e resistência a estresses ambientais (Silva *et al.*, 2017).

Assim, conforme entende Souza *et al.*, (2010) adubação nitrogenada tem impacto direto na altura das plantas, número de folhas e teor de proteínas. O fornecimento excessivo pode resultar no acúmulo de nitratos nas folhas, prejudicando a segurança alimentar. O manejo adequado da fertilização, aliado a práticas como a rotação de culturas e o uso de adubos orgânicos, melhora a absorção de nutrientes e otimiza a produção da rúcula.

2.2 Adubação Nitrogenada em Hortaliças

O nitrogênio é um dos principais macronutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas, sendo essencial para a síntese de proteínas, enzimas e ácidos nucleicos. Esse elemento é um componente estrutural dos aminoácidos, que por sua vez formam proteínas indispensáveis para a regulação dos processos metabólicos. Além disso, participa diretamente da formação da clorofila, pigmento responsável pela captação de energia luminosa na fotossíntese, garantindo a manutenção do crescimento vegetal (Carvalho et al., 2021).

A deficiência de nitrogênio compromete severamente o metabolismo das plantas, reduzindo a taxa de divisão celular e afetando o desenvolvimento vegetativo. Além disso, pode resultar na clorose foliar, caracterizada pelo amarelamento das folhas devido à menor síntese de clorofila. Em contrapartida, o excesso de nitrogênio pode gerar um crescimento vegetativo desproporcional, levando a desequilíbrios metabólicos e afetando a qualidade final das hortaliças. Por isso, o manejo adequado desse nutriente é essencial para garantir altos rendimentos agrícolas sem comprometer a fisiologia das plantas (Elevagro, 2020).

Segundo Benett et al., (2023) a disponibilidade de nitrogênio influencia diretamente o crescimento das plantas, pois regula a produção de proteínas e compostos enzimáticos essenciais. A alta demanda por esse nutriente se deve ao seu envolvimento na construção de tecidos vegetais, permitindo maior crescimento foliar e formação de biomassa. Além disso, está relacionado à eficiência na captação e assimilação de luz, otimizando os processos metabólicos da planta.

A fotossíntese é um dos processos mais afetados pela nutrição nitrogenada, pois a clorofila, dependente desse elemento, é a principal molécula envolvida na conversão de energia luminosa em compostos orgânicos. A redução da disponibilidade de nitrogênio compromete a fixação de carbono e reduz a atividade fotossintética, impactando diretamente a produtividade agrícola. Portanto, a correta adubação nitrogenada assegura maior eficiência no

metabolismo energético e no desempenho agronômico das culturas (Elevagro, 2020).

A escolha da forma nitrogenada a ser aplicada deve considerar fatores como a textura do solo, as condições climáticas e as exigências nutricionais da cultura. O uso inadequado pode resultar em perdas significativas do nutriente, impactando a eficiência da adubação e elevando os custos de produção (Croplife Brasil, 2021).

Para Carvalho et al., (2021) o ciclo do nitrogênio compreende diversos processos que determinam sua disponibilidade para as plantas. A mineralização é uma etapa essencial, na qual a matéria orgânica do solo é decomposta, liberando nitrogênio na forma amoniacal. Esse processo ocorre por meio da ação microbiana e depende das condições ambientais, sendo favorecido por solos com boa umidade e temperatura moderada.

Por outro lado, a lixiviação, volatilização e desnitrificação são responsáveis pelas principais perdas de nitrogênio no sistema agrícola. A lixiviação ocorre quando o nitrato é carregado para camadas profundas do solo, tornando-se indisponível para as raízes. A volatilização refere-se à conversão do amônio em amônia gasosa, enquanto a desnitrificação resulta na transformação do nitrato em gases como N_2O , que são liberados para a atmosfera. O manejo adequado da fertilização é essencial para minimizar essas perdas e garantir maior eficiência na adubação (Lopes et al., 2013).

O manejo correto da adubação nitrogenada é essencial para garantir altos rendimentos na produção de hortaliças. A aplicação do fertilizante pode ser realizada na base, antes do plantio, ou em cobertura, ao longo do ciclo da cultura. O parcelamento da adubação é uma estratégia eficaz para melhorar a absorção do nutriente e minimizar as perdas ambientais, sendo amplamente recomendado para culturas exigentes em nitrogênio (Benett et al., 2023).

Guimarães e Alvarez (1999) apontam que a escolha da fonte nitrogenada deve considerar as condições edafoclimáticas e as necessidades específicas da cultura. Fertilizantes como ureia, nitrato de amônio e sulfato de amônio apresentam diferentes taxas de liberação e disponibilidade para as plantas. O uso de tecnologias como inibidores de urease e fertirrigação tem demonstrado

eficiência na redução das perdas e otimização do aproveitamento do nitrogênio pelas hortaliças.

O manejo adequado da adubação nitrogenada é essencial para garantir a qualidade das hortaliças, pois influencia diretamente o teor de proteínas, a coloração das folhas e o crescimento vegetativo. A aplicação equilibrada do nitrogênio promove maior desenvolvimento das plantas, otimizando sua produtividade e aumentando a aceitação comercial dos produtos. No entanto, quando aplicado em excesso, esse nutriente pode induzir o acúmulo de nitratos nas folhas, o que pode representar um risco à saúde humana, especialmente em hortaliças folhosas consumidas cruas (Croplife Brasil, 2021).

Além dos impactos na qualidade dos alimentos, a adubação nitrogenada inadequada pode comprometer o meio ambiente. A lixiviação do nitrato para camadas mais profundas do solo contamina lençóis freáticos, tornando a água imprópria para consumo. A volatilização e a desnitrificação também são processos prejudiciais, pois resultam na liberação de gases de efeito estufa, como óxidos de nitrogênio (N_2O), que contribuem para as mudanças climáticas. Dessa forma, a adoção de estratégias como parcelamento da adubação e uso de inibidores de nitrificação é fundamental para reduzir impactos ambientais e garantir maior eficiência na fertilização (Carvalho et al., 2021).

As recomendações para a adubação nitrogenada em Minas Gerais são baseadas nas características dos solos e nas condições climáticas da região. Segundo a 5ª Aproximação para Uso de Corretivos e Fertilizantes, os teores de matéria orgânica e a textura do solo são fatores determinantes para definir as doses ideais de nitrogênio. Em solos arenosos, a lixiviação do nitrato é mais intensa, exigindo aplicações fracionadas para evitar perdas. Já em solos argilosos, a capacidade de retenção do nutriente é maior, permitindo manejos diferenciados (Guimarães; Alvarez, 1999).

A adoção de sistemas como fertirrigação tem se mostrado eficaz na otimização da adubação nitrogenada em Minas Gerais, especialmente em cultivos intensivos de hortaliças. Além disso, práticas conservacionistas, como o uso de matéria orgânica e a rotação de culturas, auxiliam na melhoria da eficiência do nitrogênio, reduzindo sua volatilização e lixiviação. A aplicação precisa do nutriente, considerando as exigências da cultura e o histórico da

fertilidade do solo, é essencial para garantir produtividade sustentável e minimizar os impactos ambientais da adubação Lopes et al., 2013).

2.3 Adubação Nitrogenada na Rúcula

A rúcula apresenta elevada demanda por nitrogênio ao longo de seu ciclo, especialmente nas fases iniciais de desenvolvimento. Durante a fase vegetativa, a absorção desse nutriente ocorre de forma intensa, influenciando diretamente a taxa de crescimento e a formação da biomassa foliar. O nitrogênio é essencial para a síntese de proteínas e enzimas, sendo determinante para a qualidade e produtividade da cultura (Guimarães et al., 2019).

O momento de maior absorção do nitrogênio ocorre entre a segunda e a quarta semana após a germinação, período no qual a planta apresenta maior taxa fotossintética. A oferta inadequada desse nutriente nesse estágio pode comprometer a expansão foliar e a eficiência na absorção de luz. Assim, o manejo adequado da adubação nitrogenada deve ser ajustado para garantir um fornecimento contínuo e adequado ao longo do ciclo (Silva et al., 2017).

Segundo Benett et al., (2023) a definição das doses de nitrogênio para a cultura da rúcula depende de fatores como a fertilidade do solo, a textura e as condições climáticas. Pesquisas indicam que doses entre 80 a 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio promovem ganhos significativos no número de folhas e na biomassa foliar. No entanto, doses superiores podem resultar em acúmulo excessivo de nitrato nas folhas, prejudicando a qualidade do produto final.

O efeito da adubação nitrogenada sobre a produtividade da rúcula é evidente, com incrementos na biomassa proporcionalmente ao aumento da disponibilidade do nutriente. Contudo, a resposta da cultura ao nitrogênio segue uma curva de eficiência decrescente, ou seja, após um determinado limite, aumentos na dose não resultam em ganhos expressivos. Por isso, o equilíbrio na aplicação do fertilizante é essencial para otimizar a produção sem gerar desperdícios (Guimarães; Alvarez, 1999).

O parcelamento da adubação nitrogenada tem se mostrado uma estratégia eficiente para melhorar a absorção do nutriente e minimizar perdas por lixiviação e volatilização. Em comparação com a aplicação única, o

fracionamento permite um fornecimento gradual do nitrogênio, garantindo maior disponibilidade durante os períodos de maior exigência da cultura. Esse manejo também contribui para a redução dos impactos ambientais associados à adubação excessiva (Stefanello et al., 2023).

Estudos demonstram que a divisão da adubação em duas ou três aplicações ao longo do ciclo da rúcula melhora o aproveitamento do nitrogênio e reduz o risco de contaminação dos recursos hídricos. O parcelamento também favorece a uniformidade do crescimento, evitando deficiências nutricionais em estágios críticos do desenvolvimento da planta. Dessa forma, essa estratégia se torna essencial para o aumento da produtividade e a sustentabilidade da produção agrícola (Silva et al., 2017).

A absorção e o aproveitamento do nitrogênio na rúcula estão diretamente relacionados à disponibilidade de outros nutrientes essenciais, como potássio e fósforo. O fósforo desempenha um papel importante no desenvolvimento radicular, auxiliando na absorção do nitrogênio e na translocação de compostos nitrogenados dentro da planta. O potássio, por sua vez, regula o balanço hídrico e a resistência a estresses, garantindo maior eficiência no uso do nitrogênio (Carvalho et al., 2021).

Para Steiner et al., (2022) micronutrientes como zinco e molibdênio também exercem influência sobre o metabolismo do nitrogênio, pois participam da ativação de enzimas envolvidas na fixação e assimilação desse nutriente. A deficiência desses elementos pode comprometer a eficiência da adubação nitrogenada, reduzindo o crescimento da planta e a formação de biomassa foliar. Assim, o manejo equilibrado da fertilização deve considerar a interação entre os nutrientes para garantir máxima produtividade (steiner et al., 2022).

O fornecimento adequado de nitrogênio impacta diretamente a qualidade da rúcula, influenciando atributos como coloração, textura e composição química das folhas. A aplicação equilibrada do nutriente favorece a intensificação da cor verde, aumentando o teor de clorofila e tornando o produto mais atrativo comercialmente. Além disso, melhora a textura das folhas, promovendo maior crocância e resistência ao manuseio pós-colheita (Silva et al., 2017).

O limite máximo de nitrato permitido em hortaliças folhosas varia de acordo com as regulamentações internacionais de segurança alimentar. Em

geral, os níveis aceitáveis giram em torno de 2.000 a 4.500 mg kg⁻¹ de matéria fresca, dependendo da espécie e das condições de cultivo. A adoção de manejos como a colheita no período da tarde e a irrigação adequada pode ajudar a reduzir a concentração desse composto nas folhas (Guimarães et al., 2019).

A segurança alimentar da rúcula está diretamente relacionada ao manejo da adubação nitrogenada. O uso excessivo de fertilizantes pode resultar em concentrações acima dos limites permitidos, tornando o produto inadequado para o consumo. Dessa forma, estratégias como o parcelamento da adubação e a escolha de fontes nitrogenadas mais eficientes são essenciais para garantir hortaliças seguras e de alta qualidade (Benett et al., 2023).

A sustentabilidade na adubação nitrogenada passa pela adoção de práticas que reduzam perdas e aumentem a eficiência no uso do nutriente. O uso de fertilizantes de liberação controlada e a rotação de culturas são estratégias eficazes para minimizar impactos ambientais e melhorar a fertilidade do solo. Além disso, o emprego de técnicas de agricultura de precisão permite o ajuste da dose de nitrogênio conforme as necessidades específicas da cultura (Carvalho et al., 2021).

A fertirrigação tem se mostrado uma alternativa eficiente para otimizar a aplicação de nitrogênio na rúcula, garantindo maior absorção e menor desperdício. Além disso, o uso de biofertilizantes e compostos orgânicos pode contribuir para a redução da dependência de fertilizantes sintéticos. Essas abordagens fortalecem a sustentabilidade da produção agrícola e garantem maior longevidade dos sistemas produtivos (Stefanello et al., 2023).

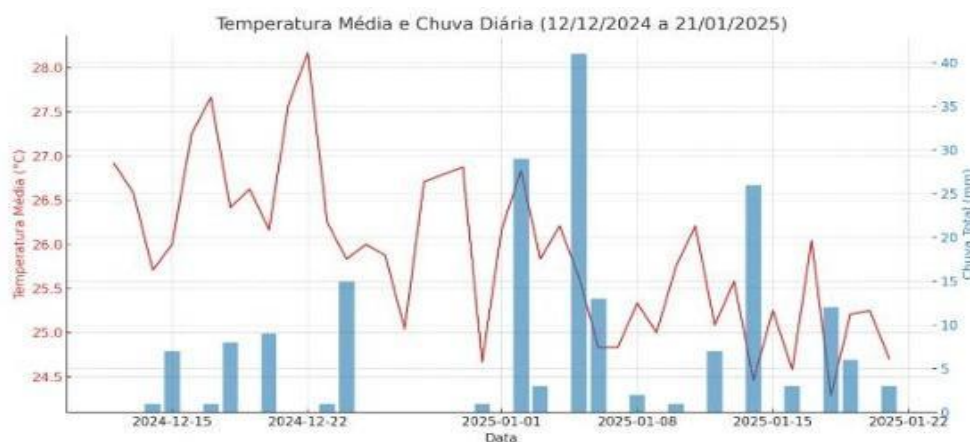
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da Área Experimental

O experimento foi conduzido no setor de Olericultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Araguatins, situado no povoado Santa Tereza, km 5, Zona Rural de Araguatins – TO. A área experimental encontra-se nas coordenadas 05°39'00" de latitude sul e 48°04'25" de longitude oeste, a uma altitude de 103 metros. Trata-se de uma zona de transição entre Cerrado e Floresta Amazônica.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, caracterizado por estação chuvosa no verão e seca no inverno. A temperatura média anual gira em torno de 27 °C, com precipitação média próxima de 1.500 mm (INMET, 2022). Durante o período experimental, compreendido entre dezembro de 2024 e janeiro de 2025, o comportamento climático foi monitorado com base em dados obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia. O clima durante o experimento foi caracterizado por temperaturas médias entre 24 °C e 27 °C e picos de precipitação nos dias 2, 5 e 14 de janeiro de 2025. Essas informações estão apresentadas na Figura 1.

Figura 1. Gráfico climático com precipitação acumulada (mm) e temperatura média diária (°C) entre 12/12/2024 e 21/01/2025 em Araguatins – TO.



Fonte: INMET (2025).

Essas informações são relevantes para o entendimento do desempenho fisiológico das plantas de rúcula, especialmente devido à sua sensibilidade à variações hídricas e térmicas. A proteção proporcionada pela casa de vegetação foi essencial para minimizar interferências externas como chuvas intensas ou períodos curtos de déficit hídrico, criando um microclima mais estável para o desenvolvimento da cultura. A estrutura física da casa de vegetação é coberta com agrofílm transparente e fechada lateralmente por sombrite de 50%, o que garante ventilação controlada e radiação difusa.

Figura 2. Vista geral da estufa após o preparo dos canteiros para a instalação do experimento.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2024).

O solo utilizado foi previamente revolvido com enxada, nivelado manualmente e submetido à coleta para análise físico-química, realizada a uma profundidade de 0 a 20 cm. A análise permitiu o ajuste prévio da acidez e a definição da adubação de base, conforme as recomendações da Embrapa (2009) para hortaliças folhosas cultivadas em ambiente protegido.

A análise do solo revelou pH levemente alcalino, alta saturação por bases e teores adequados de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, o que dispensou a necessidade de calagem e justificou a adubação de base com foco na

suplementação nitrogenada. Os dados da caracterização físico-química da camada de 0 a 20 cm estão apresentados na Tabela 3¹.

Tabela 3. Resultado da análise química e física do solo coletado na profundidade de 0 a 20 cm

Amostra	pH (H ₂ O)	P (mg/dm ³)	K (mg/dm ³)	Ca ²⁺ (cmolc/dm ³)	Mg ²⁺ (cmolc/dm ³)	Al ³⁺ (cmolc/dm ³)	H+Al (cmolc/dm ³)	S (cmolc/dm ³)	T (cmolc/dm ³)	V% (%)	MO (%)
82	7,7	145,20	280,5	22,5	10,5	0,00	0,00	35,16	35,16	100	2,95

Amostra	Areia (%)	Argila (%)	Silte (%)
82	37,44	42,78	19,78

Fonte: IFTO – Instituto Federal do Tocantins, 2024.

A caracterização do solo foi fundamental para a adequação das condições edáficas ao cultivo da rúcula, garantindo uniformidade nutricional entre as parcelas. A escolha da rúcula da variedade folha larga (*Eruca sativa* L. cv. Apresiasi) considerou sua adaptabilidade às condições climáticas locais e seu potencial de resposta à adubação nitrogenada em ambientes protegidos.

Além das vantagens estruturais oferecidas pela casa de vegetação, o manejo cuidadoso do solo e a homogeneidade na preparação dos canteiros contribuíram para reduzir a variabilidade experimental, assegurando maior confiabilidade estatística aos dados obtidos ao longo do ensaio.

3.2 Delineamento Experimental

O experimento foi instalado em ambiente protegido, sob casa de vegetação coberta com agrofílm transparente e fechamento lateral em tela de sombreamento de 50%. O objetivo foi avaliar o efeito de diferentes doses de nitrogênio aplicadas em cobertura no desenvolvimento da rúcula (*Eruca sativa* L. cv. Apresiasi – folha larga). Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados (DBC), com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando vinte e quatro parcelas.

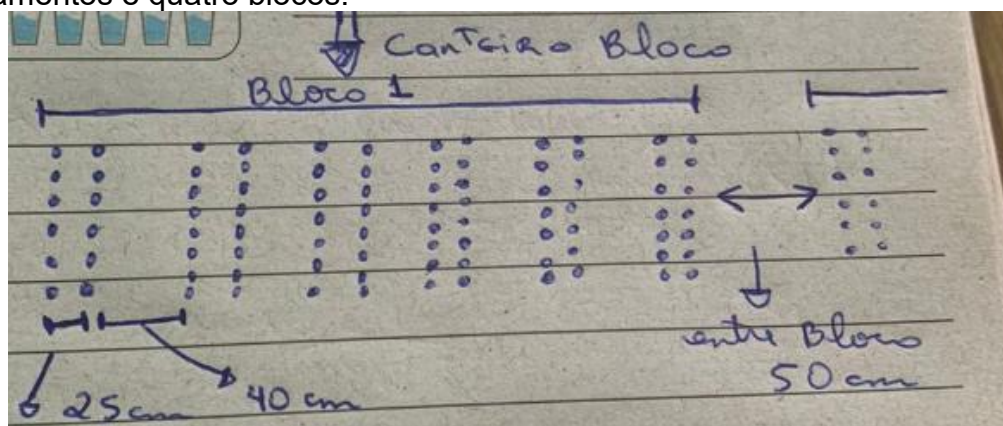
¹ A íntegra do laudo emitido pelo Laboratório de Solos do IFTO encontra-se disponível no Anexo 1.

Os tratamentos corresponderam às seguintes doses de nitrogênio, aplicadas na forma de ureia (45% de N):

- T1 – 0 (testemunha – sem aplicação de fertilizante)
- T2 – 11,11g de ureia (5 g de N) por metro linear
- T3 – 22,22g de ureia (10 g de N) por metro linear
- T4 – 33,33g de ureia (15 g de N) por metro linear
- T5 – 44,44g de ureia (20 g de N) por metro linear
- T6 – 55,55g de ureia (25 g de N) por metro linear

As quantidades de ureia foram calculadas proporcionalmente à concentração do fertilizante, pesadas individualmente para cada parcela e aplicadas manualmente entre linhas. Cada parcela foi composta por duas fileiras de plantas (Figura 3).

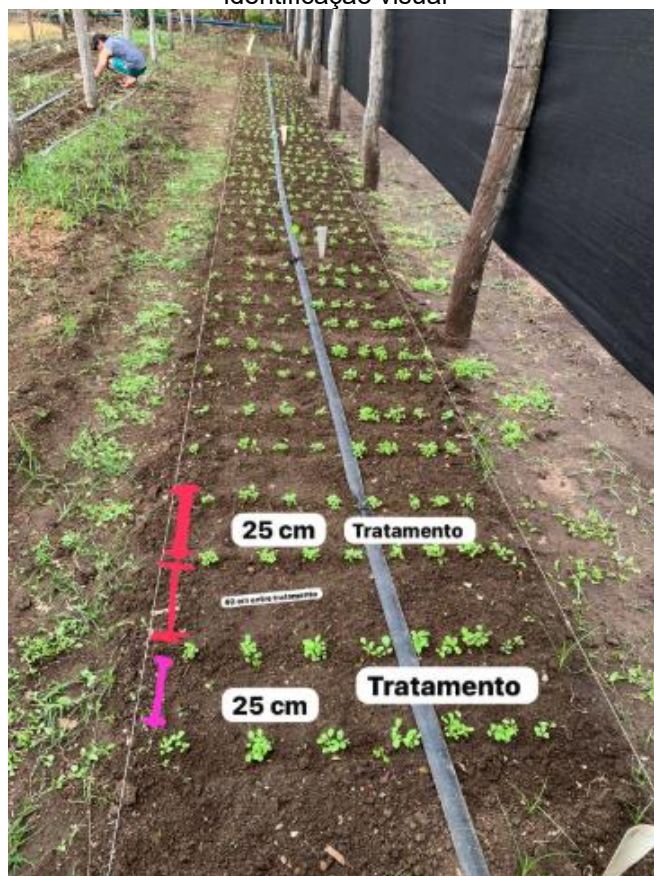
Figura 3. Esboço do delineamento em blocos casualizados, com seis tratamentos e quatro blocos.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2024).

As fileiras de plantas foram usadas um espaçamento de 25 cm entre si e 10 cm entre covas na linha. Entre os tratamentos, manteve-se distância de 40 cm para evitar interferência entre as parcelas. A separação entre os blocos foi de 50 cm. Os canteiros foram construídos diretamente sobre o solo revolvido, e as sementes foram distribuídas manualmente ao longo das linhas de plantio, conforme a ilustração da Figura 4.

Figura 4. Organização dos tratamentos na estufa experimental, com espaçamento e identificação visual



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2024).

O plantio foi realizado no dia 12 de dezembro de 2024, com emergência registrada três dias após a semeadura, no dia 15 de dezembro. A semeadura foi direta no solo, com profundidade de 2 a 4 cm, utilizando sementes comerciais da variedade *Apresiasi* – folha larga, recomendada para cultivo protegido. A distribuição foi feita com aproximadamente 5 a 7 sementes por cova, respeitando o número médio indicado pelo fornecedor.

Cada parcela experimental possuía dimensões padronizadas e foi organizada com duas fileiras paralelas de plantas. Para reduzir efeitos de bordadura e garantir maior representatividade dos dados, foram analisadas apenas as plantas do centro das parcelas (10 plantas), excluindo-se as extremidades. A Figura 5 apresenta a disposição física das linhas no momento do plantio.

Figura 5. Preparação das linhas de plantio com espaçamento de 25 cm entre fileiras por parcela.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2024).

A primeira adubação em cobertura foi realizada no dia 24 de dezembro de 2024, doze dias após a semeadura, seguindo as recomendações técnicas da Embrapa (2009) para hortaliças folhosas. As aplicações foram parceladas, distribuindo-se a ureia ao lado das fileiras, com posterior irrigação. A segunda adubação ocorreu no dia 1º de janeiro de 2025 e a terceira, de reforço, foi aplicada no início da segunda quinzena de janeiro, conforme as condições de crescimento das plantas.

Para garantir uniformidade no efeito das doses, cada aplicação foi previamente pesada para cada parcela, mantendo a constância entre blocos. A separação física entre as parcelas e blocos (40 cm e 50 cm, respectivamente) contribuiu para evitar a sobreposição de tratamentos, o que assegurou a fidelidade do delineamento. As imagens capturadas ao longo das etapas ilustram de forma clara o processo de implantação, manutenção e adubação.

A seguir, apresenta-se a descrição dos tratos culturais adotados ao longo do ciclo da cultura, incluindo irrigação, capinas, desbaste e demais manejos necessários ao bom desenvolvimento da rúcula.

3.3 Tratos Culturais

Os tratos culturais foram conduzidos com o objetivo de garantir o pleno desenvolvimento das plantas de rúcula, respeitando as particularidades fisiológicas da espécie e as exigências da condução experimental. Após a semeadura direta em 12 de dezembro de 2024, as sementes germinaram com rapidez, apresentando emergência uniforme no dia 15 de dezembro. As plântulas foram cuidadosamente monitoradas desde a fase inicial, como mostra a Figura 6:

Figura 6. Emergência das plantas de rúcula no dia 15/12/2024, três dias após o plantio



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2024).

A irrigação foi realizada por meio de sistema de fita perfurada instalado ao longo das fileiras. O manejo da água foi ajustado de acordo com as condições climáticas do dia, sendo suspensa a irrigação nos momentos de ocorrência de chuvas, evitando o encharcamento do solo e a lixiviação dos nutrientes aplicados. A manutenção da umidade foi feita diariamente, sobretudo nos

períodos de maior insolação, garantindo estabilidade hídrica para o crescimento foliar.

A primeira adubação nitrogenada em cobertura foi realizada no dia 24 de dezembro de 2024, doze dias após a semeadura. As doses de ureia, previamente pesadas para cada parcela com base na concentração de 45% de nitrogênio, foram aplicadas manualmente nas entrelinhas, evitando o contato direto com as plantas. A Figura 7 ilustra a etapa de adubação realizada na estufa experimental:

Figura 7. Primeira adubação nitrogenada em cobertura, realizada em 24/12/2024



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2024).

No dia 1º de janeiro de 2025, foi realizada a segunda adubação nitrogenada (figura 8), utilizando o mesmo procedimento de aplicação manual, respeitando as dosagens de cada tratamento. Esse manejo visou fornecer aporte contínuo de nitrogênio durante o período de maior demanda metabólica das plantas, promovendo vigor vegetativo e maior expansão foliar.

Figura 8. Segunda aplicação



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2024).

A terceira adubação em cobertura foi realizada na segunda semana de janeiro de 2025, observando-se o estágio de crescimento das plantas e o aspecto visual de vigor em cada parcela. Assim como nas aplicações anteriores, a ureia foi distribuída de forma manual entre as fileiras e incorporada com leve irrigação em seguida. O objetivo dessa adubação complementar foi manter a disponibilidade de nitrogênio durante a fase final do ciclo, com foco no acúmulo de biomassa e incremento de produtividade.

Figura 9. Terceira adubação em cobertura, realizada na segunda quinzena de janeiro de 2025



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2025).

O desbaste foi realizado logo após a emergência, ainda no estágio inicial de duas folhas definitivas, com o objetivo de eliminar o excesso de plântulas por cova e padronizar o estande. As plantas menores ou menos vigorosas foram removidas manualmente, respeitando o espaçamento de 10 cm entre plantas. Esse procedimento reduziu a competição intraespecífica por luz, nutrientes e água, contribuindo para uniformidade do desenvolvimento entre os tratamentos.

A capina manual foi realizada sempre que observada a presença de plantas daninhas, sendo efetuada com enxadas pequenas nos corredores de forma cuidadosa para não comprometer o sistema radicular das rúculas. Esse manejo foi essencial para evitar a interferência das invasoras na absorção de nutrientes e na dinâmica hídrica do solo.

Além disso, todos os canteiros foram monitorados diariamente quanto à sanidade, sendo identificadas poucas ocorrências de pragas ou doenças, o que dispensou o uso de defensivos. A condução técnica cuidadosa durante os tratos culturais permitiu que as plantas atingissem o ponto de colheita com elevado padrão comercial, viabilizando a coleta dos dados experimentais de forma precisa e confiável.

3.4 Coleta de Dados

A colheita das plantas foi realizada no dia 16 de janeiro de 2025, 35 dias após a semeadura. Nessa etapa, foram coletadas 10 plantas por parcela, totalizando 240 amostras. Para assegurar a representatividade dos dados, retiraram-se cinco plantas de cada fileira central, de forma aleatória, evitando as extremidades das parcelas e garantindo maior uniformidade nas análises.

As variáveis analisadas foram: altura de plantas (AP), número de folhas (NF), massa fresca (MF) e massa seca (MS). A altura foi mensurada utilizando régua milimetrada, do colo da planta até a extremidade da folha mais alta, com precisão de 0,1 cm. A medição foi realizada individualmente em todas as plantas amostradas, conforme figura 10:

Figura 10. Medição da altura das plantas com régua milimetrada.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2025).

Em seguida, realizou-se a contagem manual do número total de folhas por planta, considerando como válidas apenas as folhas plenamente desenvolvidas, descartando estruturas em formação ou folhas danificadas. A coleta foi feita

imediatamente após a colheita, com acondicionamento das plantas em caixas plásticas higienizadas, para evitar perda de umidade antes das pesagens.

A massa fresca foi determinada com auxílio de balança semi-analítica devidamente calibrada, com capacidade de 5 kg e precisão de 0,01 g. As pesagens foram feitas logo após a colheita, antes de qualquer lavagem ou processamento, para preservar a umidade natural das amostras.

Figura 11. Determinação da massa fresca total de cada planta com balança semi-analítica



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2025).

Após a pesagem da massa fresca, as mesmas plantas foram levadas para o processo de obtenção da massa seca. As amostras foram inicialmente acondicionadas em sacos de papel, devidamente identificados por parcela e repetição, e conduzidas à estufa de circulação de ar forçado, localizada no laboratório Bromatológico do IFTO – Campus Araguatins.

As folhas foram dispostas em bandejas perfuradas, garantindo espaçamento suficiente entre as amostras para evitar sobreposição e favorecer a circulação do ar quente. A secagem ocorreu a uma temperatura constante de 65 °C por um período de 48 horas, conforme prática recomendada para hortaliças folhosas (EMBRAPA, 2009). Ao final do processo, as amostras foram

retiradas e pesadas novamente com a mesma balança semi-analítica utilizada anteriormente.

Figura 12. Amostras acondicionadas na estufa a 65 °C para determinação da massa seca



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2025).

O procedimento descrito permitiu a avaliação da matéria seca acumulada, importante indicador das eficiências da planta e da capacidade de conversão de nutrientes em biomassa estrutural. Todos os dados obtidos foram registrados em planilha eletrônica, onde foram calculadas as médias por parcela e variável.

As informações produzidas nessa etapa serviram como base para as análises estatísticas descritas no item seguinte, possibilitando a construção dos modelos de regressão, os testes de variância e a interpretação técnica do comportamento da rúcula em função das doses de nitrogênio aplicadas.

3.5 Análise Estatística

Os dados obtidos para as quatro variáveis analisadas – massa fresca (MF), massa seca (MS), altura de plantas (AP) e número de folhas (NF) – foram organizados por dose de nitrogênio e por bloco, conforme o delineamento em blocos casualizados (DBC) adotado. Cada parcela foi composta por duas fileiras, com cinco plantas coletadas aleatoriamente por fileira, totalizando 10 plantas por

parcela. Os valores obtidos foram lançados em planilhas eletrônicas para posterior processamento.

A análise estatística foi conduzida por meio de regressões polinomiais e lineares ajustadas às médias por tratamento. Os ajustes foram realizados utilizando o Microsoft Excel®, com base no modelo de menor erro e maior coeficiente de determinação (R^2), sempre respeitando a plausibilidade biológica. A Tabela 4, exibe os valores individuais registrados em cada parcela, conforme bloco e dose aplicada:

Tabela 4. Dados brutos por tratamento (doses de N) e bloco, com valores individuais de massa fresca (MF), massa seca (MS), altura de plantas (AP) e número de folhas (NF) de rúcula

Dose (g/m)	Bloco	MF (g)	MS (g)	AP (cm)	NF
0	1	13,401	0,878	25,55	7,1
0	2	13,715	1,005	25,35	7,6
0	3	4,825	0,344	17,7	5,5
0	4	3,663	0,266	16,5	4,7
5	1	17,822	1,135	26,25	7,2
5	2	21,5	1,457	30,9	7,6
5	3	16,898	1,158	26,35	7,4
5	4	11,82	0,783	26,3	6,8
10	1	25,2	1,828	28,65	7,3
10	2	20,188	1,349	32,42	7,1
10	3	11,964	0,83	24,8	6,4
10	4	11,984	0,867	25,1	6,8
15	1	15,912	1,063	25,2	7,2
15	2	22,21	1,561	30,25	8,4
15	3	21,791	1,704	27,95	8,7
15	4	10,542	0,785	22,35	6,5
20	1	18,591	1,298	25,8	7,3
20	2	20,313	1,27	26,35	6,7
20	3	18,872	1,471	26,42	7,5
20	4	13,393	1,053	23,5	6,2
25	1	25,5	1,825	27,25	8,4
25	2	25,284	1,7	26,9	7,8
25	3	20,1	1,6	26,3	8,6
25	4	15,524	0,85	22,6	6,4

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2025).

A apresentação dos dados brutos por dose e por bloco permite visualizar a dispersão e consistência das repetições, assegurando que as médias utilizadas nas análises não tenham sido comprometidas por variações extremas.

Esse controle interno reforça a validade do delineamento experimental adotado e contribui para a robustez dos modelos de regressão utilizados.

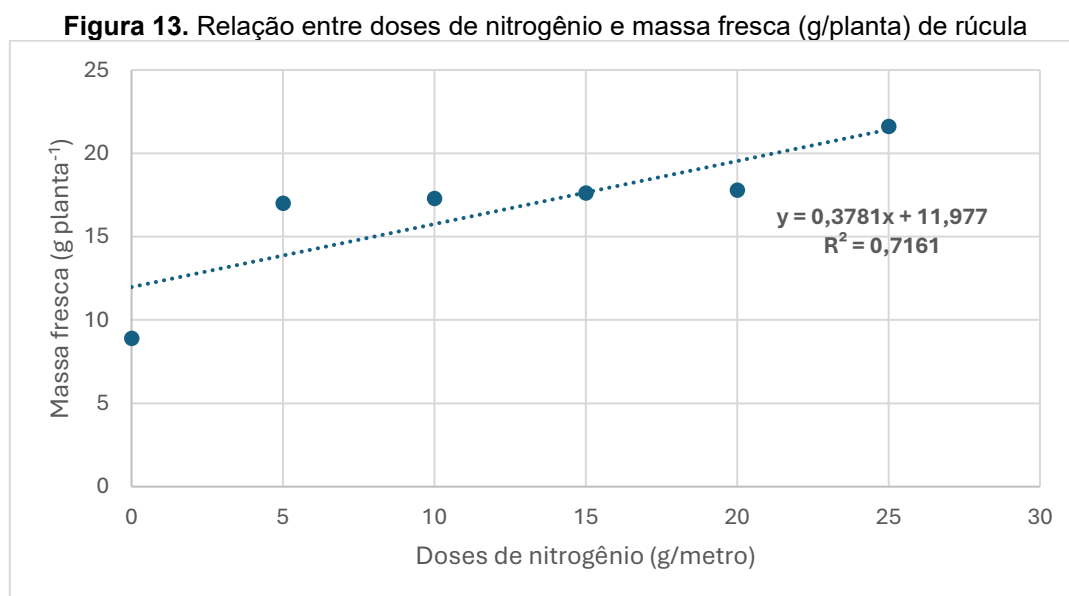
A distribuição dos valores evidencia a uniformidade das condições experimentais, especialmente quanto à irrigação, adubação e ambiente protegido. A variação entre blocos foi esperada e minimizada pelo uso do DBC, que garante maior controle sobre possíveis interferências externas, como gradientes de luminosidade ou umidade no ambiente da estufa. Esses dados serviram como base para todos os gráficos de tendência apresentados no tópico subsequente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Massa Fresca da Parte Aérea

A produção de massa fresca foi diretamente influenciada pelas doses crescentes de nitrogênio aplicadas via cobertura, demonstrando resposta positiva da cultura. A menor média foi observada na testemunha (0 g m^{-1}), com 8,901 g por planta, enquanto a dose de 25 g m^{-1} proporcionou o maior valor, com 21,602 g. Essa diferença representa incremento de mais de 140% em relação ao controle, evidenciando a relevância da adubação nitrogenada para o acúmulo de biomassa verde em rúcula.

Figura 13 apresenta o gráfico de regressão linear ajustado para a variável massa fresca, indicando a equação $y=0,3781x+11,977$ com coeficiente de determinação $R^2=0,7161$, o que representa uma boa adequação dos dados ao modelo. A linha de tendência crescente confirma o comportamento observado nas médias. Resultados semelhantes foram obtidos por Santos et al., (2021), que também relataram resposta positiva ao N na cultura da rúcula em sistema de blocos casualizados.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2025).

A resposta linear observada corrobora com os estudos de Aquino et al. (2020), os quais evidenciaram que a aplicação de nitrogênio promove aumento

significativo da área foliar e da massa verde. Segundo Oliveira et al., (2019), o nitrogênio é essencial na síntese de proteínas e no crescimento vegetativo, o que explica sua influência direta no desenvolvimento da parte aérea. No presente experimento, a aplicação de 25 g m^{-1} ainda não evidenciou efeito de saturação, sugerindo que doses superiores poderiam ser avaliadas em estudos futuros.

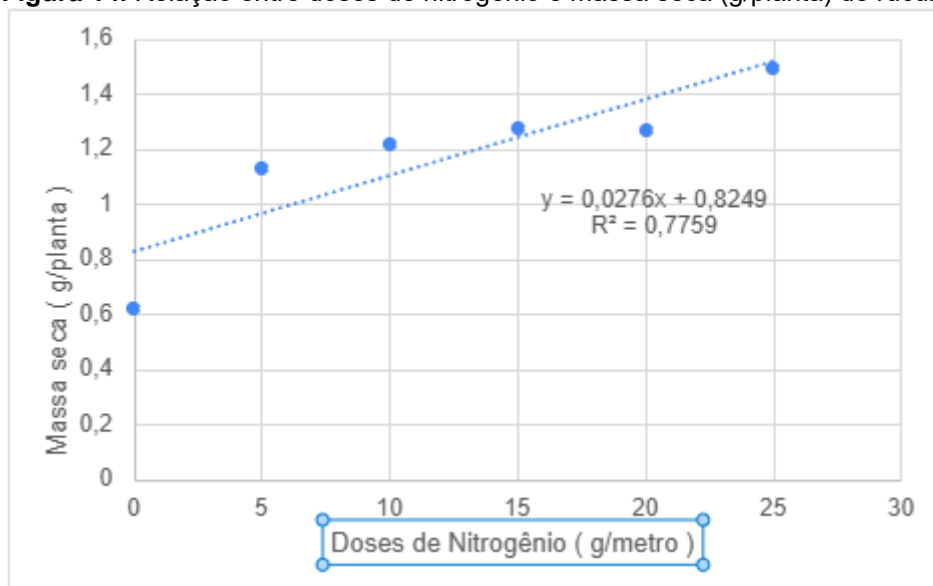
Apesar da variabilidade entre blocos, o comportamento geral dos tratamentos manteve coerência estatística, conforme análise realizada por meio de regressão no Excel, com base nos valores médios por dose. A adequação dos dados ao modelo linear também foi confirmada visualmente na dispersão dos pontos, evidenciando homogeneidade dos resultados. A seguir, será apresentada a análise da massa seca, variável correlacionada à produtividade total da cultura.

4.2 Massa Seca da Parte Aérea

A massa seca da parte aérea apresentou incremento proporcional às doses crescentes de nitrogênio aplicadas, com variações que evidenciam a eficiência fisiológica da planta na conversão de biomassa fresca em estrutura seca. A testemunha (0 g m^{-1}) apresentou valor médio de $0,623 \text{ g/planta}$, enquanto a dose de 25 g m^{-1} proporcionou o maior valor, atingindo $1,493 \text{ g/planta}$. Esse comportamento indica que o nitrogênio contribuiu não apenas para o crescimento, mas também para o acúmulo de matéria estrutural.

A Figura 14 apresenta o modelo de regressão linear ajustado para a variável massa seca, cuja equação foi $y=0,0276x+0,8249$, com coeficiente de determinação $R^2=0,7759$. Isso representa alta correlação entre as doses de nitrogênio e o acúmulo de massa seca, confirmando que os dados se ajustam satisfatoriamente ao modelo proposto. A resposta linear também sugere que as doses testadas ainda estão dentro da faixa de eficiência agrônômica, sem alcançar o ponto de saturação.

Figura 14. Relação entre doses de nitrogênio e massa seca (g/planta) de rúcula



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2025).

Estudos semelhantes como o de Trani et al., (2017) mostram que o aumento na massa seca está relacionado ao maior índice de área foliar e à intensificação da atividade fotossintética, ambos estimulados pela disponibilidade de nitrogênio. A aplicação correta desse nutriente promove maior formação de tecidos permanentes, o que contribui para o rendimento total da cultura e a qualidade do produto comercializado. No presente estudo, o comportamento crescente da curva indica que o limite fisiológico ainda não foi atingido.

A análise estatística reforça esse resultado, uma vez que não foram observadas quebras na tendência linear nem dispersão atípica entre blocos. Isso demonstra que a resposta foi consistente ao longo dos tratamentos, validando o delineamento experimental adotado.

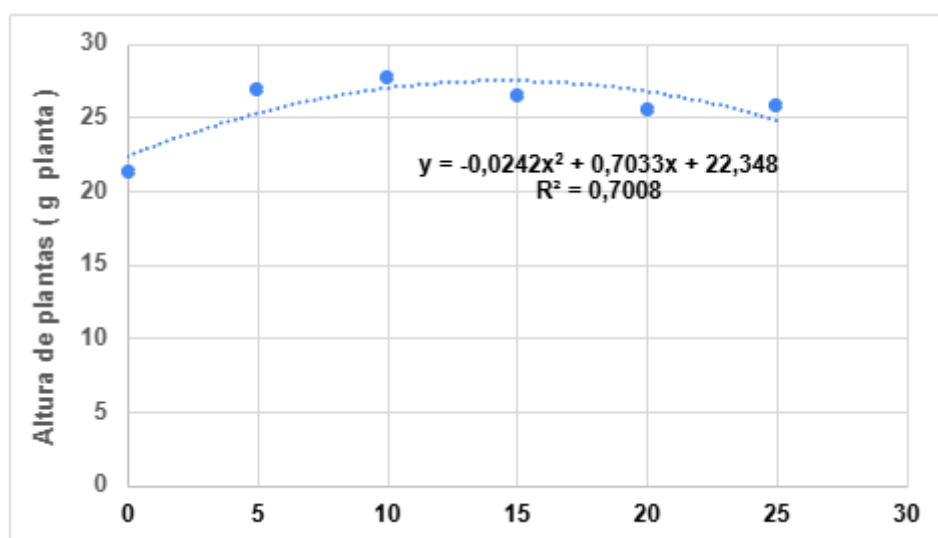
4.3 Altura de Plantas

A altura das plantas de rúcula variou de forma significativa em resposta às diferentes doses de nitrogênio aplicadas em cobertura. O valor mais baixo foi registrado na testemunha (0 g m^{-1}), com média de 21,275 cm, enquanto a maior altura foi observada na dose de 10 g m^{-1} , com média de 27,74 cm. Após esse

ponto, houve leve redução nos valores médios, indicando possível tendência à estabilização ou regressão fisiológica do crescimento vertical diante do excesso de nitrogênio.

A Figura 15 ilustra a curva de regressão polinomial de segundo grau ajustada aos dados médios, com a equação $y = -0,0242x^2 + 0,7033x + 22,348$ e coeficiente de determinação $R^2 = 0,7008$. A forma parabólica da curva sugere que doses moderadas de nitrogênio promovem maior alongação da parte aérea, mas que a partir de um ponto ótimo fisiológico (entre 10 e 15 g m⁻¹), o crescimento é limitado, possivelmente por competição interna por assimilados ou desbalanceamento nutricional.

Figura 15. Altura média das plantas de rúcula em função das doses de nitrogênio aplicadas em cobertura



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2025).

Esse comportamento é corroborado por Filgueira (2008), que descreve o crescimento da parte aérea de hortaliças folhosas como altamente sensível à nutrição nitrogenada, porém limitado por fatores morfofisiológicos. Trani et al., (2017) também observaram esse padrão em cultivares de alface submetidas a crescentes níveis de N, com crescimento vegetativo até certo limite, seguido por respostas decrescentes ou estáveis em doses mais elevadas.

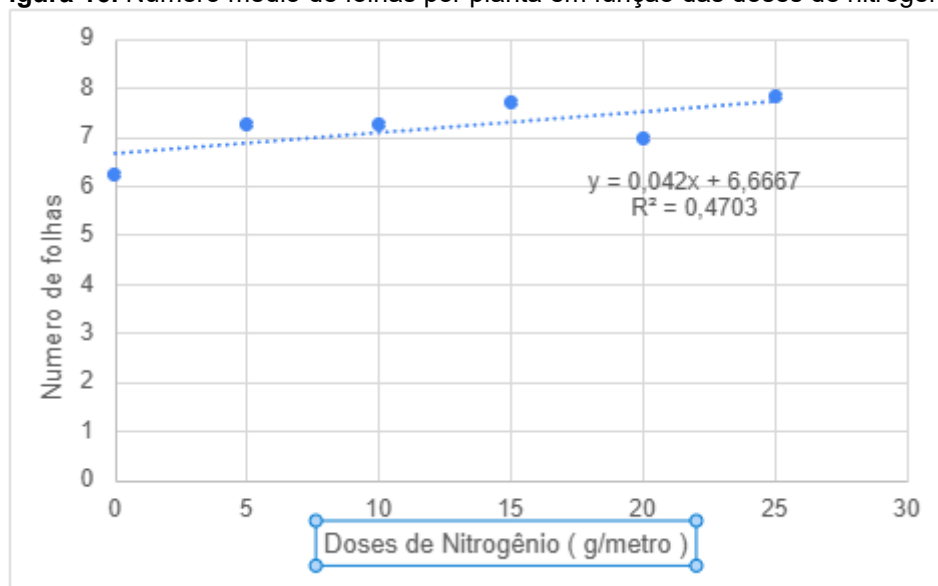
A oscilação leve entre as maiores doses (20 e 25 g m⁻¹) indica que o nitrogênio pode ter atingido um ponto de equilíbrio fisiológico para o crescimento

em altura. Apesar disso, o comportamento da curva e o valor de R^2 demonstram que a altura ainda foi bem explicada pelas doses aplicadas. Esse resultado reforça que a dose ótima para altura situa-se na faixa intermediária, sendo esse dado relevante para sistemas de cultivo que priorizem padrão visual e tamanho comercial uniforme.

4.4 Número de Folhas

O número de folhas por planta apresentou resposta crescente às doses aplicadas de nitrogênio, embora com menor magnitude e correlação estatística em comparação às demais variáveis analisadas. A testemunha (0 g m^{-1}) resultou na menor média, com 8,2 folhas por planta, enquanto a maior média foi observada na dose de 25 g m^{-1} , atingindo 11,35 folhas. Apesar do crescimento contínuo, a variação total foi inferior a 3 folhas, sugerindo que esse parâmetro apresenta menor sensibilidade à adubação nitrogenada sob condições de ambiente protegido.

A Figura 16 apresenta a regressão linear ajustada aos dados, cuja equação é $y=0,1255x+9,2458$, com coeficiente de determinação $R^2=0,4703$. Essa relação indica uma tendência positiva entre as doses de nitrogênio e o número de folhas emitidas, embora com explicação estatística moderada. Isso revela que outros fatores podem ter exercido influência na emissão foliar, como intensidade luminosa, densidade de semeadura e fatores genéticos da cultivar utilizada.

Figura 16. Número médio de folhas por planta em função das doses de nitrogênio

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2025).

De acordo com Peixoto et al., (2014), a emissão foliar em rúcula é influenciada principalmente pela fase fenológica e pelo suprimento equilibrado de nutrientes. Assim, a resposta observada pode estar relacionada mais à estabilidade fisiológica do ciclo curto da cultura do que à concentração crescente de nitrogênio. Mesmo com resposta positiva, os dados indicam que, a partir de certo ponto, a adição de N favorece mais o desenvolvimento de folhas existentes do que a indução de novas estruturas.

O comportamento linear identificado, embora menos intenso, ainda permite associar a adubação nitrogenada ao aumento da biomassa total, especialmente quando somado aos resultados de massa fresca e massa seca. Considerando-se o aspecto comercial da rúcula, que valoriza a densidade e o vigor foliar, o número de folhas continua sendo um parâmetro relevante. A seguir, serão reunidos os principais achados deste estudo para uma análise integrada dos efeitos do nitrogênio nas variáveis morfofisiológicas analisadas.

4.5 Discussão Integrada dos Resultados

Os resultados obtidos nas variáveis morfológicas de rúcula revelam resposta consistente ao fornecimento de nitrogênio, com destaque para o comportamento crescente da massa fresca, massa seca, altura e número de

folhas. A aplicação crescente do nutriente influenciou diretamente a capacidade de crescimento e desenvolvimento da parte aérea da planta. A adubação nitrogenada apresentou relação positiva e estatisticamente significativa em todas as variáveis, ainda que com intensidades distintas. O modelo de regressão revelou melhor ajuste para massa fresca e massa seca, confirmando que essas variáveis são mais sensíveis ao fornecimento de N.

A massa fresca apresentou comportamento linear, com coeficiente de determinação superior a 0,71. O acúmulo de água e tecidos verdes tende a acompanhar a disponibilidade de nitrogênio, elemento essencial para o metabolismo proteico e para a síntese de compostos estruturais. Segundo Trani et al., (2017), a aplicação de N em hortaliças folhosas favorece o crescimento vegetativo, refletindo em maior acúmulo de biomassa fresca. Os dados do presente estudo corroboram esses achados, indicando que a aplicação até 25 g m⁻¹ ainda promove incrementos significativos na produtividade comercial da cultura.

No caso da massa seca, observou-se comportamento semelhante, com resposta linear positiva e R² de 0,7759. Esse resultado reforça a eficiência da absorção de nitrogênio pelas plantas e sua conversão em matéria orgânica estrutural. A massa seca reflete a real assimilação de carbono e nitrogênio nos tecidos, estando menos sujeita a variações por perda hídrica. Como afirmam Filgueira (2008) e Peixoto et al., (2014), a massa seca é considerada parâmetro confiável para avaliar o efeito nutricional de adubos em hortaliças. A tendência linear indica que, no intervalo testado, não houve saturação do efeito do nitrogênio.

A altura das plantas, por sua vez, apresentou comportamento polinomial de segundo grau, com R² de 0,7008. Houve incremento expressivo até a dose de 10 g m⁻¹, com posterior estabilização e leve decréscimo, indicando possível limitação fisiológica ou redistribuição dos assimilados. Esse comportamento é típico de culturas de ciclo curto, como a rúcula, que atingem seu potencial de crescimento em um curto período de tempo. De acordo com Oliveira et al., (2019), o excesso de nitrogênio pode induzir maior crescimento horizontal ou acúmulo de massa foliar, sem reflexo proporcional na altura.

O número de folhas também apresentou crescimento com o aumento das doses, embora com menor magnitude. O modelo linear ajustado ($R^2 = 0,4703$) indica correlação moderada, com variação de apenas 3 folhas entre o menor e o maior tratamento. Essa limitação pode estar associada ao ciclo curto da cultura e ao padrão genético da cultivar utilizada. Estudos como o de Santos et al., (2021) destacam que, em algumas hortaliças folhosas, o nitrogênio favorece mais a expansão das folhas existentes do que a emissão de novas unidades. Ainda assim, os resultados obtidos reforçam a relevância da adubação para o padrão comercial do produto.

A comparação entre as variáveis permite inferir que a dose de 25 g m^{-1} foi eficiente em promover os maiores valores médios em três das quatro variáveis analisadas. No entanto, o comportamento da altura indica que doses intermediárias (entre 10 e 15 g m^{-1}) podem ser mais indicadas quando se objetiva um equilíbrio entre crescimento vertical e massa total. A análise integrada permite considerar que o ponto ótimo técnico de resposta situou-se entre 20 e 25 g m^{-1} para produtividade, e entre 10 e 15 g m^{-1} para vigor morfológico equilibrado. Essas faixas servem de base para recomendação prática em sistemas protegidos.

É importante destacar que o ambiente protegido contribuiu para a uniformidade dos resultados, minimizando variações externas de temperatura e precipitação. A irrigação controlada e o manejo criterioso das adubações também foram fatores determinantes para a resposta positiva das plantas. Conforme relata a Embrapa (2009), a eficiência do nitrogênio é amplificada em condições ambientais estáveis, como as oferecidas por estufas agrícolas. Isso justifica os altos valores de R^2 observados nas regressões e a baixa dispersão estatística entre blocos e repetições.

A boa fertilidade inicial do solo, evidenciada pela análise físico-química, também favoreceu o desempenho das plantas, permitindo que o nitrogênio fosse o principal fator limitante do crescimento. O pH adequado, a alta saturação por bases e os teores adequados de fósforo e potássio foram determinantes para eliminar restrições nutricionais secundárias. Com base nisso, pode-se afirmar que a resposta observada é atribuída com segurança à variação das doses de nitrogênio, o que confere solidez ao modelo experimental adotado neste estudo.

Os resultados alcançados são coerentes com a literatura agronômica e indicam que o manejo do nitrogênio deve ser ajustado com base nos objetivos de produção. Quando se busca alta produtividade em biomassa, doses entre 20 e 25 g m⁻¹ são recomendadas. Para equilíbrio morfológico e menor risco de acúmulo de nitrato, doses intermediárias são mais indicadas. Essa flexibilidade deve ser considerada em função do sistema produtivo, da cultivar utilizada e das exigências do mercado consumidor.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho demonstrou a influência significativa da adubação nitrogenada sobre o desenvolvimento morfológico da rúcula (*Eruca sativa* L.) cultivada em ambiente protegido. As diferentes doses de nitrogênio aplicadas em cobertura afetaram diretamente as variáveis analisadas, com destaque para o aumento da massa fresca, massa seca e altura das plantas. A resposta positiva à adubação reforça a importância do nitrogênio como nutriente essencial para o metabolismo vegetal, especialmente em culturas de ciclo curto e elevada exigência nutricional.

A dose de 25 g m⁻¹ proporcionou os maiores valores médios de massa fresca, massa seca e número de folhas, enquanto a altura máxima foi alcançada com 10 g m⁻¹. A análise integrada dos dados permitiu identificar que o ponto ótimo agrônomo pode variar conforme a variável considerada e o objetivo produtivo. Doses mais altas favorecem o acúmulo de biomassa, enquanto doses intermediárias podem promover um crescimento mais equilibrado, evitando excessos vegetativos ou efeitos fisiológicos indesejáveis.

Recomenda-se que estudos futuros explorem a combinação de doses de nitrogênio com diferentes fontes ou formas de aplicação. Além disso, a adaptação do manejo nutricional conforme a fase fenológica da cultura pode otimizar os resultados agrônômicos e econômicos. Os dados aqui obtidos contribuem com o conhecimento técnico sobre o manejo da rúcula e podem subsidiar recomendações práticas para agricultores em sistemas protegidos.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Regras para Análise de Sementes*. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399 p. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise__sementes.pdf. Acesso em: 03 mar. 2025.

BENETT, C. G. S.; COSTA, L. M. de O.; GALO, L. P.; BAQUERO, A. V. G.; BRAOS, L. B. Adubação nitrogenada de plantio localizada na alface como alternativa para reduzir doses e aumentar produção. *Anais do JOSIF*, 2023. Disponível em: <https://josif.ifsuldeminas.edu.br/ojs/index.php/anais/article/download/2366/1482/16818>. Acesso em: 03 mar. 2025.

CARVALHO, A. M. de; OLIVEIRA, A. D. de; REIN, T. A. Qual é o impacto da adubação nitrogenada e práticas agrícolas na emissão de N₂O? *Circular Técnica* 47. Planaltina, DF: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1134975/1/CT-47-Arminda-Ainfo.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2025.

CROPLIFE BRASIL. Nitrogênio: sua fixação biológica está mais perto de você do que imagina. *CropLife Brasil*, 2021. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/fixacao-biologica-nitrogenio/>. Acesso em: 03 mar. 2025.

ELEVAGRO. Importância do nitrogênio para as plantas. *Elevagro*, 2020. Disponível em: <https://elevagro.com/blog/importancia-do-nitrogenio-para-as-plantas/>. Acesso em: 03 mar. 2025.

GUIMARÃES, R. N.; SOUZA, F. R.; SILVA, G. A.; BITTAR, Y. D.; Adubação nitrogenada na produção da rúcula. *Ipê Agronomic Journal* v. 3, n. 2, p. 44-55, nov. 2019.

GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. Disponível em: <https://locus.ufv.br/bitstreams/7e915962-999e-46ad-87e6-41ff26fdc092/download>. Acesso em: 03 mar. 2025.

LIBERADA, E. F. *Plantas cultivadas e não cultivadas com potencial para a alimentação humana: um estudo etnobotânico no município de Alegre-ES*. 2019. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2019. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/producao-vegetal/wp-content/uploads/sites/10/2021/10/EDUARDO-FERREIRA-LIBERADA.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2025.

LOPES, M. N.; SOUZA, A. P. de; REIS, S. T. dos; SANTOS, L. C. dos; SOUZA, M. A. de. Manejo e viabilidade econômica da adubação nitrogenada em pastagem de capim-mombaça. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, v. 21, n. 3, p. 156-162, 2013. Disponível em:

https://ojs.alpa.uy/index.php/ojs_files/article/download/2226/803/. Acesso em: 03 mar. 2025.

PERON, R. M. *Desempenho agrônomo da rúcula (Eruca sativa Miller) sob diferentes doses de cama de frango*. 2019. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2019. Disponível em: <https://profagroec.uem.br/egressos-e-dissertacoes/2019/pdf/raquel-mantovani-peron.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2025.

SILVA, P. H. S. *Adubação nitrogenada em rúcula: efeitos no crescimento, produtividade e nutrição*. 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Jaboticabal, 2017.

SILVA, P. H. S.; CECÍLIO FILHO, A. B.; MALDONADO JÚNIOR, W. Adubação nitrogenada em rúcula: efeitos no crescimento, produtividade e nutrição. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 40, n. 1, p. 177-186, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstreams/ebbcffdb-559d-4ffa-b123-c271fb4fd386/download>. Acesso em: 03 mar. 2025.

SOUZA, A. A.; COSTA, C. C.; LIMA, L. A.; PEREIRA, F. H. F.; SILVA, J. M. Crescimento da cultura da rúcula sob diferentes substratos e níveis de água salina. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 90, n. 1, p. 489-498, 2018. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/6055/1/Crescimento%20da%20cultura%20da%20r%C3%BAcula%20sob%20diferentes%20substratos%20e%20n%C3%ADveis%20de%20%C3%A1gua%20salina.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2025.

SOUZA, R. J.; RESENDE, G. M.; PEREIRA, P. R. G.; FINGER, F. L. Produtividade de alface e rúcula, em sistema consorciado, sob adubação orgânica. *Horticultura Brasileira*, v. 28, n. 1, p. 36-40, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/Cn6DmfxK8VHPDGctFZv6CJQ/>. Acesso em: 03 mar. 2025.

STEFANELLO, Vinicius; MARTINS ARRUDA, Everton; GOMES DE BRITO, Silvan; OLIVEIRA RIVA NETO, Dhiego César. Parcelamento da adubação nitrogenada na cultura da rúcula. *PesquisAgro*, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 34–48, 2023. Disponível em: <https://periodicos.cfs.ifmt.edu.br/periodicos/index.php/agro/article/view/144>. Acesso em: 3 mar. 2025.

STEINER, F.; ZOLET, A. C.; CASTOLDI, R.; MELO, D. M.; ZOLET, T. D. Cultivo de rúcula (*Eruca sativa*) em ambiente protegido sob diferentes concentrações de solução nutritiva. *Revista de Agricultura Neotropical*, v. 9, n. 1, p. 1-7, 2022. Disponível em: <https://agrariacad.com/2022/01/24/cultivo-de-rucula-eruca-sativa-l-em-ambiente-protegido-sob-diferentes-concentracoes-de-solucao-nutritiva/>. Acesso em: 03 mar. 2025.