



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

JOÃO PAULO ROCHA DE ARAÚJO

**ANÁLISE DO CRESCIMENTO VEGETATIVO DO MILHO EM RESPOSTA A
DIFERENTES DOSES DE SULFATO DE AMÔNIO**

AREIA
2025

JOÃO PAULO ROCHA DE ARAÚJO

**ANÁLISE DO CRESCIMENTO VEGETATIVO DO MILHO EM RESPOSTA A
DIFERENTES DOSES DE SULFATO DE AMÔNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada
em Agronomia da Universidade Federal da
Paraíba, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Fabio Mielezrski

Coorientadora: Msc. Jakeline Florêncio da
Silva

AREIA

2025

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A663a Araújo, João Paulo Rocha de.

Análise do crescimento vegetativo do milho em
resposta a diferentes doses de sulfato de amônio / João
Paulo Rocha de Araújo. - Areia:UFPB/CCA, 2025.

41 f. : il.

Orientação: Fabio Mielezrski.

Coorientação: Jakeline Florêncio da Silva.

TCC (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Zea mays. 3. Manejo nutricional. 4.
Estratégia de adubação. I. Mielezrski, Fabio. II.
Silva, Jakeline Florêncio da. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(02)

JOÃO PAULO ROCHA DE ARAÚJO

**ANÁLISE DO CRESCIMENTO DO MILHO EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE
SULFATO DE AMÔNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada
em Agronomia da Universidade Federal da
Paraíba, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenheiro Agrônomo.

Aprovado em: 02/10/2025.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Fabio Mielezrski (Orientador)

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Msc. João Henrique Barbosa da Silva (Examinador)

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Msc. Júlio Sergio Leite da Silva (Examinador)

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Agradeço a Deus por sempre me guiar e aos meus pais, Dorgival Alves de Araújo e Maria José da Rocha Araújo, por seu constante apoio às minhas escolhas, por seu companheirismo, amizade e por estarem sempre ao meu lado, **DEDICO**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pela dádiva da vida e pela sabedoria concedida, que têm me guiado na construção e no percurso dos meus caminhos.

Ao meu pai Dorgival Alves de Araújo, e minha mãe Maria José da Rocha Araújo, a meu irmão Júnior Araújo, e as minhas tias e tio e primos e primas, pela compreensão por minha ausência nas reuniões familiares.

Aos meus avós (in memoriam), embora fisicamente ausente, sentia sua presença ao meu lado, dando-me força.

À minha grande amiga Dyalla Duarte e ao meu primo Rayan Araújo, que se tornaram como irmãos para mim, dentro e fora da universidade. Com vocês, construí uma amizade verdadeira e especial ao longo desta jornada. A parceria, o apoio incondicional e os momentos compartilhados tornaram essa caminhada mais leve, alegre e inesquecível. Minha eterna e sincera gratidão

Ao Professor Dr. Rosivaldo Sobrinho, coordenador do curso, por seu empenho.

Ao professor Dr. Fabio Mielezrski pelas leituras sugeridas ao longo dessa orientação e pela dedicação. Estendo ainda meu sincero agradecimento à coorientadora Jakeline Florêncio da Silva, pela paciência, pelo apoio constante e pela parceria em todas as etapas desta jornada, que foram fundamentais não apenas para a realização desta pesquisa, mas também para meu crescimento acadêmico e pessoal.

Agradeço imensamente aos colegas João Henrique, Hallan Silva e Jonatha pelo empenho, apoio e colaboração em todas as etapas do experimento. Estendo também minha sincera gratidão ao produtor Rafael, que gentilmente cedeu a área para a realização do trabalho, tornando possível a execução desta pesquisa. A contribuição de cada um foi essencial para o êxito do estudo.

Aos professores do Curso da UFPB, em especial, Yirina Vasquez, José Domingos (Zezinho), Silvanda de melo, Guttemberg Silvino e Roseilton Fernandes, que contribuíram ao longo desses semestres, por meio das disciplinas e debates, para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos funcionários da UFPB, Assis e aos demais funcionários, pela presteza e atendimento quando nos foi necessário.

Ao grupo de estudo GESUCRO, pela oportunidade de fazer parte dessa história e pelo aprendizado proporcionado ao longo dessa caminhada. Ao PET AGROBIO, orientado pelo professor Daniel Duarte, e a todo o grupo envolvido, agradeço pela parceria, pelas experiências

compartilhadas e pelo acolhimento, que contribuíram de forma significativa para minha formação acadêmica e pessoal.

Dedico minha gratidão à turma de Agronomia 2020.2, que esteve presente nos momentos de maior dificuldade e fez com que cada etapa dessa caminhada valesse a pena. Minha eterna gratidão!

Aos colegas de classe pelos momentos de amizade e apoio Anderson Araújo (cabrito), Ana Raquel, Davi Barros (Augustinho carrara), Ingryd Vieira, Joan Correia (Lanzudo), Jomario Paiva, Levi Martins (Mobral), Luan Correia, Marcos Gomes (Marquinho), Maycon Douglas, Michelli Pereira, Nataline Pontes, Patrícia Constantino, Paulo Ricardo, Thiago Ísidio, Thiago gomes, Thiago Moura e Viviane Belo. Sou profundamente grato a todos, sem distinção, pois, se existe amizade verdadeira, sei que a encontrei ao lado dessas pessoas ao longo destes cinco anos. Apesar das dificuldades e das diferenças de caráter, viver esses momentos ao lado de vocês tornou essa trajetória memorável, e guardarei cada lembrança com eterna gratidão.

RESUMO

O estudo avaliou o crescimento vegetativo do milho em resposta a diferentes doses de sulfato de amônio, com o objetivo de identificar a estratégia mais eficiente de adubação para a cultura do milho. O experimento foi desenvolvido na Fazenda Guaribas, Areia, Paraíba, o delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso (DBC) com quatro repetições, sendo seis doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150, 200 e 250 kg ha⁻¹), as avaliações de crescimentos foram realizadas em (30 e 45 dias após a semeadura) aplicados nos estádios V3-V4 e V7-V8, utilizando o milho P4285VYHR da Pioneer. Foram analisados parâmetros de desenvolvimento como altura de plantas, comprimento de folhas, diâmetro de colmo, largura de folhas, número de folhas, teor de clorofila A e B e nutrição foliar de nitrogênio em duas áreas com condições edáficas distintas. Os resultados demonstraram que o nitrogênio fornecido pelo sulfato de amônio exerceu efeito positivo no crescimento do milho, promovendo aumento significativo na altura das plantas, nos teores de clorofila e na concentração foliar de nitrogênio. As doses acima de 150 kg de N ha⁻¹ proporcionaram ganhos adicionais expressivos, indicando que essa dose que maximiza o desempenho fisiológico e agrônômico. Observou-se ainda que a resposta variou entre as áreas experimentais, de modo que, na Área 1, a cultura demandou doses mais altas para expressar seu potencial produtivo, enquanto na Área 2, com maior retenção de nutrientes, as doses mais baixas já garantiram eficiência no uso do nitrogênio. Esses resultados evidenciam que o manejo da adubação nitrogenada deve considerar não apenas a dose e a época de aplicação, mas também as características físico-químicas do solo. Ressaltando a importância da análise de solo como ferramenta essencial para orientar práticas sustentáveis e economicamente viáveis no cultivo do milho. Além disso, a pesquisa reforça a relevância do uso racional de fertilizantes para reduzir custos de produção, mitigar impactos ambientais e aumentar a eficiência de uso do nitrogênio, contribuindo para sistemas agrícolas mais produtivos e resilientes.

Palavras-chave: *Zea mays*; manejo nutricional; estratégia de adubação.

ABSTRACT

This study evaluated corn vegetative growth in response to different ammonium sulfate rates to identify the most efficient fertilization strategy. The experiment was conducted at Guaribas Farm, Areia, Paraíba. The experimental design was a randomized complete block design (RBD) with four replicates, and six nitrogen rates (0, 50, 100, 150, 200, and 250 kg ha⁻¹). Growth assessments were performed 30 and 45 days after sowing, applied at the V3-V4 and V7-V8 stages, using Pioneer P4285VYHR corn. Development parameters such as plant height, leaf length, stem diameter, leaf width, and leaf number, chlorophyll A and B content, and foliar nitrogen nutrition were analyzed in two areas with distinct soil conditions. The results demonstrated that the nitrogen provided by ammonium sulfate had a positive effect on corn growth, promoting a significant increase in plant height, chlorophyll content, and foliar nitrogen concentration. Doses above 150 kg ha⁻¹ did not provide significant additional gains, indicating that this dose maximizes physiological and agronomic performance. It was also observed that the response varied between the experimental areas, such that in Area 1, the crop required higher doses to achieve its productive potential, while in Area 2, with greater nutrient retention, lower doses ensured efficient nitrogen use. These results demonstrate that nitrogen fertilization management should consider not only the dose and timing of application, but also the soil's physical and chemical characteristics. This highlights the importance of soil analysis as an essential tool for guiding sustainable and economically viable practices in corn cultivation. Furthermore, the research reinforces the importance of rational use of fertilizers to reduce production costs, mitigate environmental impacts, and increase nitrogen use efficiency, contributing to more productive and resilient agricultural systems.

Keywords: *Zea mays*; nutritional management; fertilization strategy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Produção de Milho em grãos na região Nordeste.....	14
Figura 2 –	Os estádios fenológicos do milho.....	17
Figura 3 –	Distribuição dos tratamentos de acordo com a instalação em campo e as doses aplicadas T1 – Testemunha; T2 – Sulfato de amônio (50kg ha ⁻¹); T3 – Sulfato de amônio (100kg ha ⁻¹); T4 – Sulfato de amônio (150kg ha ⁻¹); T5 – Sulfato de amônio (200kg ha ⁻¹); T6 – Sulfato de amônio (250kg ha ⁻¹)	22
Figura 4 –	Climograma do município de Areia - PB referente ao período compreendido durante a condução do experimento.....	24
Figura 5 –	Processamento de amostras foliares para análise química.....	26
Figura 6 –	Área 1 em diferentes doses de sulfato de amônio Altura de Planta (AP) – Ajuste ao modelo quadrático de regressão (p<0.01); Diâmetro de colmo (DC)– Ajuste ao modelo quadrático de regressão (p<0.05); Largura de Folha (LF) – Não significativo; Comprimento de Folha (CF) - Não significativo.....	29
Figura 7 –	Área 1 em diferentes doses de sulfato de amônio Número de Folhas (NF) - Não significativo; Clorofila A (CA) – Ajuste ao modelo linear de regressão (p<0.05); Clorofila B (CB) – Ajuste ao modelo quadrático de regressão (p<0.05)	31
Figura 8 –	Área 2 em diferentes doses de sulfato de amônio Altura de Planta (AP) – Ajuste ao modelo quadrático de regressão (p<0.05); Diâmetro de Colmo (DC)– Ajuste ao modelo quadrático de regressão (p<0.05); Largura de Folha (LF) – Ajuste ao modelo quadrático de regressão (p<0.05); Comprimento de Folha (CF) - Não significativo.....	33
Figura 9 –	Área 2 em diferentes doses de sulfato de amônio Número de Folha (NF) - Não significativo; Clorofila A (CA) – Ajuste ao modelo linear de regressão (p<0.01); Clorofila B (CB) – Ajuste ao modelo linear de regressão (p<0.01)	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Doses de sulfato de amônio.....	22
Tabela 2 –	As atribuições químicas do solo da fazenda Guaribas, Areia, Paraíba	23
Tabela 3 –	Teor de nitrogênio foliar (N) das plantas de milho cultivadas nas Áreas 1 (A) e 2 (B), em diferentes doses de sulfato de amônio.....	27

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO MILHO	13
2.1.1 Aspectos gerais	14
2.1.2 Fenologia	16
2.1.2.1 Fertilizantes de solo.....	17
2.1.2.1.1 <i>Uso de sulfato de amônio</i>	19
3 METODOLOGIA.....	21
3.1 LOCALIZAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	21
3.2 VARIÁVEIS ANALISADAS	24
3.2.1 Análises biométricas e morfológicas	24
3.2.2 Análises fisiológicas	25
3.2.3 Análise de diagnose nutricional.....	25
3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5 CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais cultivados no mundo, destacando-se pelo seu alto potencial produtivo e ampla utilização na alimentação humana, nutrição animal e indústria (Chagas *et al.*, 2024). Atualmente, os maiores produtores mundiais são Estados Unidos, China, Brasil e Argentina, que juntos concentram a maior parte da produção global (Silva Junior *et al.*, 2024).

No Brasil, sua produção tem grande importância econômica, sendo fundamental para o agronegócio e a sustentabilidade dos sistemas de produção (Bigolin & Talamini, 2024). Na safra 2023/2024, o país alcançou 299,27 milhões de toneladas com um aumento de 0,6% na produtividade, equivalente a 1,72 milhões de toneladas (Conab, 2024). Na Paraíba, o milho segue como cultura relevante em regiões como o Brejo, sertão e no Cariri, porém com volumes menores comparados a estados como Bahia, Piauí e Maranhão, que lideram a produção regional (IBGE, 2025).

Para alcançar elevados níveis de produtividade, é fundamental considerar diversos fatores, especialmente o manejo adequado da adubação. Os macronutrientes primários, como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), desempenham papel importante no desenvolvimento do milho, sendo indispensáveis para manter a fertilidade do solo e o crescimento equilibrado das plantas. Dentre esses nutrientes, o nitrogênio é um dos nutrientes mais demandados pela cultura devido à sua importância para o crescimento vegetal e sua contribuição direta à segurança alimentar global (Motasim *et al.*, 2024).

O sulfato de amônio é uma importante fonte de nitrogênio para as plantas, sendo amplamente utilizado na adubação de diversas culturas agrícolas. Estudos realizados com a cultura do milho demonstram que a aplicação desse fertilizante pode promover melhorias significativas no crescimento e na produtividade, devido ao fornecimento eficiente de nitrogênio e enxofre, elementos essenciais para os processos metabólicos e o desenvolvimento vegetal (Casteel *et al.*, 2019; Powlson & Dawson, 2022). Além de fornecer nitrogênio na forma amoniacal (NH_4^+), o sulfato de amônio também fornece enxofre, nutriente essencial envolvido na síntese de aminoácidos e proteínas. (Powlson & Dawson, 2022; Li *et al.*, 2022b). Sua aplicação pode melhorar significativamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas, pois o nitrogênio, presente em 21% de sua composição, participa de processos metabólicos essenciais, como a fotossíntese, a síntese de proteínas e a formação de compostos estruturais e enzimáticos (Motasim *et al.*, 2024).

A resposta do milho à adubação com sulfato de amônio depende de diversos fatores, como a dose utilizada, o momento da aplicação e as condições edafoclimáticas da região (Meneghini *et al.*, 2020). Sua deficiência pode comprometer o crescimento das plantas, reduzir a área foliar, diminuir o número e o tamanho dos grãos e, consequentemente, reduzir sua produtividade e rendimento (Yahaya *et al.*, 2023).

Trabalhos anteriores demonstram que o uso do sulfato de amônio pode influenciar significativamente o desenvolvimento e o rendimento do milho, em função do fornecimento conjunto de nitrogênio e enxofre, nutrientes essenciais ao metabolismo vegetal (Kovar, 2021; Cassim *et al.*, 2022). Além disso, pesquisas indicam que o parcelamento e o momento de aplicação desse fertilizante interferem diretamente na eficiência de absorção de nutrientes e no desempenho agrônômico das plantas (Gheith *et al.*, 2022).

Diante disso, este estudo tem como objetivo analisar o crescimento vegetativo do milho em resposta a diferentes doses de sulfato de amônio, buscando identificar a melhor estratégia de adubação para promover um manejo mais eficiente e alcançar maior desenvolvimento vegetativo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO MILHO

A produção de milho abrange uma área plantada globalmente superior a 200 milhões de hectares em todo o mundo, sendo os Estados Unidos (EUA), a China e o Brasil os principais países produtores (Conab, 2025). Os EUA lideram a produção mundial, com safras que ultrapassam 384,6 milhões de toneladas anuais, seguidos pela China, que produz cerca de 292,0 milhões de toneladas (Silva Junior *et al.*, 2024). O Brasil, por sua vez, consolidou-se como o terceiro maior produtor global, com uma produção que supera 130 milhões de toneladas, concentrada principalmente nos estados do Mato Grosso, Paraná e Goiás (Bigolin & Talamini, 2024).

Além de ser um dos maiores produtores, o Brasil assumiu a posição de maior exportador de milho do mundo, ultrapassando os EUA em 2023, com embarques que chegaram a 55 milhões de toneladas, impulsionados pela alta demanda internacional e pela safra recorde (Conab, 2025). Esse cenário reforça a importância do milho para a economia brasileira e global, tanto na alimentação humana e animal quanto na produção de biocombustíveis (Coêlho, 2023).

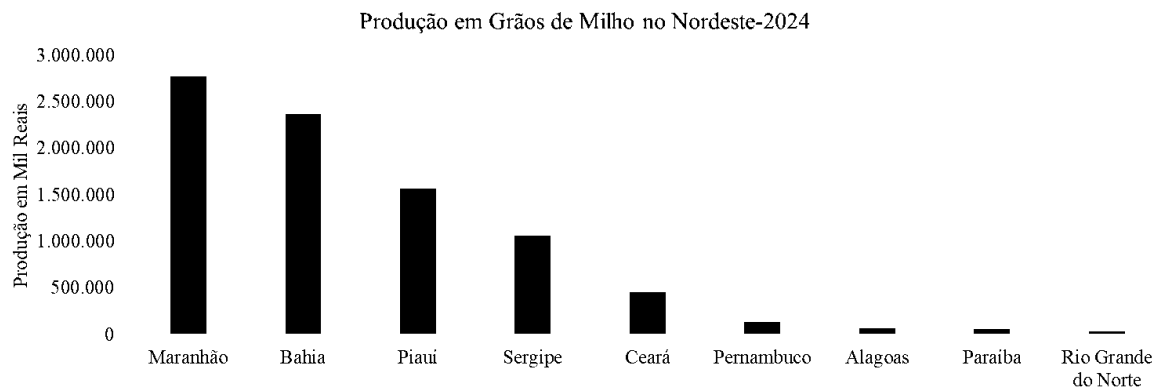
Portanto, o milho tem grande importância na geração de empregos, diretos e indiretos, desde o cultivo até o processamento e a comercialização, sendo produzido tanto pela agricultura familiar quanto por grandes produtores (Erenstein *et al.*, 2022). Além disso, é um dos cereais mais consumidos no mundo, com ampla utilização na alimentação humana, em produtos como farinha, fubá, canjica e milho-verde (Bigolin & Talamini, 2024), e na alimentação animal, especialmente na formulação de rações para bovinos, suínos e aves (Embrapa, 2021).

A produção brasileira de milho na safra 2024/25 está projetada para alcançar um volume recorde, com estimativas entre 126,9 milhões de toneladas (Conab, 2025). Esse desempenho representa um crescimento de aproximadamente 9% em relação à safra anterior, impulsionado principalmente pela expansão da área plantada e pelas condições climáticas favoráveis durante o ciclo da safrinha, que responde por cerca de 75% da produção nacional (IBGE, 2025).

A região Nordeste (Figura 1) deve contribuir com cerca de 5,5 a 6 milhões de toneladas na safra 2024/25, representando aproximadamente 4,5% da produção nacional. Os estados da Bahia, Maranhão e Piauí destacam-se como os principais produtores regionais (Conab, 2025). A produção nordestina caracteriza-se pelo predomínio da agricultura familiar e pelo cultivo em sistemas de sequeiro, o que a torna mais vulnerável às variações climáticas (Coêlho, 2023).

Apesar dos desafios, observa-se um crescimento gradual na adoção de tecnologias adaptadas ao semiárido melhorando a produção da região nordeste (Conab, 2025).

Figura 1. Produção de Milho em grãos na região Nordeste.



Fonte: IBGE, 2024.

O milho é uma das principais culturas do Brasil, com produção concentrada nas regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste, que juntas respondem por mais de 90% do volume nacional (IBGE, 2025). Essas áreas se destacam pelas condições edafoclimáticas favoráveis, pela infraestrutura consolidada e pelo elevado nível tecnológico adotado nas propriedades rurais (Germani, 2021). Além disso, essas regiões contam com maior disponibilidade de tecnologias agrícolas, infraestrutura logística desenvolvida e maior investimento em pesquisa e assistência técnica, fatores que favorecem altos rendimentos. (Bigolin & Talamini, 2024). Já o Nordeste, incluindo a Paraíba, apresenta limitações como a baixa disponibilidade hídrica e a infraestrutura rural menos desenvolvida, fatores que reduzem o potencial produtivo, no entanto, observa-se um avanço com o uso da irrigação e de tecnologias adaptadas ao semiárido (Silva *et al.*, 2024). Diante desse cenário, as perspectivas de produção da cultura são positivas, com tendência de aumento da produtividade em função da adoção de práticas sustentáveis, do uso de cultivares mais adaptadas e da expansão da safrinha, que tem se consolidado como a principal responsável pela oferta de grãos no país (Germani, 2021).

2.1.1 Aspectos gerais

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta monocotiledônea pertencente à família Poaceae (gramíneas), amplamente cultivada em todo o mundo devido à sua versatilidade e importância econômica (Zhu *et al.*, 2025). A morfologia compreende diferentes órgãos que desempenham

funções específicas ao longo do seu ciclo de vida, sendo uma planta C4, caracterizada por sua alta eficiência fotossintética em climas quentes e com boa disponibilidade de luz (Magalhães *et al.*, 2022).

sendo "parente" de outras culturas economicamente importantes, como trigo (*Triticum* spp.), arroz (*Oryza sativa*), cevada (*Hordeum vulgare*), aveia (*Avena* spp.), sorgo (*Sorghum bicolor*) e cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). Dentro do seu gênero (*Zea*), o milho tem proximidade com o teosinto (*Zea mays* subsp. *parviglumis*), considerado seu ancestral selvagem (Huang *et al.*, 2022).

A espécie foi descrita pela primeira vez por Lineu (Carl von Linné) em 1753, em sua obra *Species Plantarum*, que estabeleceu a nomenclatura binomial utilizada até hoje (Lack, 2025). O milho foi domesticado há cerca de 9.000 anos na Mesoamérica (região que hoje compreende o México e América Central), sendo cultivado inicialmente por povos indígenas, como os olmecas, maias e astecas (Erenstein *et al.*, 2022).

Foi apenas após a chegada dos europeus às Américas (século XV-XVI) que o milho se espalhou para outros continentes. No Brasil, o milho foi introduzido pelos colonizadores portugueses no século XVI, tornando-se rapidamente uma cultura essencial na alimentação indígena e, posteriormente, na dieta brasileira (Hancock, 2022).

O milho se reproduz por via sexuada, através da polinização e fecundação, originando grãos viáveis. No cultivo agrícola, a multiplicação da cultura ocorre exclusivamente pela semeadura desses grãos, que, ao germinarem, dão origem a novas plantas. (Erenstein *et al.*, 2022). Segundo a Embrapa (2021), o milho apresenta um sistema radicular do tipo fasciculado, podendo formar raízes adventícias (ou aéreas) que auxiliam na sustentação, podendo atingir até 2 metros de profundidade, dependendo das condições do solo, embora a maior absorção de água e nutrientes ocorra na camada de 0,4 a 0,6 metros, porém, as raízes adventícias, por sua vez, geralmente medem entre 10 a 30 centímetros.

Já o caule é do tipo colmo, ereto, cilíndrico e com entrenós bem definidos, com folhas classificadas como alternadas, com bainha envolvendo o caule, lâmina foliar alongada e nervuras paralelas (Magalhães *et al.*, 2022). A inflorescência masculina, chamada pendão, localiza-se na extremidade superior do caule, enquanto a inflorescência feminina, conhecida como espiga, surge nas axilas das folhas medianas. A polinização é cruzada e anemófila (feita pelo vento). O fruto do milho é o grão (cariopse), que pode apresentar variações de cor, formato e composição conforme a variedade cultivada (Silva *et al.*, 2020).

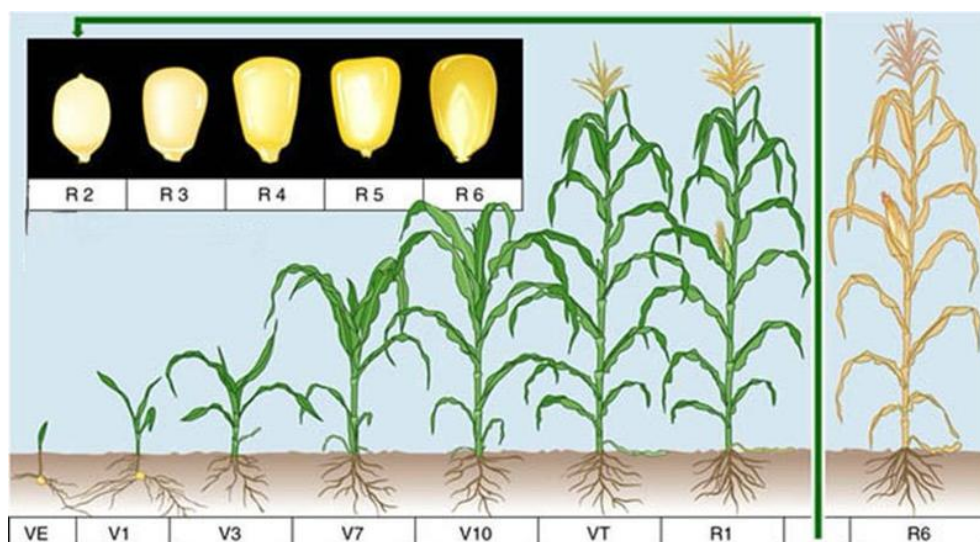
2.1.2 Fenologia

O desenvolvimento do milho é dividido em duas fases principais: vegetativa (V) e reprodutiva (R). A fase vegetativa inicia-se com a emergência das plântulas (VE), que geralmente ocorre de 5 a 7 dias após a semeadura, dependendo da temperatura do solo, disponibilidade de água e profundidade de plantio. A partir desse momento, cada estágio é designado pela letra V seguida do número de folhas totalmente expandidas, com a colarinha visível (Erenstein *et al.*, 2022).

Durante a fase vegetativa, o milho passa por estágios cruciais. No V2 a V4, ocorre a formação inicial do sistema radicular e estabelecimento da planta. No V6, inicia-se a diferenciação dos primórdios da espiga e já está definido o número potencial de fileiras de grãos, sendo essa uma fase muito sensível ao déficit hídrico e à deficiência nutricional (Magalhães *et al.*, 2022). Entre (V3 – V4) e (V7 - V8), é importante a aplicação de fertilizantes nitrogenados, como o sulfato de amônio, pois o nitrogênio é essencial para o crescimento vegetativo, formação de folhas, colmo e desenvolvimento das estruturas reprodutivas iniciais (Zhu *et al.*, 2025). A deficiência nessa fase pode comprometer o potencial produtivo, reduzindo o número de grãos por espiga.

Já na fase reprodutiva, o milho passa por estágios que vão do pendramento (R1) até a maturidade fisiológica (R6) (Erenstein *et al.*, 2022). O R1, marcado pela emissão dos pendões e estigmas (cabelos), é fundamental para a fecundação; qualquer estresse hídrico ou nutricional pode causar falhas na polinização. O R2 (grão bolha) e o R3 (grão leitoso) são momentos de intensa translocação de fotoassimilados, determinando a taxa de enchimento dos grãos. No R5 (grão farináceo ou pastoso) ocorre a formação do amido, definindo o peso final dos grãos, enquanto o R6 (maturidade fisiológica) marca o acúmulo máximo de matéria seca, sendo identificado pelo “ponto preto” na base do grão (Silva *et al.*, 2020) (Figura 3).

Figura 2. Os estádios fenológicos do milho.



Fonte: Odell's-World, 2010.

A duração de cada fase pode variar conforme o híbrido utilizado, as condições climáticas e o manejo adotado, assim, é essencial o conhecimento da morfologia e fenologia da cultura para a tomada de decisões agrônômicas, como o momento ideal para adubação, irrigação, controle de pragas e colheita (Magalhães *et al.*, 2022).

2.1.2.1 Fertilizantes de solo

A intensificação da agricultura em todo o mundo é impulsionada pelo crescimento populacional e pela demanda por alimentos, fibras e biocombustíveis, que por sua vez, tem exigido cada vez mais do solo enquanto recurso produtivo (Krasilnikov, Taboada e Amanullah, 2022). Em função disso, práticas que garantam o suprimento adequado de nutrientes às plantas tornam-se indispensáveis (Pahalvi *et al.*, 2021). Assim, os fertilizantes de solo têm papel central no fornecimento dos elementos essenciais ao crescimento vegetal, contribuindo diretamente para a elevação da produtividade agrícola (Baweja *et al.*, 2020).

Em regiões tropicais, como o Brasil, os solos, em sua maioria, apresentam acidez elevada e baixa fertilidade natural, o que reforça ainda mais a necessidade de um manejo adequado da adubação (Singh *et al.*, 2020). Fertilizantes de solo são materiais de origem mineral, orgânica ou mista, aplicados com o objetivo de suprir as plantas com nutrientes essenciais ao seu desenvolvimento (Yahaya *et al.*, 2023). Eles podem ser classificados segundo diferentes critérios, sendo quanto à origem, dividem-se em fertilizantes minerais, orgânicos e organominerais.

Dentre os fertilizantes minerais, as fontes nitrogenadas merecem destaque devido à alta exigência da cultura do milho. A ureia é a mais utilizada, porém, está sujeita a significativas perdas por volatilização de amônio (Li *et al.*, 2022a). Neste contexto, o sulfato de amônio $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ apresenta-se como uma alternativa vantajosa em solos alcalinos ou com deficiência de enxofre, pois sua forma amoniacal está menos sujeita à volatilização e ainda fornece 24% de S (Powlson & Dawson, 2022). Esta combinação de nutrientes é crucial, pois o enxofre participa ativamente da síntese de aminoácidos sulfurados e da formação de proteínas na planta (Li *et al.*, 2022b).

Outro critério relevante de classificação diz respeito ao tipo de nutriente fornecido. Os fertilizantes podem ser nitrogenados, fosfatados, potássicos ou fontes de micronutrientes (Baweja *et al.*, 2020). O nitrogênio (N) é fundamental para o crescimento vegetativo; o fósforo (P) atua na formação de raízes, flores e sementes; e o potássio (K) está relacionado à regulação hídrica e à resistência das plantas a pragas e doenças (Singh *et al.*, 2020). Os micronutrientes como zinco (Zn), boro (B) e ferro (Fe) também são indispensáveis, mesmo em pequenas quantidades, já que participam de processos fisiológicos vitais (Yahaya *et al.*, 2023). Em casos de uso inadequado de fertilizantes pode acarretar sérios problemas ambientais e agrônômicos.

A aplicação excessiva, por exemplo, pode causar a lixiviação de nutrientes, e contaminação de corpos d'água, a acidificação do solo e o desequilíbrio entre os nutrientes disponíveis (Baweja *et al.*, 2020). Por isso, o manejo da fertilização deve ser realizado com base em diagnósticos técnicos, especialmente por meio da análise de solo e da recomendação agrônômica específica para cada cultura e sistema produtivo. A adoção de tecnologias como os fertilizantes de liberação controlada, a adubação localizada e o uso de biofertilizantes também tem se mostrado eficiente para melhorar a eficiência do uso dos nutrientes e reduzir impactos negativos (Singh *et al.*, 2020).

O uso de fertilizante no solo é, portanto, um dos pilares para a sustentabilidade da agricultura. Ela não apenas assegura a produtividade e a qualidade das colheitas, mas também contribui para a segurança alimentar da população (Yahaya *et al.*, 2023). Com o avanço das pesquisas e o uso de ferramentas de diagnóstico mais precisas, torna-se possível alinhar o uso para garantindo que a intensificação da produção agrícola ocorra de forma ambientalmente responsável e economicamente viável.

2.1.2.1.1 Uso de sulfato de amônio

O sulfato de amônio, tem a sua fórmula química $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$, é considerado um fertilizante mineral amplamente utilizado na agricultura como fonte de nitrogênio (N) e enxofre (S), dois nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas (Powlson & Dawson, 2022). É composto de, aproximadamente 20% de nitrogênio na forma amoniacal e 24% de enxofre na forma de sulfato, o que o torna uma opção eficiente e estratégica para diversas culturas, especialmente em solos com deficiência desses elementos (Li *et al.*, 2022b).

O nitrogênio é um dos nutrientes mais exigidos pelas plantas, atuando diretamente na formação de compostos como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos e clorofila (Motasim *et al.*, 2024). Sua presença no solo influencia o crescimento vegetativo, o desenvolvimento foliar e a produtividade das culturas (Powlson & Dawson, 2022). Já o enxofre, embora exigido em menores quantidades, é igualmente importante, pois participa da formação de enzimas, vitaminas e proteínas, além de atuar na fotossíntese e na síntese de óleos em culturas como soja (*Glycine max*), girassol (*Helianthus annuus*) e canola (*Brassica napus*) (Powlson & Dawson, 2022).

O sulfato de amônio é um fertilizante de alta solubilidade, sendo prontamente absorvido pelas plantas (Casteel *et al.*, 2019). Podendo ser aplicado diretamente ao solo, tanto em cobertura quanto por incorporação, e também pode compor formulações com outros fertilizantes (Shi *et al.*, 2022). Sua aplicação é indicada para diversas culturas, como milho, arroz, trigo, feijão (*Phaseolus vulgaris*), algodão (*Gossypium hirsutum*), cana-de-açúcar, café (*Coffea arabica*), hortaliças, frutíferas e pastagens, apresentando bons resultados em produtividade e qualidade das plantas (Volz, 2022).

Além de seu valor nutricional, o sulfato de amônio possui uma característica importante relacionada ao pH do solo (Powlson & Dawson, 2022). Como a forma amoniacal (NH_4^+) do nitrogênio pode acidificar o solo durante o processo de nitrificação, o uso desse fertilizante pode ser vantajoso em solos com pH elevado (alcalinos), melhorando a disponibilidade de micronutrientes como ferro, manganês, zinco e cobre (Li *et al.*, 2022b). Em contrapartida, solos naturalmente ácidos, é necessário monitorar a acidez para evitar o agravamento do problema, pois pode haver inibição da absorção de nutrientes, tornando necessária a aplicação de corretivos, como o calcário (Powlson & Dawson, 2022).

Outro ponto positivo do sulfato de amônio é o seu menor risco de perdas por lixiviação do nitrogênio (Shi *et al.*, 2022). Como o nitrogênio está presente na forma amoniacal, ele se adsorve aos colóides do solo, ao contrário do nitrato, que é mais suscetível à lavagem pelas

águas das chuvas ou irrigação (Powlson & Dawson, 2022). Isso torna o fertilizante mais eficiente, especialmente em solos arenosos ou regiões com alta pluviosidade.

No entanto, é importante destacar que a aplicação deve ser feita com base em recomendações técnicas, preferencialmente com o auxílio de uma análise de solo (Meneghini *et al.*, 2020). O uso excessivo e descontrolado pode levar à acidificação do solo, aumento dos custos de produção e contaminação ambiental (Shi *et al.*, 2022). O enxofre em excesso, por exemplo, pode interferir na absorção de outros nutrientes como o molibdênio. Portanto, o manejo correto do fertilizante é fundamental para garantir eficiência agrônômica e sustentabilidade da atividade agrícola (Shi, *et al.*, 2022).

Estudos conduzidos por diferentes autores Cassim *et al.* (2022), Brodowska *et al.* (2024) e Marangoz & Hosaflioglu (2024) apontam que, na cultura do milho, o sulfato de amônio $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ aumenta o crescimento vegetativo do milho de forma significativa, especialmente em solos pobres em enxofre ou sujeitos à lixiviação, por fornecer nitrogênio e enxofre simultaneamente. Em gramíneas como milho, trigo e arroz, a aplicação mostra-se mais eficaz nos estádios de perfilhamento, alongamento do colmo e desenvolvimento radicular, favorecendo a síntese de aminoácidos sulfurados e proteínas. Em comparação com fontes exclusivamente nitrogenadas, o uso do sulfato de amônio proporciona uma nutrição mais equilibrada (N-S), maior eficiência no uso do nitrogênio, melhor vigor vegetativo, enchimento de grãos e superior qualidade proteica, especialmente em solos com deficiência de enxofre.

Em resumo, o sulfato de amônio é uma fonte eficaz e amplamente disponível de nitrogênio e enxofre, com características que favorecem seu uso em uma grande variedade de solos e culturas (Powlson & Dawson, 2022). Sua aplicação adequada pode contribuir significativamente para o crescimento vigoroso das plantas, o aumento da produtividade e a qualidade dos produtos agrícolas, desde que seja parte de um manejo nutricional bem planejado (Li *et al.*, 2022b).

3 METODOLOGIA

3.1 LOCALIZAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O estudo foi desenvolvido Fazenda Guaribas, localizado próximo ao distrito de Mata Limpa, no município de Areia, Paraíba. O experimento foi realizado em duas localidades, Área I (S 6° 53' 54.26'' e W 35° 44' 34.66'' x e altitude de 502 m), Área II (S 6° 53' 54.52'' e W 35° 44' 37.24'' x e altitude de 502 m), possuindo um clima tropical úmido tendo em média temperaturas anuais em torno de 22° C com uma e pluviosidade anual com seca de 1600 mm (Artigas, Souza, Lima, 2022). Os solos do município de Areia – PB são predominantemente classificados como Latossolo Amarelo e Distrófico Típico, apresentando textura franco-argilo-arenosa (Santos 2018).

Foram conduzidos, simultaneamente, dois experimentos, diferidos apenas na localização. O delineamento experimental, para ambos os experimentos, foi em blocos ao acaso (DBC) com 6 tratamentos (0, 50, 100, 150, 200 e 250kg ha⁻¹) e 4 repetições.

As parcelas experimentais foram constituídas por quatro fileiras simples, medindo 2,4 m de largura por 5,0 m de comprimento, totalizando 12 m² cada. Entre os tratamentos foi mantido um espaçamento de 0,50 m. Ao todo, foram avaliados seis tratamentos, devidamente delimitados para a condução do experimento, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3. Distribuição dos tratamentos de acordo com a instalação em campo e as doses aplicadas T1 – Testemunha; T2 – Sulfato de amônio (50kg ha⁻¹); T3 – Sulfato de amônio (100kg ha⁻¹); T4 – Sulfato de amônio (150kg ha⁻¹); T5 – Sulfato de amônio (200kg ha⁻¹); T6 – Sulfato de amônio (250kg ha⁻¹).



Fonte: Próprio autor (2025).

Para o experimento, os tratamentos testados foram doses de sulfato de amônio em diferentes doses para avaliar o crescimento vegetativo do milho, tendo início na fase (V3-V4 e V7-V8) como está sendo representado na Tabela 1 com as doses divididas em duas parcelas. A variedade utilizada foi milho P4285VYHR da Pioneer e o herbicida utilizado para o controle das plantas daninhas foi o Glifosato (1,5 mL para 200 L de água aplicada), cuja aplicação foi feita de forma mecanizada no final da tarde após 30 dias da semeadura com plantas estando no estágio fenológico de V5.

Tabela 1. Doses de sulfato de amônio.

Tratamentos	Doses	Aplicação (V3 - V4)	Aplicação V7 - V8)
1	0	0	0
2	50 kg ha ⁻¹	75 g linha ⁻¹	75 g linha ⁻¹
3	100 kg ha ⁻¹	150 g linha ⁻¹	150 g linha ⁻¹
4	150 kg ha ⁻¹	225 g linha ⁻¹	225 g linha ⁻¹
5	200 kg ha ⁻¹	300 g linha ⁻¹	300 g linha ⁻¹
6	250 kg ha ⁻¹	375 g linha ⁻¹	375 g linha ⁻¹

Fonte: Autor, 2025.

Pela crescente presença de Lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) em ambas as áreas do milharal, foi necessário a aplicação de inseticidas, sendo a aplicação feita de forma mecanizada no horário de final de tarde aos 39 DAS contendo em sua composição S-methyl N-(methylcarbamoxy) thioacetimide (METOMIL). O produto, de classificação toxicológica categoria 2, foi utilizado na concentração de 300 mL para um tambor de 600 litros. Já o *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*, linhagem HD-1, classificado como produto microbiológico, também foi aplicado na mesma proporção de 300 mL para um tambor de 600 litros.

Antes de instalar e no final do experimento, foram coletadas amostras de solo (0 – 0,20 cm) de cada tratamento, utilizando um trado do tipo sonda. A amostra obtida foi submetida a análise de macronutrientes, considerando o Nitrogênio (N) como nutriente principal a ser avaliado.

Com base nos resultados da análise química do solo das áreas experimentais conforme ilustrado na Tabela 1, foi realizada a recomendação de adubação visando suprir as exigências nutricionais da cultura. Considerando os teores disponíveis de fósforo (P), potássio (K^+) e a necessidade de suplementação de nitrogênio (N), definiu-se a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de P, 50 kg ha⁻¹ de K^+ e 120 kg ha⁻¹ de N. Essa recomendação buscou corrigir as deficiências identificadas na fertilidade do solo e assegurar condições adequadas para o desenvolvimento e rendimento das plantas.

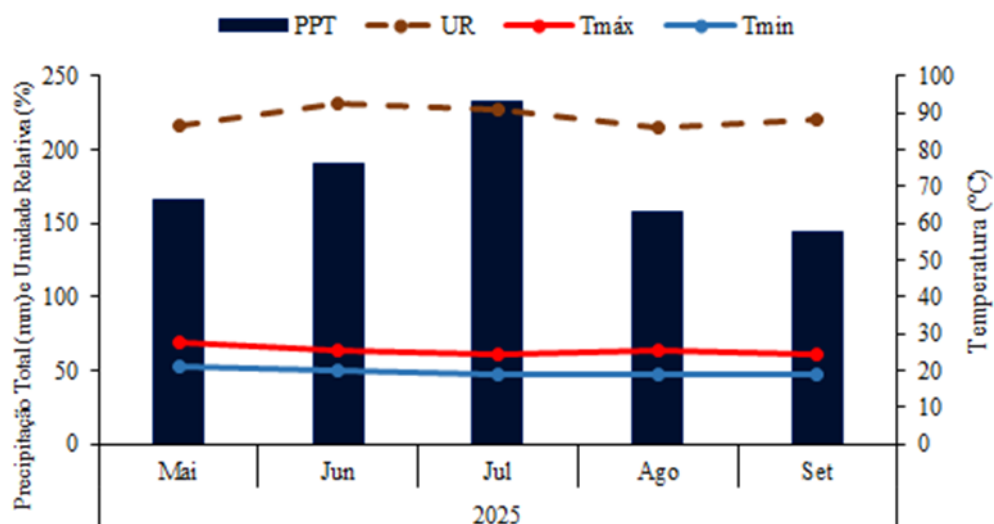
Tabela 2. As atribuições químicas do solo da fazenda Guaribas, Areia, Paraíba.

Área 1																
pH	N	P	K ⁺	Na	Mo	Zn	Fe	Mn	Cu		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	M.O	
H ₂ O	mg dm ⁻³											cmolc dm ⁻³				g kg ⁻¹
7,8	-	11,2	114	0,14	0,3	0,97	55,5	2,21	0,14		3,62	1,52	0	0,26	3,86	
Área 2																
pH	N	P	K ⁺	Na	Mo	Zn	Fe	Mn	Cu		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	M.O	
H ₂ O	mg dm ⁻³											cmolc dm ⁻³				g kg ⁻¹
4,6	-	4,77	36	0,12	0	0,98	118	7,19	0,18		0,52	0,35	1,15	3,46	1,32	

Fonte: Laboratório de Análise de Solo FERT SOLLUS, Rio Tinto, Paraíba, 2025.

Durante o período de maio a setembro de 2025, em Areia-PB, observou-se um acumulado com concentração máxima em julho, caracterizando o ápice da estação chuvosa. As temperaturas médias apresentaram baixa amplitude térmica, em torno de 24 °C, evidenciando estabilidade térmica ao longo do período. A umidade relativa manteve-se elevada, com valores próximos a 85%, em consonância com o regime pluviométrico predominante (Figura 4).

Figura 4. Climograma do município de Areia - PB referente ao período compreendido durante a condução do experimento



Fonte: INMET, 2025.

3.2 VARIÁVEIS ANALISADAS

As avaliações biométricas aconteceram em 30 e 45 dias após semeadura (DAS), dias após o estágio V5 e a aplicação das doses de nitrogênio, permitindo o acompanhamento do desenvolvimento das plantas ao longo do ciclo. Para isso, cinco plantas foram previamente demarcadas em cada tratamento, localizadas nas duas linhas centrais, sendo utilizadas em todas as medições, as quais foram realizadas a 30 e 45 dias.

3.2.1 Análises biométricas e morfológicas

Altura da planta (AP): As medições foram realizadas com o auxílio de uma trena graduada em centímetros e os valores obtidos foram utilizados para calcular a média da altura das plantas (Sandini *et al.*, 2024).

Comprimento das folhas (CF): As medições foram realizadas com o auxílio de uma trena, e os valores obtidos servirão para o cálculo da média do comprimento foliar (Sandini *et al.*, 2024).

Diâmetro do colmo (DC): A medição foi feita utilizando um paquímetro digital do modelo MTX 6 POL graduado em milímetros, sendo a medição padronizada na base do colmo valores obtidos foram usados para calcular a média do DC (Magalhães *et al.*, 2022).

Largura de folha (LF): As medições foram realizadas com o auxílio de uma trena graduada em centímetros e os valores obtidos foram utilizados para o cálculo da média da largura foliar (Sandini *et al.*, 2024).

Número de folhas (NF): Foi realizado a contagem direta de todas as folhas desenvolvidas presente nas plantas selecionadas. Os dados obtidos servirão para calcular a média do número de folhas por planta ao longo do tempo (Silva *et al.*, 2020).

3.2.2 Análises fisiológicas

Clorofila total (A+B): A avaliação da clorofila total foi realizada aos 30 e 45 dias após a semeadura, em cinco plantas previamente demarcadas. As medições foram realizadas com o equipamento ClorofiLOG CFL 1030 (FALKER Automação Agrícola), que determina os teores de clorofila A e B presentes nas folhas 3 +(Noor *et al.* 2023).

3.2.3 Análise de diagnose nutricional

Diagnose foliar – Aos 200 dias após a semeadura (DAS), foram coletadas quatro amostras na área útil de cada parcela. A coleta foi realizada no início do florescimento feminino, momento em que os estigmas se tornam visíveis. A folha amostrada correspondeu aquela situada logo abaixo da espiga principal, geralmente entre o 6º e o 9º nó visível do colmo, sendo coletados cerca de 20 cm da parte média da folha, descartando a nervura central (Sebim, 2025), após a coleta, foi preparada uma amostra composta das quatro repetições, que foi encaminhada ao Laboratório de Análise de Tecido de Plantas localizado na cidade de Areia - PB para analisar os macronutrientes. Na Figura 5 observa-se um esquema ilustrativo de como procedeu-se a coleta da folha.

Figura 5. Processamento de amostras foliares para análise química.



Fonte: Sebim, 2025.

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise conjunta dos dois experimentos, com análise de variância pelo teste F. As doses de N foram ajustadas a modelos de regressão polinomial até o 2º grau, admitindo-se coeficiente de determinação (R^2) superior a 70%. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software R, versão 4.2.0 (R CORE TEAM, 2025).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo evidenciaram que a adubação com sulfato de amônio $[(NH_4)_2SO_4]$, exerceu influência significativa sobre o desenvolvimento vegetativo, o estado nutricional e os componentes de rendimento da cultura do milho (*Zea mays* L.). A análise, conduzida em duas áreas experimentais distintas (Área 1 e Área 2), permitiu identificar respostas diferenciadas da cultura em função das doses e épocas de aplicação do fertilizante, destacando a interação entre a nutrição nitrogenada, as condições edafoclimáticas e o manejo adotado. Observou-se que as doses crescentes de sulfato de amônio favoreceram o crescimento vegetativo. (Tabela 3).

Tabela 3. Teor de nitrogênio foliar (N) das plantas de milho cultivadas nas Áreas 1 (A) e 2 (B), em diferentes doses de sulfato de amônio.

Tratamentos	Área 1	Área 2
	----- N (g kg ⁻¹) -----	-----
T1 - Testemunha	36,09	35,91
T2 - 50 kg ha ⁻¹	35,25	38,90
T3 - 100 kg ha ⁻¹	37,91	42,07
T4 - 150 kg ha ⁻¹	42,56	42,40
T5 - 200 kg ha ⁻¹	40,90	40,23
T6 - 250 kg ha ⁻¹	41,56	39,24

Fonte: Autor, 2025.

A avaliação do teor de nitrogênio (N) foliar é um indicador direto do estado nutricional da planta. Os resultados para o parâmetro da Tabela 3, na Área 1 a dose mais baixa (T2) não foi suficiente para superar a testemunha, demonstrando uma maior demanda inicial ou perdas no sistema solo planta. O teor de N foliar atingir seu ápice apenas na dose de 150 kg ha⁻¹ (T4 - 42,56 g kg⁻¹), se mantendo alto mesmo na dose de 250 kg ha⁻¹ (T6 - 41,56 g kg⁻¹). Na Área 1 (pH 7,8), o solo exigiu maiores doses devido à menor CTC e ao efeito acidificante do sulfato de amônio, que aproximou o pH da faixa ideal e favoreceu a nutrição. Já na Área 2 (pH 4,6), o fertilizante intensificou a acidez, reduzindo a absorção de N e nutrientes, o que limitou a resposta em doses mais altas (Powlson & Dawson, 2022). Esse resultado também demonstra que a Área 1 possuía uma capacidade de suprimento natural de N inferior ou características do solo (menor CTC ou maior taxa de nitrificação) que demandaram uma dose maior do fertilizante para que a planta expressasse seu pleno potencial nutricional.

Na Área 2, a resposta à adubação foi mais imediata e eficiente. A dose de 50 kg ha⁻¹ (T2) foi suficiente para elevar o teor de N foliar em comparação à testemunha (de 35,91 para 38,90 g kg⁻¹). O maior resultado ocorreu na dose de 150 kg ha⁻¹, onde a resposta foi de 42,40 g kg⁻¹, mantendo-se estável na dose de 150 kg ha⁻¹ (T4) e declinando nas doses superiores (T5 e T6). Este comportamento permitiram uma rápida disponibilização e absorção do N, atingindo rapidamente a saturação e subsequentemente sofrendo com os efeitos negativos do excesso (lei dos rendimentos decrescentes) (Eckstein *et al.*, 2022).

Esta divergência evidencia que a dose ótima ambientalmente recomendável pode variar mesmo em locais geograficamente próximos, reforçando a indispensabilidade da análise de solo e de recomendações de adubação calibradas localmente (Meneghini *et al.*, 2020; Powlson & Dawson, 2022).

A identificação desta dose ótima é um dos objetivos centrais do trabalho. Este achado está em total consonância com a literatura, que destaca o N como o nutriente mais crucial para o desenvolvimento vegetativo, síntese de proteínas, clorofila e, consequentemente, para o potencial produtivo do milho (Motasim *et al.*, 2024; Meneghini *et al.*, 2020).

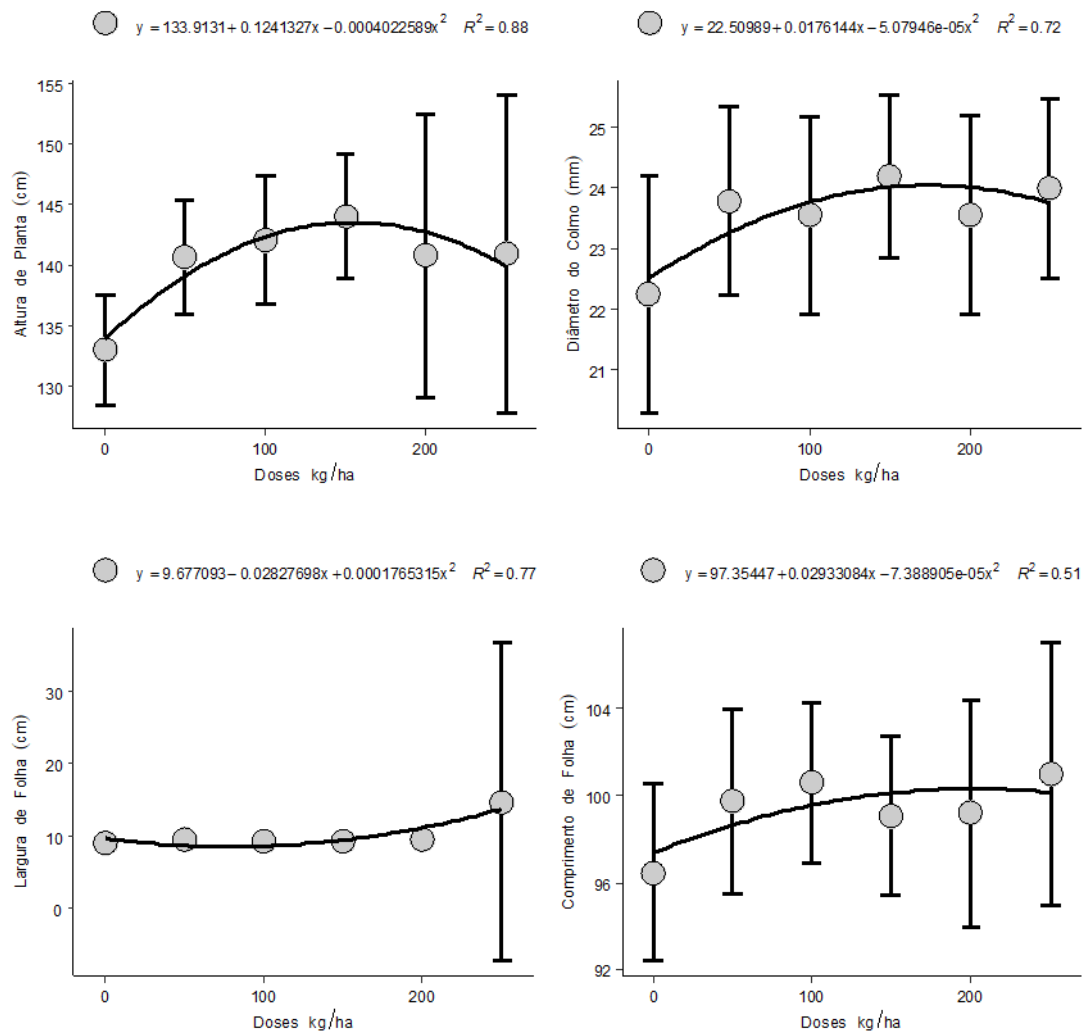
Na Área 1 (Figura 6, observou-se que a altura de planta (AP) e o diâmetro de colmo (DC) ajustaram-se a modelos quadráticos de regressão ($p < 0,01$ e $p < 0,05$, respectivamente), indicando que o aumento das doses de sulfato de amônio promoveu incremento até um ponto máximo, seguido de estabilização ou leve decréscimo. Esse comportamento revela que o fornecimento de nitrogênio até a dose de $154,29 \text{ kg ha}^{-1}$ proporcionou as melhores respostas em crescimento, sendo este o ponto de máxima eficiência fisiológica da cultura uma altura máxima estimada de 143,49 cm.

O aumento da altura das plantas está diretamente relacionado à maior disponibilidade de nitrogênio no solo, elemento essencial para a síntese de aminoácidos, proteínas e clorofila, o que favorece o metabolismo e o alongamento celular (Cassim *et al.*, 2022; Gheith *et al.*, 2022). Da mesma forma, o incremento no diâmetro de colmo com doses a partir de $173,39 \text{ kg de N ha}^{-1}$ reflete a melhora no acúmulo de reservas estruturais, conferindo maior resistência mecânica e melhor sustentação o crescimento do colmo com um diâmetro máxima estimada de 22,51 cm.

As variáveis largura de folha (LF) e comprimento de folha (CF) não apresentaram diferenças significativas entre as doses aplicadas, sugerindo que essas características possuem menor sensibilidade à variação de nitrogênio, sendo mais influenciadas por fatores genéticos do híbrido e pelas condições ambientais durante o ciclo da cultura (Li *et al.*, 2022a). Apesar disso, a manutenção desses parâmetros dentro de faixas fisiológicas adequadas demonstra que as plantas não apresentaram restrições nutricionais que comprometessem seu desenvolvimento vegetativo.

Esses resultados indicam que a aplicação de $154,29 \text{ kg ha}^{-1}$ de sulfato de amônio foi suficiente para promover crescimento equilibrado e vigoroso das plantas, não havendo benefícios adicionais com o aumento das doses, o que reforça a importância do uso racional do nitrogênio para garantir eficiência e sustentabilidade no manejo da adubação.

Figura 6. Área 1 em diferentes doses de sulfato de amônio Altura de Planta (AP) – Ajuste ao modelo quadrático de regressão ($p < 0.01$); Diâmetro de colmo (DC)– Ajuste ao modelo quadrático de regressão ($p < 0.05$); Largura de Folha (LF) – Não significativo; Comprimento de Folha (CF) - Não significativo.



Fonte: Próprio autor (2025).

As variáveis (Figura 7) número de folhas (NF), clorofila A (CA) e clorofila B (CB) apresentaram comportamentos distintos na Área 1. O número de folhas (NF) não apresentou diferença significativa entre as doses de sulfato de amônio, indicando que esse parâmetro é fortemente condicionado por fatores genéticos do híbrido utilizado, sendo pouco afetado pela variação no suprimento de nitrogênio (Li et al., 2022a).

Por outro lado, a clorofila A (CA) ajustou-se ao modelo quadrático de regressão ($p < 0,05$), evidenciando aumento com doses a partir de 61,82 kg de N ha⁻¹, o incremento das

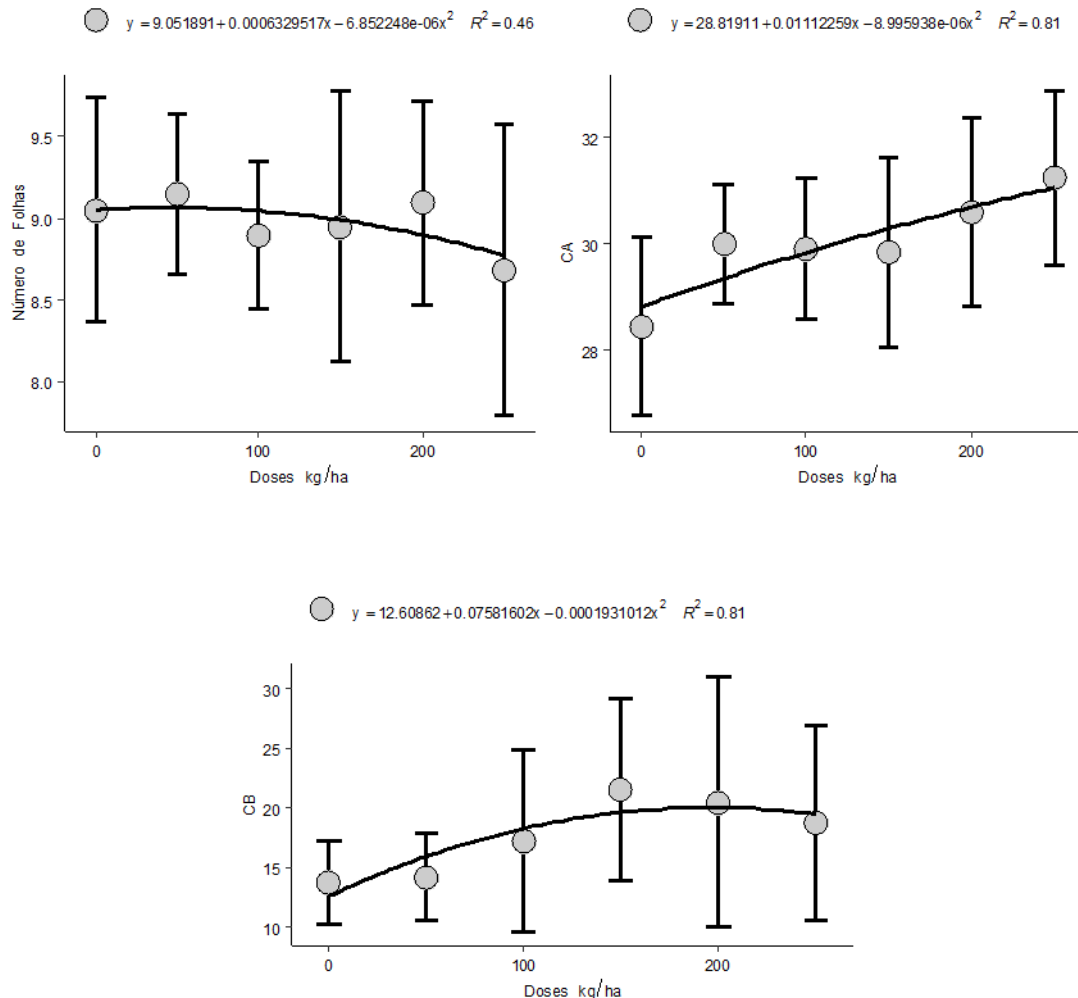
doses de nitrogênio, com a clorofila A estimada de 28,82. Esse comportamento demonstra que a disponibilidade crescente de N estimulou a síntese de pigmentos fotossintéticos, resultando em maior eficiência no processo de captação de energia luminosa.

Já a clorofila B (CB) apresentou ajuste quadrático ($p < 0,05$), com valores máximos próximos à dose de 196,31 kg de N ha⁻¹, indicando que o excesso de nitrogênio pode ter reduzido a taxa de conversão enzimática ou alterado o equilíbrio entre os pigmentos com a clorofila B estimada de 20,10. Esse ponto ótimo reflete o limite de absorção e aproveitamento do nutriente pela planta, antes que ocorram perdas por volatilização ou lixiviação. O ajuste quadrático demonstra que houve uma dose ótima de N para o máximo acúmulo de biomassa, sendo este resultado fundamental para a predição da produtividade final (Volz, 2022).

De modo geral, a resposta positiva da clorofila A e B evidencia que o nitrogênio proveniente do sulfato de amônio favoreceu a síntese de clorofila, aumentando a capacidade fotossintética e o desempenho fisiológico das plantas. Esses resultados estão em concordância com estudos de Powlson & Dawson (2022) e Motasim et al. (2024), que destacam o papel do nitrogênio na manutenção da atividade metabólica e na eficiência fotossintética de gramíneas.

Reforçando os resultados obtidos por Gheith *et al.* (2022), observa-se que doses mais elevadas de nitrogênio proporcionaram melhor desenvolvimento das plantas. Um colmo mais espesso confere maior resistência ao acamamento, de acordo com Fathi (2022), folhas mais desenvolvidas potencializam a área fotossintética e elevam os teores de clorofila. Esse desenvolvimento morfológico superior na Área 1 está provavelmente associado a uma maior eficiência no uso do nitrogênio aplicado, resultando em maior acúmulo de matéria seca e melhor estrutura vegetativa (Magalhães *et al.*, 2022). O número de folhas (NF) não apresentou variações drásticas em ambas as áreas, o que era esperado, segundo Li *et al.* (2022a), trata-se de uma característica fortemente condicionada por fatores genéticos; contudo, a adubação atuou como fator determinante para a manifestação integral e o desenvolvimento no crescimento das plantas.

Figura 7. Área 1 em diferentes doses de sulfato de amônio Número de Folhas (NF) - Não significativo; Clorofila A (CA) – Ajuste ao modelo linear de regressão ($p < 0.05$); Clorofila B (CB) – Ajuste ao modelo quadrático de regressão ($p < 0.05$).



Fonte: Próprio autor (2025).

Os resultados em conjunto (AP, DC e CB com ajuste quadrático) confirmam a importância da aplicação de Nitrogênio via Sulfato de Amônio para o crescimento vegetativo do milho na região estudada. O ajuste quadrático, que apresenta um ponto de máximo, é vital para o planejamento econômico do produtor, pois permite determinar a dose de N que maximiza o crescimento sem desperdício de insumos ou risco de toxidez.

A superioridade do Sulfato de Amônio no fornecimento simultâneo de Nitrogênio (N) e Enxofre (S), um nutriente crucial para a formação de proteínas e enzimas fotossintéticas, pode ter contribuído para os aumentos observados no crescimento. A inclusão do S é uma vantagem dessa fonte em relação à Ureia (Brodowska *et al.*, 2024).

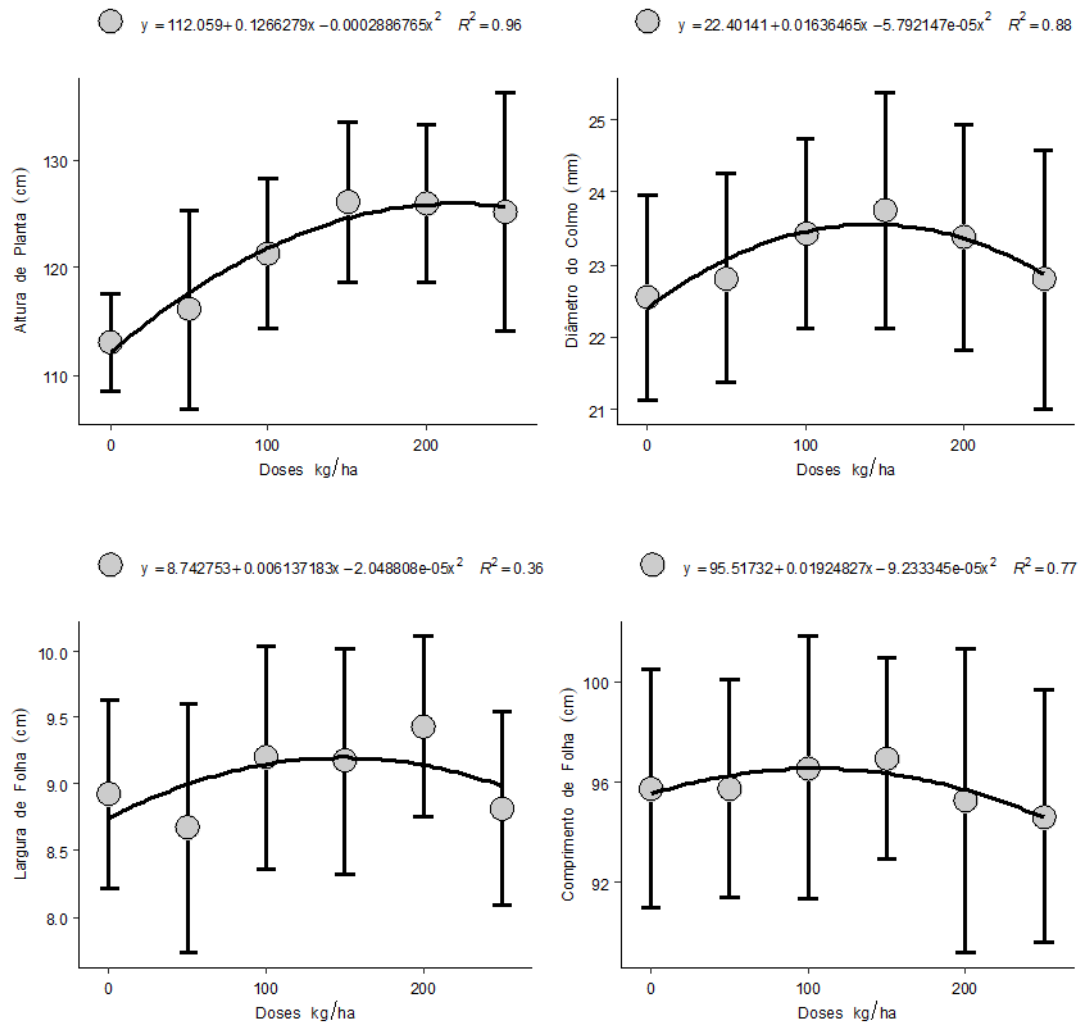
Na Área 2, (Figura 8) as variáveis altura de planta (AP), diâmetro de colmo (DC) e largura de folha (LF) apresentaram ajuste quadrático ao modelo de regressão ($p < 0,05$), enquanto o comprimento de folha (CF) não apresentou diferença significativa entre as doses aplicadas. O comportamento quadrático indica que o aumento das doses de sulfato de amônio promoveu incremento progressivo no crescimento vegetativo até um ponto máximo, seguido de estabilização.

A altura de planta apresentou elevação expressiva até a dose de 219,32 kg de N ha⁻¹, estabilizando em doses superiores altura máxima estimada de 125,95 cm. Esse comportamento demonstra que a adubação nitrogenada influenciou diretamente o crescimento, favorecendo a alongação célula e o acúmulo de biomassa, conforme relatado por Motasim et al. (2024). O diâmetro de colmo também aumentou com o incremento das doses, indicando que doses aparte de 141,27 kg de N ha⁻¹ que o nitrogênio contribuiu para a formação de colmos mais robustos, o que está associado à maior resistência ao acamamento com diâmetros máxima estimada de 22,40 mm.

A largura foliar (LF) apresentou resposta semelhante, com crescimento até a dose 149,77 kg de N ha⁻¹ e obteve tendência à estabilização nas doses mais elevadas com a largura de folha máxima de 8,74. Já o comprimento de folha (CF) Não apresentou diferença significativa manteve-se constante, sugerindo que essa característica possui menor sensibilidade à variação de nitrogênio e é fortemente condicionada pelo genótipo (Li et al., 2022a).

De forma geral, os resultados evidenciam que o nitrogênio aplicado via sulfato de amônio exerceu papel essencial na formação estrutural das plantas, promovendo maior desenvolvimento vegetativo e vigor.

Figura 8. Área 2 em diferentes doses de sulfato de amônio Altura de Planta (AP) – Ajuste ao modelo quadrático de regressão ($p < 0.05$); Diâmetro de Colmo (DC)– Ajuste ao modelo quadrático de regressão ($p < 0.05$); Largura de Folha (LF) – Ajuste ao modelo quadrático de regressão ($p < 0.05$); Comprimento de Folha (CF) - Não significativo.



Fonte: Próprio autor (2025).

De acordo com Gheith *et al.* (2022), a aplicação de diferentes doses de nitrogênio em diferentes fases vegetativas mostrou-se bastante eficiente, influenciando diretamente a altura de plantas (AP). As áreas 1 e área 2 evidenciam que, de modo geral, em ambas as áreas todas as plantas apresentaram crescimento superior em relação à testemunha. Entretanto, destaca-se que as plantas da Área 1 alcançaram alturas maiores em comparação com as da Área 2 para a maioria dos tratamentos e épocas de avaliação.

Isso está alinhado com os maiores teores de N foliar inicialmente encontrados na Área 1, que promoveram um crescimento vegetativo mais vigoroso desde os estádios iniciais, uma

vez que o N é componente fundamental para a divisão e alongação celular (Motasim *et al.*, 2024).

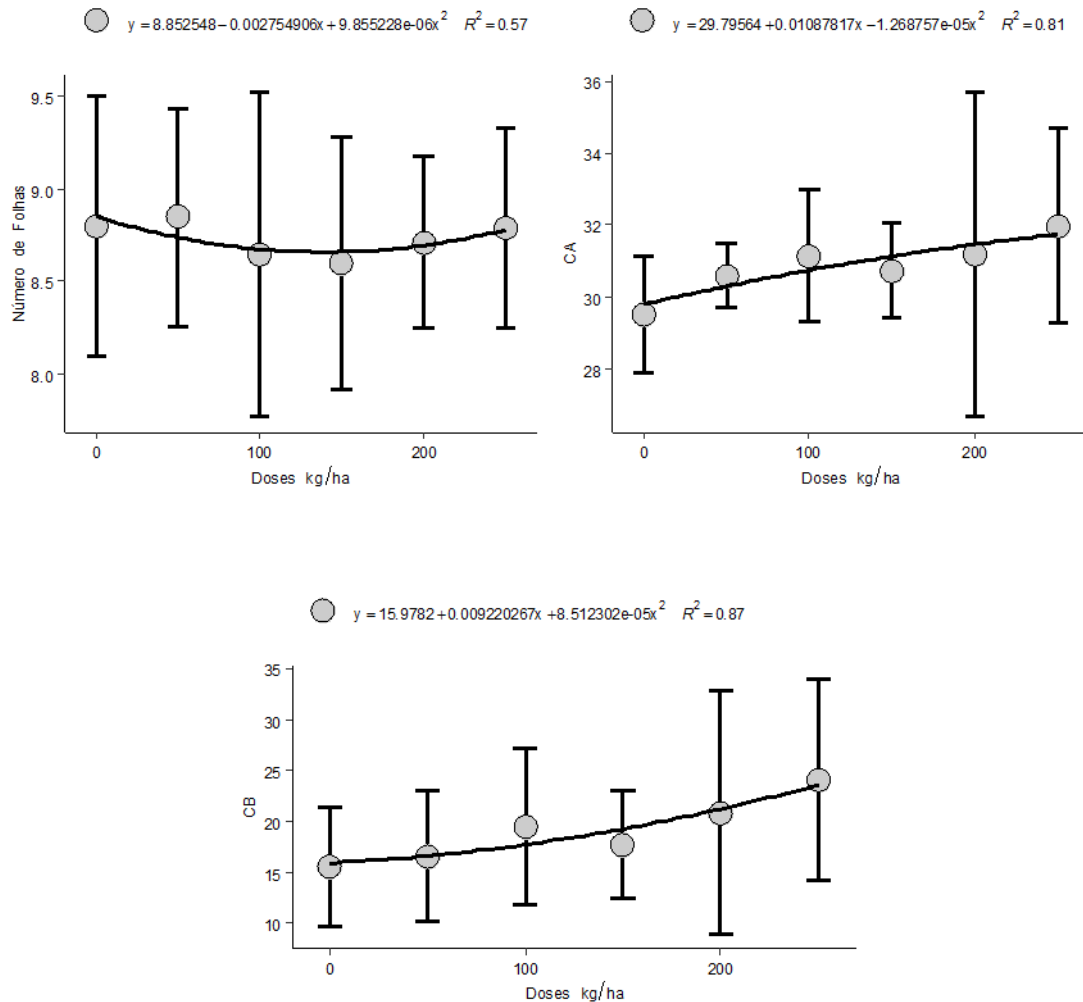
As variáveis (Figura 9) número de folhas (NF), clorofila A (CA) e clorofila B (CB) apresentaram comportamentos distintos. O NF não apresentou diferenças significativas entre as doses de sulfato de amônio, indicando que esse parâmetro é predominantemente determinado por fatores genéticos do híbrido utilizado, conforme relatado por (Li *et al.* 2022a).

Por outro lado, os teores de clorofila A (CA) 42,90 kg de N ha⁻¹ com valores de 29,80 e clorofila B (CB) 54,16 kg de N ha⁻¹ com valores de 10,31 apresentaram ($p < 0,01$), demonstrando que o aumento das doses de nitrogênio promoveu elevação contínua na concentração desses pigmentos. Essa tendência revela que o nitrogênio disponível na forma amoniacal foi eficientemente assimilado, estimulando a síntese de clorofila e ampliando a capacidade fotossintética das plantas (Powlson & Dawson, 2022).

O aumento linear dos teores de clorofila está diretamente relacionado à maior atividade fisiológica e eficiência metabólica das plantas submetidas às doses mais elevadas, resultando em maior produção de fotoassimilados e, conseqüentemente, melhor desenvolvimento vegetativo (Gheith *et al.* 2022). Esses resultados reforçam que o sulfato de amônio é uma fonte eficiente de nitrogênio, capaz de favorecer a nutrição e o desempenho fisiológico do milho, especialmente quando aplicado de forma parcelada nos estádios V3–V4 e V7–V8 (Powlson & Dawson, 2022; Li *et al.*, 2022b).

Assim, verifica-se que as condições da Área 2 na clorofila B tiveram um maior aproveitamento do nitrogênio e aumento expressivo dos teores de clorofila, o que contribuiu para o vigor e eficiência fotossintética das plantas, refletindo diretamente em seu potencial produtivo.

Figura 9. Área 2 em diferentes doses de sulfato de amônio Número de Folha (NF) - Não significativo; Clorofila A (CA) – Ajuste ao modelo linear de regressão ($p < 0.01$); Clorofila B (CB) – Ajuste ao modelo linear de regressão ($p < 0.01$).



Fonte: Próprio autor (2025).

Clorofila b é importante para o milho porque amplia a captação de luz, transferindo energia para a clorofila A e aumentando a eficiência fotossintética. Ela ajuda a planta a se adaptar a diferentes condições de luminosidade e contribui para maior crescimento e produtividade (Mulyawan, Saidy, Zulhidiani, 2020). Além disso, serve como indicador do estado nutricional e fisiológico da cultura.

De acordo com Noor *et al.* (2023) os fertilizantes nitrogenados atuam na características fotossintéticas como e demonstrados nos teores de clorofila B foram consistentemente mais elevados na Área 2 na maioria dos tratamentos e épocas de avaliação, mas em ambas as áreas teve aumento significativo nas doses envolvidas mostrando que adubação favoreceu não só o

crescimento quantitativo, mas as plantas obtiveram bom resultado em todos os aspectos e na qualidade das plantas. Segundo estudos de Fornari *et al.* (2020) os adubos de fontes mineral tem um melhor desempenho em relação a outras fontes com orgânico e biológico tanto na clorofila A e B uma vez que a síntese de clorofila é diretamente dependente do N demonstrando que o sulfato de amônio é uma fonte eficiente, este resultado valida os dados de análise foliar as plantas com diferentes doses conseguiram absorver melhor o adubo e acabaram ficando em estado fisiológico superior em relação a testemunha, com maior capacidade para realizar fotossíntese e produzir fotoassimilados (Silva *et al.*, 2020). A maior eficiência fotossintética é um indicativo claro de que o potencial produtivo na Área 1 era superior.

Segundo Gheith *et al.* (2022), o parcelamento da adubação nitrogenada em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura mostrou-se mais eficiente, conforme evidenciado nos gráficos, especialmente quando aplicado de forma parcelada em diferentes estádios (V3–V4) e (V7–V8) foram as épocas de aplicação do experimento. A primeira aplicação (V3-V4) coincide com início do período de maior necessidade por N (cerca de 21% de N na forma amoniacal - NH_4^+), auxiliando no estabelecimento e no desenvolvimento vegetativo inicial da planta (Eckstein *et al.*, 2022). A segunda aplicação (V7-V8) é crucial, pois antecede o pendoamento (R1), que é o estágio de máxima exigência nutricional da cultura. Este manejo parcelado é mais eficiente do que uma aplicação única, pois reduz as perdas por lixiviação e volatilização e sincroniza a disponibilidade do nutriente com a demanda da planta (Cassim *et al.*, 2022; Powlson & Dawson, 2022).

Portanto, este trabalho evidencia que o manejo ideal do sulfato de amônio não se pauta apenas pela dose, mas pela interação crítica entre dose, época de aplicação e as propriedades físico-químicas específicas de cada ambiente produtivo, reforçando a indispensabilidade da análise de solo como ferramenta basilar para uma agricultura sustentável e economicamente eficiente.

5 CONCLUSÃO

A resposta do crescimento vegetativo do milho à adubação com sulfato de amônio variou significativamente entre as duas áreas experimentais devido às suas distintas características edáficas. Na Área 1, com solo de pH 7,8, a dose ótima de nitrogênio para a altura das plantas foi de 154,29 kg ha⁻¹ de N, resultando em uma altura máxima de 143,49 cm, enquanto o diâmetro do colmo atingiu 22,51 mm com 173,39 kg ha⁻¹ de N. O teor de nitrogênio foliar máximo foi de 42,56 g kg⁻¹ de N na dose de 150 kg ha⁻¹. Na Área 2, com solo mais ácido (pH 4,6), a dose de 150 kg ha⁻¹ de N mostrou-se a mais eficiente, resultando no maior teor de nitrogênio foliar (42,40 g kg⁻¹ de N), com a altura da planta alcançando 125,95 cm com 219,32 kg ha⁻¹ de N. Variáveis como número de folhas e dimensões foliares não foram significativamente influenciadas pelo nitrogênio, indicando maior controle genético. A definição da dose ideal deve, portanto, considerar as propriedades específicas de cada solo, reforçando a análise edáfica como ferramenta fundamental para um manejo nitrogenado eficiente e sustentável.

REFERÊNCIAS

- ARTIGAS, R. C.; DE SOUZA, B. I.; DE LIMA, R. P. Climatic changes and distribution of plant formations in the state of Paraíba, Brazil. **Cuadernos de Investigación Geográfica**, v. 48, n. 1, p. 157-174, 2022.
- BAWEJA, P.; KUMAR, S.; KUMAR, G. Fertilizers and pesticides: Their impact on soil health and environment. **Soil health**, p. 265-285, 2020.
- BIGOLIN, T.; TALAMINI, E. Impacts of climate change scenarios on the corn and soybean double-cropping system in Brazil. **Climate**, v. 12, n. 3, p. 42, 2024.
- BRODOWSKA, M. S.; WYSZKOWSKI, M.; KARSZNIA, M. Application of urea and ammonium nitrate solution with potassium thiosulfate as a factor determining macroelement contents in plants. **Agronomy**, v. 14, n. 6, p. 1097, 2024.
- CASSIM, B. M. A. R. et al. Nitrogen fertilizers technologies for corn in two yield environments in South Brazil. **Plants**, v. 11, n. 14, p. 1890, 2022.
- CASTEEL, S. N.; CHIEN, S. H.; GEARHART, M. M. Field evaluation of ammonium sulfate versus two fertilizer products containing ammonium sulfate and elemental sulfur on soybeans. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 50, n. 22, p. 2941-2947, 2019.
- CHAGAS K., A. et al. CORN CULTURE: FROM THE FIRST RECORDS TO HARVESTING AND STORAGE. In: **Colloquium Agrariae**. 2024.
- COÊLHO, J. D. **Agricultura: Milho Produção e Mercado**. 2023.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **O Brasil deve produzir 299,27 milhões de toneladas de grãos na safra 2023/2024**. 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5615-brasil-deve-produzir-299-27-milhoes-de-toneladas-de-graos-na-safra-2023-2024> . Acesso em: 21 fev. 2025.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Safra de grãos está estimada em 332,9 milhões de toneladas influenciada por boa produção de soja, milho e arroz**. Gov.br, 15 maio 2025.
- ECKSTEIN, A. M. et al. **Desempenho agrônômico do trigo submetido a doses de regulador de crescimento e adubação nitrogenada**. 2022.
- EMBRAPA Milho e Sorgo. Características da planta. In: Características da espécie e relações com o ambiente. Milho. Agência de Informação Tecnológica. **Portal Embrapa**, 8 de dezembro de 2021.
- ERENSTEIN, O. et al. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. **Food security**, v. 14, n. 5, p. 1295-1319, 2022.

FATHI, A. El rol del nitrógeno (N) en el crecimiento de las plantas, pigmentos de fotosíntesis y eficiencia del empleo del nitrógeno. Artículo de revisión. **Agrisost**, v. 28, p. 1-8, 2022.

FORNARI, E. Z. et al. Relationship between photosynthetic pigments and corn production under nitrogen sources. **Pesquisa agropecuária tropical**, v. 50, p. e63661, 2020.

GERMANI, R. **Produtos intermediários**. Brasília, DF: Embrapa, 2021.

GHEITH, E. M. S. et al. Maize (*Zea mays* L.) productivity and nitrogen use efficiency in response to nitrogen application levels and time. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 941343, 2022.

HANCOCK, J. F. Dispersal of new world crops into the old world. In: **World Agriculture before and after 1492: Legacy of the Columbian Exchange**. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 111-133.

HUANG, Y. et al. THP9 enhances seed protein content and nitrogen-use efficiency in maize. **Nature**, v. 612, n. 7939, p. 292-300, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Produção de milho em grão no Brasil. **Produção Agropecuária (Portal Explica)**, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/milho-em-grao/br>. Acesso em: 01 outubro. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativa de maio aponta safra recorde de 332,6 milhões de toneladas em 2025, alta de 13,6%. **Agência de Notícias IBGE**, 12 jun. 2025.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Informações sobre as condições climáticas em Areia-PB**. 2025.

KOVAR, J. L. Resposta do milho à fertilização com enxofre em três solos de Iowa. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 52, n. 8, p. 905-915, 2021.

KRASILNIKOV, P.; TABOADA, M. A; AMANULLAH. Fertilizer use, soil health and agricultural sustainability. **Agriculture**, v. 12, n. 4, p. 462, 2022.

LACK, H. W. The great synthesis: Willdenow's *Species plantarum* (1797–1810) and his herbarium. **Archives of Natural History**, v. 52, n. 1, p. 185-205, 2025.

LI, D. et al. Corn nitrogen nutrition index prediction improved by integrating genetic, environmental, and management factors with active canopy sensing using machine learning. **Remote Sensing**, v. 14, n. 2, p. 394, 2022a.

LI, T. et al. Ammonia volatilization mitigation in crop farming: A review of fertilizer amendment technologies and mechanisms. **Chemosphere**, v. 303, p. 134944, 2022b.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Ecofisiologia do milho. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2022. 10 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/748755/1/Milho-Ecofisiologia.pdf>. Acesso em: 20 maio 2025.

MARANGOZ, M.; HOSAFLIOĞLU, İ. The Effects of Different Nitrogenous Fertilizer Sources and Doses on Football Field Grass Performances. **Black Sea Journal of Engineering and Science**, v. 7, n. 2, p. 365-373, 2024.

MENEGHINI, L. A. et al. Fontes e doses de adubação nitrogenada na cultura do milho segunda safra. **Revista cultivando o saber**, v. 13, n. 1, p. 1-8, 2020.

NOOR, H. et al. Effects of nitrogen fertilizer on photosynthetic characteristics and yield. **Agronomy**, v. 13, n. 6, p. 1550, 2023.

MOTASIM, A. Md et al. Urea application in soil: Processes, losses, and alternatives—A review. **Discover Agriculture**, v. 2, n. 1, p. 42, 2024.

MULYAWAN, R.; SAIDY, A. R.; ZULHIDIANI, R. Effects of some ameliorant on chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll on sweet corn growth with raised-bed soil materials. **Tropical Wetland Journal**, v. 6, n. 1, p. 01-04, 2020.

ODELL'S-WORLD. **Corn growth stages**. 2010. Disponível em: <https://odells.typepad.com/blog/corn-growth-stages.html>. Acesso em: 16 ago. 2025.

PAHALVI, H. N. et al. Chemical fertilizers and their impact on soil health. In: **Microbiota and biofertilizers, Vol 2: Ecofriendly tools for reclamation of degraded soil environs**. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 1-20..

POWLSON, D. S.; DAWSON, C. J. Use of ammonium sulphate as a sulphur fertilizer: Implications for ammonia volatilization. **Soil use and Management**, v. 38, n. 1, p. 622-634, 2022.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2025. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 13 de outubro de 2025.

SANTOS, H. G. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª ed., rev. e ampl. Brasília, DF: **Embrapa**, 2018. 356p.

SEBIM, J.P.M. Adubação do milho: Guia completo para máxima produtividade. 2025. **Blog Agroadvance**. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-adubacao-do-milho/>. Data de acesso: 23 set. 2025.

SHI, Q. et al. Column leaching of ion adsorption rare earth ore at low ammonium concentration. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 19, p. 2135-2145, 2022.

SILVA, F. D. S. et al. Predictive potential of maize yield in the mesoregions of northeast Brazil. **AgriEngineering**, v. 6, n. 2, p. 881-907, 2024.

SILVA JUNIOR, M. F. et al. Preferência alimentar de *Sitophilus zeamais* MOTS., 1855 (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) submetida a diferentes variedades de *Zea mays* L.(POACEAE). **Revista Ciência Agrícola**, v. 22, n. especial, p. 1-5, 2024.

SILVA, L. E. B. et al. Desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays* L.): revisão de literatura. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 3, p. 1636-1657, 2020.

SINGH, T. B. et al. Role of organic fertilizers in improving soil fertility. In: **Contaminants in agriculture: sources, impacts and management**. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 61-77.

VOLZ, A. W. **Produtividade da cultura do milho (*Zea mays*) em função de diferentes culturas antecessoras e fontes nitrogenadas**. 2022.

YAHAYA, S. M. et al. Recent advances in the chemistry of nitrogen, phosphorus and potassium as fertilizers in soil: A review. **Pedosphere**, v. 33, n. 3, p. 385-406, 2023.

ZHU, Q. et al. Improved corn phenology monitoring using translation and weighting of characteristic points from time-series vegetation index. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 234, p. 110297, 2025.