



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

GABRIELA MARIA DA SILVA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE MILHO CRIOLA SOB DIFERENTES
DOSES DE NITROGÊNIO**

SERRA TALHADA - PE

2024

GABRIELA MARIA DA SILVA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE MILHO CRIOLA SOB DIFERENTES
DOSES DE NITROGÊNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso de Bacharelado em Agronomia, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UASt), como requisito obrigatório para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Luiz de Mello Vieira
Leite

SERRA TALHADA - PE

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE Bibliotecário(a): Ana Catarina Macêdo – CRB-4 1781

S586d Silva, Gabriela Maria da.

Desempenho agrônômico de milho crioulo sob diferentes doses de nitrogênio / Gabriela Maria da Silva. – Serra Talhada, 2024.
68 f.; il.

Orientador(a): Maurício Luiz de Mello Vieira Leite.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica Serra Talhada - UAST, Bacharelado em Agronomia, Serra Talhada, BR-PE, 2024.

Inclui referências.

1. Silagem. 2. Produtividade agrícola . 3. Milho - Cultivo. 4. Solos - Teor de nitrogênio 5. Adubos e fertilizantes. I. Leite, Maurício Luiz de Mello Vieira, orient. II. Título

CDD 630

GABRIELA MARIA DA SILVA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE MILHO CRIOLA SOB DIFERENTES
DOSES DE NITROGÊNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso de Bacharelado em Agronomia, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UASt), como requisito obrigatório para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

DATA DE DEFESA: 03/10/2024

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Maurício Luiz de Mello Vieira Leite (1º Titular)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dra. Rosa Honorato de Almeida (Examinador interno)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dr. José Ralison Inácio Silva (Examinador externo)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

SERRA TALHADA, PE

2024

Dedico este trabalho à minha mãe, Lucineide,
que sob muito sol, me fez chegar até aqui, na
sombra e água fresca. Que teve seus sonhos
impedidos, mas criou forças para não haver
impedimentos aos meus.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão a Deus, minha fonte de força e inspiração durante toda a elaboração deste trabalho. Sua presença me ajudou a superar as dificuldades e a encontrar o caminho certo para alcançar meus objetivos.

À minha mãe, Lucineide Maria da Silva, por estar sempre ao meu lado e me apoiar nos momentos difíceis, a senhora foi a base e o alicerce de todas as minhas conquistas. Agradeço por todos os sacrifícios feitos em prol da minha educação e por sempre estar ao meu lado. Obrigada por tudo, mainha.

Ao meu pai Ozéas Aderval da Silva (*In memoriam*), que mesmo não estando mais entre nós, serviu como exemplo de força e coragem.

Aos meus irmãos Brenda Maria, Gabriel Ozéas e demais familiares, pelo incentivo e por sempre acreditarem em mim.

À instituição, Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST), que colaborou direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, fornecendo dados, informações e suporte técnico, meu muito obrigado.

Ao meu orientador, Maurício Luiz de Mello Vieira Leite, pela orientação dedicada, valiosos ensinamentos e paciência ao longo deste trabalho.

Aos professores do curso de agronomia, que contribuíram para minha formação acadêmica e profissional, transmitindo conhecimento e inspirando minha trajetória.

Ao meu grupo de estudos, GEFOR, que não só compartilhou conhecimento, mas também motivação e companheirismo.

A José Edson Moraes, pelo suporte adicional, pelas sugestões construtivas e por estar sempre disposto a me ajudar e compartilhar seus conhecimentos.

A Pedro Araújo e Raliuson Silva, por compartilhar seus conhecimentos de forma generosa e colaborativa.

Ao meu amor, Daniel Reis, por todo o apoio durante este trabalho, pelas palavras de incentivo, por acreditar na minha capacidade e pelo carinho e companheirismo constantes.

Agradeço aos colegas e amigos de curso, Guilherme, Naiane, Marta Laura, Raily, Nadyelly, Giovana, Issac, Henrique, Douglas, Lucas, Janiele, Geordan, Paloma e Pamela pela parceria, pelas discussões enriquecedoras e pelo apoio mútuo. A amizade e os momentos compartilhados tornaram essa jornada mais leve e gratificante.

À minha amiga Stéfanne Melo, que encontrei ao longo desta jornada, sou profundamente grata pela amizade inabalável e pelo apoio constante. Sua presença ao meu lado, tanto nas alegrias quanto nos momentos difíceis, e sua disposição para me escutar ao longo desses anos significaram mais do que palavras podem expressar.

A minha amiga, Isla Mikaelly, que se mostrou presente em toda a elaboração deste trabalho, sempre me apoiando e incentivando a não desistir, sua ajuda e amizade são de extrema importância para mim.

A minha amiga, Poliana Cachoeira, que foi minha colega de quarto durante toda a graduação, obrigada por todas as risadas e momentos inesquecíveis juntas.

Agradeço também a todos os profissionais e funcionários da instituição de ensino, que sempre se mostraram solícitos e prestativos, em especial a Cláudio e Geraldo.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. A cada um de vocês, meu sincero agradecimento. Este TCC é fruto do esforço coletivo e do apoio incondicional que recebi ao longo dessa jornada.

À TODOS, MEU MUITO OBRIGADA!!!

Sinto-me nascida a cada momento para a eterna novidade do mundo.

Fernando Pessoa.

RESUMO

O milho é fundamental na economia brasileira, sendo amplamente utilizado na alimentação humana e animal, com destaque para a produção de silagem, especialmente em períodos de seca, devido ao seu valor nutritivo e à facilidade de ensilagem. No entanto, seu desenvolvimento é influenciado por fatores ambientais, como a baixa fertilidade do solo, exigindo adubação nitrogenada adequada. O nitrogênio é essencial para processos como a fotossíntese e o crescimento, impactando diretamente a produtividade e qualidade da silagem de milho. Desse modo objetivou-se avaliar o crescimento e a produção de fitomassa em plantas de milho submetidas a diferentes doses de nitrogênio. O estudo foi conduzido na área experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, em delineamento estatístico utilizado em blocos casualizados, sendo composto por uma cultivar de milho crioula Vanja e cinco doses de nitrogênio (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹ de N), com quatro repetições, totalizando 20 unidades experimentais. Foram realizadas as análises de conteúdo de sódio (Na⁺) e potássio (K⁺), determinação de dano de membrana, medidas de conteúdo de pigmentos fotossintéticos, avaliação e crescimento do milho e produção de fitomassa do milho. Foi realizada a análise estatística com a aplicação dos testes de normalidade (Shapiro-Wilk test) e homoscedasticidade (Oneill e Mathews test) a 5% de significância. Posteriormente, atendendo aos pressupostos (normalidade e homoscedasticidade) foi realizada a análise de variância (ANOVA) pelo teste F a 5% de probabilidade utilizando o software Sisvar, versão 5.6. Posteriormente, para o fator doses de nitrogênio (quantitativo) foram geradas curvas e aplicadas análises de regressão utilizando o programa SigmaPlot versão 10.0. Observou-se efeito significativo ($p \leq 0,05$) das doses de nitrogênio (DN) sobre as variáveis altura da planta, comprimento do caule, número de folhas vivas e mortas, massa seca de espiga, massa do caule, massa de folhas vivas e mortas, massa verde, massa seca e dano de membrana, com a dose de 160 kg ha⁻¹ de N apresentando os melhores resultados. Para o conteúdo de pigmentos fotossintéticos (Chl-a, Chl-b, Chl-t), a dose de 120 kg ha⁻¹ de N mostrou-se mais eficiente. Entretanto, não foi identificado efeito significativo ($p > 0,05$) das DN no diâmetro do caule, comprimento e largura da lâmina foliar, comprimento da panícula, e nos teores de sódio (Na⁺), potássio (K⁺) e carotenoides, conforme indicado pelo teste F. Conclui-se que a aplicação crescente de nitrogênio aumentou a produtividade de massa seca e verde do milho para silagem, além de melhorar diversas variáveis morfológicas. As doses de 160 kg ha⁻¹ de N proporcionaram as melhores respostas agrônômicas, enquanto que os pigmentos fotossintéticos foram beneficiados com a aplicação de 120 kg ha⁻¹, evidenciando a importância do nitrogênio no rendimento da cultura.

Palavras-chave: Silagem, produtividade, fitomassa, clorofila, adubação.

ABSTRACT

Corn is essential to the Brazilian economy and is widely used in human and animal nutrition, with emphasis on silage production, especially during dry periods, due to its nutritional value and ease of ensiling. However, its development is influenced by environmental factors, such as low soil fertility, requiring adequate nitrogen fertilization. Nitrogen is essential for processes such as photosynthesis and growth, directly impacting the productivity and quality of corn silage. Thus, the objective of this study was to evaluate the growth and phytomass production in corn plants subjected to different doses of nitrogen. The study was conducted in the experimental area of the Federal Rural University of Pernambuco, Serra Talhada Academic Unit, in a statistical design used in randomized blocks, consisting of a Creole corn cultivar Vanja and five nitrogen rates (0, 40, 80, 120 and 160 kg ha⁻¹ of N), with four replicates, totaling 20 experimental units. The analyses of sodium (Na⁺) and potassium (K⁺) content, determination of membrane damage, measurements of photosynthetic pigment content, evaluation and growth of corn and corn phytomass production were performed. Statistical analysis was performed with the application of normality tests (Shapiro-Wilk test) and homoscedasticity (Oneill and Mathews test) at 5% significance. Subsequently, meeting the assumptions (normality and homoscedasticity), analysis of variance (ANOVA) was performed using the F test at 5% probability using the Sisvar software, version 5.6. Subsequently, for the nitrogen dose factor (quantitative), curves were generated and regression analyses were applied using the SigmaPlot program, version 10.0. A significant effect ($p \leq 0.05$) of nitrogen doses (DN) was observed on the variables plant height, stem length, number of live and dead leaves, spike dry mass, stem mass, mass of live and dead leaves, green mass, dry mass and membrane damage, with the dose of 160 kg ha⁻¹ of N presenting the best results. For the content of photosynthetic pigments (Chl-a, Chl-b, Chl-t), the dose of 120 kg ha⁻¹ of N was more efficient. However, no significant effect ($p > 0.05$) of DN was identified on stem diameter, leaf blade length and width, panicle length, and sodium (Na⁺), potassium (K⁺) and carotenoid contents, as indicated by the F test. It is concluded that the increasing application of nitrogen increased the dry and green mass productivity of corn for silage, in addition to improving several morphological variables. The doses of 160 kg ha⁻¹ of N provided the best agronomic responses, while the photosynthetic pigments were benefited by the application of 120 kg ha⁻¹, evidencing the importance of nitrogen in crop yield.

Keywords: Silage, productivity, phytomass, chlorophyll, fertilization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa de localização, do Estado de Pernambuco, com destaque para o Município de Serra Talhada-PE e da Universidade Federal Rural de Pernambuco/UAST.	29
Figura 2- Dados de precipitação e temperaturas médias no período experimental de condução da cultura do milho, Serra -Talhada, PE, período agrícola de abril de 2024 a julho de 2024....	31
Figura 3- Croqui da area experimental	32
Figura 4- Análise de regressão para o parâmetro altura de plantas (AP) de milho crioulo (<i>Zea Mays</i>) em função das doses de nitrogênio aplicadas.	38
Figura 5- Análise de regressão para o parâmetro comprimento de colmo (CC) de milho (<i>Zea Mays</i>) em função das doses de nitrogênio aplicadas.	39
Figura 6- Análise de regressão para o parâmetro número de folhas vivas (NFV) de milho crioulo (<i>Zea Mays</i>) em função das doses de nitrogênio aplicadas.....	41
Figura 7- Análise de regressão para o parâmetro número de folhas mortas (NFM) de milho crioulo (<i>Zea Mays</i>) em função das doses de nitrogênio aplicadas.	42
Figura 8 - Análise de regressão para o parâmetro Massa seca de espiga (MSE) de milho crioulo (<i>Zea Mays</i>) em função das doses de nitrogênio aplicadas.	46
Figura 9- Análise de regressão para o parâmetro Massa de folhas (MFV) de milho crioulo (<i>Zea Mays</i>) em função das doses de nitrogênio aplicadas.	47
Figura 10 - Análise de regressão para o parâmetro Massa do colmo (MC) de milho crioulo (<i>Zea Mays</i>) em função das doses de nitrogênio aplicadas.	48
Figura 11 - Análise de regressão para o parâmetro Massa verde (MV) de milho crioulo (<i>Zea Mays</i>) em função das doses de nitrogênio aplicadas.	50
Figura 12 - Análise de regressão para o parâmetro Massa seca (MS) de milho crioulo (<i>Zea Mays</i>) em função das doses de nitrogênio aplicadas.	51
Figura 13 - Análise de regressão para produtividade de grãos de milho crioulo (<i>Zea Mays</i>) em função das doses de nitrogênio aplicadas.	51
Figura 14 - Análise de regressão para Conteúdo de Chl-a, de milho crioulo (<i>Zea Mays</i>) em função das doses de nitrogênio aplicadas.	52
Figura 15 - Análise de regressão para Conteúdo de Chl-b, de milho crioulo (<i>Zea Mays</i>) em função das doses de nitrogênio aplicadas.	53
Figura 16 - Análise de regressão para Conteúdo de Chl-t, de milho crioulo (<i>Zea Mays</i>) em função das doses de nitrogênio aplicadas.	54
Figura 17 - Análise de regressão para Dano de membrana de milho crioulo (<i>Zea Mays</i>) em função das doses de nitrogênio aplicadas.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Atributos físicos e químicos do solo da área experimental, Serra Talhada – PE.....	30
Tabela 2 – Resumo da análise de variância para as medidas lineares (Altura da planta (AP), Comprimento do caule (CC), diâmetro do caule (DC), Número de folhas vivas (NFV), Número de folhas mortas (NFM), Comprimento da lâmina foliar (CLF), Largura da lâmina foliar (LLF) e Comprimento da panícula (CP) do milho sob doses de nitrogênio (D _N).	32
Tabela 3 - Valores médio para comprimento da lâmina foliar (CLF), largura da lâmina foliar (LLF), diâmetro do colmo (DC) e comprimento da panícula (CP) do milho sob doses de nitrogênio.....	43
Tabela 4 - Resumo da análise de variância para Massa seca de espiga (MSE), Massa do colmo (MC), Massa de folhas vivas (MFV), Massa de folhas mortas (MFM), Massa verde (MV), Massa seca (MS) do milho sob doses de nitrogênio (D _N).	45
Tabela 5 - Resumo da análise de variância para Clorofila (Chl-a, Chl-b, Chl-t e Carotenoide), Dano de membrana (DM) e conteúdo de Sódio (Na ⁺) e Potássio (K) do milho sob doses de nitrogênio (D _N).	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1 Cultura do Milho.....	18
2.2 Cultivar de milho crioula no semiárido	20
2.3 O uso do milho na alimentação animal	22
2.4 Efeito do nitrogênio no crescimento e desenvolvimento do milho	23
2.5 Fertilidade do solo no semiárido.....	26
2.6 Características fisiológicas e sua influência na cultura do milho.....	27
3. OBJETIVO.....	28
3.1 Geral	28
3.2 Específicos	28
4. METODOLOGIA.....	29
4.1 Área de estudo.....	29
4.2 Implantação e condução experimental	31
4.3 Manejo da irrigação e tratos culturais	32
4.4 Avaliação do crescimento do milho.....	33
4.5 Produção de fitomassa do milho.....	34
4.6 Conteúdo de sódio e potássio.....	34
4.7 Determinação de dano de membrana.....	35
4.8 Conteúdo de pigmentos fotossintéticos.....	35
4.9 Análise estatística.....	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
5.1 Análise de crescimento em resposta a adubação nitrogenada no milho.....	37
5.1.1 Altura de planta (AP).....	37
5.1.2 Comprimento do colmo (CC).....	39
5.1.3 Número de folhas vivas (NFV).....	40
5.1.4 Número de folhas mortas (NFM).....	42
5.1.5 Comprimento da lâmina foliar (CLF), Largura da lâmina foliar (LLF), Comprimento da panícula (CP) e Diâmetro do colmo (DC).....	43
5.2 Produtividade do milho para silagem.....	44
5.2.1 Massa seca de espiga (MSE).....	45
5.2.2 Massa seca de folhas vivas (MSV).....	46
5.2.3 Massa do colmo (MC).....	48

5.2.4 Massa verde (MV).....	49
5.2.5 Massa seca (MS).....	50
5.2.6 Produtividade de grãos de milho.....	50
5.3 Análise de clorofila (chl-a, chl-b, chl-t e carotenóide)	52
5.4 Efeitos do nitrogênio sobre o Dano de membrana	57
5.5 Conteúdo de sódio (Na ⁺) e potássio (k).....	57
6. CONCLUSÃO	60
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores e consumidores de milho do mundo, ao lado de países como Estados Unidos e China (CONAB, 2022). Este cereal desempenha um papel fundamental na economia brasileira, sendo amplamente cultivado em todas as regiões do país e tendo grande relevância tanto na alimentação humana quanto na animal (Galindo *et al.*, 2016; Skonieski *et al.*, 2019). O grão de milho é um dos principais ingredientes utilizados na formulação de concentrados para ruminantes, mas o uso da planta inteira também tem grande importância na alimentação desses animais. Durante períodos de baixa precipitação pluvial, quando as pastagens naturais se tornam escassas, a produção de silagem de milho se destaca como uma estratégia eficiente entre os produtores pecuários. A silagem oferece um alimento volumoso de alta qualidade, essencial para manter o desempenho dos rebanhos em condições adversas (Semiarid, 2021).

Uma ampla variedade de plantas forrageiras pode ser utilizada na produção de silagem, porém o milho se destaca como uma das culturas mais empregadas no Brasil, devido ao seu elevado valor nutritivo e à facilidade no processo de ensilagem (Pasa, 2015). Embora o milho, assim como outras gramíneas, apresente uma alta taxa fotossintética, seu desenvolvimento é fortemente impactado por fatores ambientais, sendo a baixa fertilidade do solo um dos mais relevantes (Fernandes *et al.*, 2022). Segundo Dartora *et al.* (2013), grande parte dos solos brasileiros apresenta baixa disponibilidade de nitrogênio, o que torna necessária a utilização de adubos nitrogenados, sendo o uso de fertilizantes inorgânicos o método mais comum para suprir as necessidades desse nutriente nas culturas agrícolas. Dessa forma, o fornecimento adequado e equilibrado de adubação nitrogenada é fundamental para garantir altas produtividades na cultura do milho.

O milho é uma cultura altamente exigente em nitrogênio, e a compreensão das interações entre as variáveis de crescimento em resposta às doses de nitrogênio aplicadas é essencial para otimizar o seu desempenho agrônômico. Na produção de silagem, plantas de milho mais altas são preferíveis, pois permitem um corte mais elevado, favorecendo obtenção de uma qualidade superior (Oliveira *et al.*, 2023). Tanto a altura do dossel quanto o índice de área foliar no milho apresentam forte correlação com o aumento da produtividade (Soares *et al.*, 2023). Assim, o nitrogênio desempenha um papel crucial nesse processo, sendo um componente chave de proteínas e enzimas, especialmente aquelas envolvidas na fotossíntese. Ele também integra as moléculas de clorofila e os ácidos nucleicos, fundamentais para o desenvolvimento adequado

das plantas (Soares *et al.*, 2023).

A deficiência de nitrogênio provoca o fechamento dos estômatos, reduzindo a difusão de CO₂ para o mesófilo foliar, o que resulta na queda das taxas fotossintéticas e, conseqüentemente, afeta o acúmulo de biomassa da cultura (Soares *et al.*, 2023). Dessa forma, torna-se imprescindível avaliar adequadamente as doses de nitrogênio para otimizar a produtividade do milho destinado à silagem.

Dada a importância fundamental do milho na produção de silagem para as propriedades agrícolas, aliada à necessidade crítica de uma adubação adequada, a aplicação estratégica de nitrogênio torna-se essencial para incrementar a eficiência da cultura e aumentar a lucratividade. Nesse contexto, é imperativo realizar uma análise detalhada do desempenho agrônomo do milho sob diferentes doses de nitrogênio, visando otimizar o rendimento da cultura e assegurar resultados econômicos mais elevados.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Cultura do Milho

A cultura do milho é originária da América Central, especificamente da região do México, onde foi posteriormente introduzida na Europa, Ásia e África (Dantas, 2017). Conforme a classificação botânica, o milho pertence à ordem Gramineae, caracterizada como uma monocotiledônea da família *Poaceae*, gênero *Zea* espécie *Zea mays* L., presente no grupo das plantas C4, com grande adaptação a diversas condições ambientais (Liberali, 2018). De ciclo anual, apresentando inflorescências femininas (espigas) e masculinas (pendão), além de folhas lanceoladas, com um caule do tipo colmo, dividido em nós e entrenós, devidamente suportado por um sistema radicular fasciculado, sendo cultivado em diversos países do mundo (Zancanari, 2019). A fenologia é dividida em dois principais estádios: Vegetativo (V) e reprodutivo (R) (Cruz, 2008). Cada estágio tem seus próprios marcos de desenvolvimento, indicando as necessidades específicas da planta em cada fase (Fancelli, 2015).

No mundo o milho tornou-se uma das maiores culturas cultivadas, ultrapassando um bilhão de toneladas, nas últimas décadas, superando a produção do trigo e do arroz (Miranda, 2018). A produção no Brasil vem aumentando de forma expressiva desde a década de 80, sendo um dos cereais mais importantes, do qual o Brasil é o terceiro produtor e segundo maior exportador mundial (CONAB, 2023). Além de sua significativa contribuição para a produção agrícola, o cultivo é notável pela sua ampla utilidade, onde os grãos são utilizados na produção de biocombustíveis e produtos industriais, sendo que 70% da produção mundial é destinada à alimentação animal (Duarte *et al.*, 2007; Nunes, 2020).

O cultivo do cereal em área está estimado em 21,97 milhões de hectares, acréscimo de 1,8%, com aumento para a área semeada na 2ª safra e redução na 1ª. Já a colheita total do grão está estimada em 124,88 milhões de toneladas, influenciada pelo incremento da produção de 8,8% na 1ª safra e de 11% na 2ª, podendo chegar a 27,24 milhões de toneladas e 95,32 milhões de toneladas, respectivamente (CONAB, 2023).

De fato, o milho é fundamental na nutrição animal, sendo este setor responsável por aproximadamente 70% do consumo global desse cereal. No Brasil, a produção direcionada para esse propósito, atende predominantemente os setores avícola, suinícola e bovino (Abimilho, 2024). Esse fenômeno é um reflexo do aumento incessante tanto na produção mundial quanto nacional, em paralelo ao aumento na criação de ruminantes, o que perpetua a demanda por milho, um ingrediente indispensável nas formulações de rações (Abimilho,

2024).

No Brasil, o cultivo do milho pode ser realizado ao longo de todo o ano, com exceção das áreas sujeitas a geadas. Contudo, é essencial que o agricultor considere minuciosamente as condições climáticas vigentes no período de plantio, bem como as alterações no ciclo fenológico da cultura em relação à época de colheita (Sousa, 2020). Ainda de acordo com o autor o crescimento e desenvolvimento do milho são profundamente influenciados por variáveis climáticas, que limitam seu período de desenvolvimento. Para que o potencial genético de produção da cultura seja plenamente expressado, é essencial que índices como temperatura, precipitação pluviométrica e fotoperíodo atinjam níveis ideais, além de ser necessária uma adubação equilibrada (Cruz, 2008).

A demanda hídrica do milho varia de acordo com a cultivar, situando-se, em média, entre 500 e 800 mm ao longo de seu ciclo. Essa necessidade hídrica é particularmente crítica durante as fases de florescimento e enchimento de grãos (Andrade *et al.*, 2008). Ainda de acordo com os autores, em regiões semiáridas, as plantas geralmente requerem uma quantidade de água ainda maior por ciclo. A fase de máxima exigência hídrica ocorre durante o embonecamento ou imediatamente após, sendo que déficits hídricos nesse período impactam negativamente a produtividade de forma significativa.

A fertilidade do solo é amplamente reconhecida também como um dos principais fatores determinantes para a produtividade do milho, tanto em termos de produção de grãos quanto de silagem. A baixa produtividade frequentemente é atribuída ao manejo inadequado da adubação, o que compromete a capacidade produtiva da cultura (Valderrama *et al.*, 2011). Ademais, os solos das regiões semiáridas, caracteristicamente pobres em nutrientes, exacerbam as dificuldades no desenvolvimento da cultura, tornando imperativa a correção desses solos para assegurar a máxima produtividade do milho (Lopes, 1983).

Essa cultura apresenta uma vasta adaptabilidade, evidenciada pela diversidade de genótipos, sendo viável em uma ampla gama de ambientes geográficos, incluindo climas tropicais, subtropicais e temperados (Goulart; Ferraz, 2008). Essa flexibilidade geográfica permite o cultivo em condições climáticas variadas, como as encontradas no Nordeste brasileiro, onde o cultivo se torna viável em toda a região (Carvalho *et al.*, 2000). Contudo, é importante destacar que a temperatura exerce um papel complexo no desempenho da cultura, variando a condição ideal conforme os distintos estágios de crescimento e desenvolvimento da planta (Carvalho *et al.*, 2000).

A notável versatilidade do milho possibilita sua aplicação em diversas finalidades,

abrangendo desde a alimentação direta até o uso como forragem e em processos industriais. Destaca-se, em particular, pela qualidade e quantidade de reservas armazenadas nos grãos, sua capacidade excepcional de fermentação e elevado valor nutricional, atributos que o posicionam como uma forragem de excelência na produção de silagem para (Andreucci, 2008).

2.2 Cultivar de milho crioula no semiárido

A cultura do milho é uma das mais importantes e difundidas no Brasil, principalmente entre os pequenos produtores. O imenso território brasileiro contém uma vasta gama de variedades crioulas, classificadas em no mínimo 23 raças e dois complexos raciais (Paterniani *et al.*, 2000). A cultura desempenha um papel crucial no contexto da agricultura brasileira, situando o Brasil como um dos principais produtores e fornecedores mundiais (Silva *et al.*, 2020). As populações crioulas de milho, também conhecidas como landraces, são recursos genéticos de suma importância para o melhoramento, devido ao seu alto grau de adaptação a condições ambientais específicas (Paterniani *et al.*, 2000).

Segundo Carpentieri-Pípolo *et al.* (2010), embora menos produtivas que as cultivares comerciais, as populações crioulas são importantes por constituírem uma fonte de variabilidade genética e, por sua resistência aos fatores bióticos e abióticos. Outro aspecto fundamental dessas variedades, além da diversidade genética que representam, é o fato de não serem estáticas. Ao contrário, estão em constante processo evolutivo e de adaptação tanto às condições ambientais quanto aos sistemas de cultivo (Cunha, 2013).

Diante da crescente demanda por alimentos e a produção de forragens para ruminantes, diversas pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de desenvolver novas tecnologias e aprimorar opções de manejo, com vistas a maximizar a produtividade agrícola. No contexto do cultivo do milho, sua viabilidade e potencial de expansão como atividade econômica dependem intrinsecamente da eficácia com que os produtores administram suas lavouras. Portanto, a sustentabilidade e a intensificação dessa cultura estão diretamente vinculadas à capacidade dos agricultores em implementar práticas agrônômicas eficientes e inovadoras (Araújo *et al.*, 2015).

Os elevados custos das sementes têm resultado em um aumento expressivo dos gastos de produção, tornando a atividade agrícola inviável para pequenas propriedades (Araújo *et al.*, 2015). Nesse contexto, a recuperação e o uso de variedades crioulas se apresentam como uma alternativa viável. A reutilização contínua dessas sementes, ciclo após ciclo, provenientes de

plantas selecionadas com base nas condições ambientais e nutricionais específicas de cada contexto socioeconômico, permite o desenvolvimento de populações de milho aclimatadas a diversas situações. Esse processo pode contribuir significativamente para a redução dos custos de produção, ao promover maior sustentabilidade para o agricultor. Além disso, a adoção de um sistema de cultivo menos dependente de insumos externos facilita a gestão agrícola, alinhando-se com práticas de manejo mais sustentáveis (Araújo *et al.*, 2015).

Embora as cultivares crioulas apresentem uma produtividade inferior às cultivares comerciais, são de vital importância para a sustentabilidade dos pequenos agricultores no Nordeste Brasileiro, pois oferecem um baixo custo de produção (Araújo *et al.*, 2015). Essas variedades, adaptadas às condições locais, permitem uma agricultura mais econômica e eficiente, reduzindo a necessidade de insumos externos caros e promovendo a resiliência e a autonomia para os produtores. Além de dispensarem elevados investimentos, essas variedades possibilitam que os agricultores mantenham suas próprias sementes, garantindo autonomia e resiliência agrícola (Romano; Verburg; Rocha, 2007).

Segundo Meneguetti, Girardi e Reginatto (2002), a utilização de milhos crioulos é técnica e economicamente viável. Em certos casos, essas variedades demonstram desempenho equivalente ou até superior em comparação com as variedades comerciais e híbridas. No entanto, isso depende de uma série de fatores para elevar o nível da produtividade da cultura, como práticas de adubações adequadas, correção do solo, sistema de manejo integrado, entre outras. Ainda segundo os autores, embora algumas variedades apresentem desempenho satisfatório, isso não diminui a importância dos esforços direcionados à melhoria da fertilidade do solo, levando em direção a uma adubação equilibrada e adequada para a otimização da produção.

Dada a importância genética das variedades crioulas, aliada ao uso eficiente da adubação nitrogenada, tem-se intensificado a realização de estudos voltados à avaliação de sua eficácia no rendimento do milho. Essa cultura apresenta uma notável sensibilidade ao nitrogênio, evidenciando melhorias significativas em diversos atributos que influenciam diretamente o rendimento. Além de seu impacto na produtividade, o nitrogênio desempenha um papel crucial em várias características vegetais associadas ao crescimento, as quais, de forma direta ou indireta, contribuem para o aumento do rendimento da cultura (Cunha, 2017).

Essas cultivares, devido à sua melhor adaptação às condições ambientais locais, são altamente recomendadas para a produção de silagem. As características desejáveis durante a colheita incluem elevada produção de matéria seca, altas concentrações de proteína bruta e

energia, que resultam em excelente digestibilidade e fermentação adequada (Lauer; Coors; Flannery, 2001). Por essas razões, o milho é a forrageira mais utilizada na produção de silagem, sendo um componente fundamental para a otimização dos sistemas de produção animal, dado seu significativo impacto na qualidade da forragem.

2.3 O uso do milho na alimentação animal

O milho apresenta uma ampla gama de aplicações, abrangendo a alimentação humana, onde é consumido *in natura* ou como derivados, e seu emprego em indústrias de alta tecnologia. Na nutrição animal, o milho é oferecido sob diferentes formas, incluindo grãos inteiros, forragem conservada, e rações balanceadas. Além disso, dada sua proeminência no processo de ensilagem, essa cultura é frequentemente utilizada na forma de silagem, consolidando-se como uma das culturas mais essenciais e recorrentes neste método de conservação.

Segundo Neumann *et al.* (2010), a produção de silagem requer uma espécie forrageira que demonstra elevada produtividade de massa por unidade de área e que ofereça alimento de alta qualidade para os animais. Portanto, o milho é a forrageira mais frequentemente empregada para esse fim. Essa cultura é considerada uma ótima alternativa para o processo de ensilagem, contendo uma alta quantidade de matéria seca, tendo uma pequena capacidade tampão e níveis adequados de carboidratos solúveis (Valente, 1991). Além desses aspectos, o milho se sobressai como uma excelente fonte de energia, assegurando a preservação do valor nutritivo da massa ensilada. Além de apresentar um baixo custo operacional de produção, que é visto como uma vantagem. De acordo com Cruz *et al.* (2014), a crescente necessidade de produzir alimento volumoso para os rebanhos, especialmente durante a estação seca, quando as pastagens se tornam cada vez mais escassas, tem levado ao aumento do uso de silagem. Isso é particularmente importante para manter a produtividade dos rebanhos, quando não se tem a oferta disponível na região.

Existem várias formas de aproveitar o milho na alimentação dos ruminantes, sendo a ensilagem da planta inteira e a ensilagem de grão úmido as que mais se destacam. Esses métodos visam melhorar o valor nutritivo do milho, reduzir os custos envolvidos na alimentação e aumentar a eficiência do armazenamento (Castoldi, 2011). Ao garantir uma fonte de alimento nutritiva e bem conservada, os produtores podem melhorar a eficiência produtiva e a rentabilidade, fortalecendo a integração entre lavoura e pecuária (Moraes, 2013).

Esse procedimento possibilita que seja conservado o valor nutritivo do alimento, com o mínimo de perdas, de forma a permitir o armazenamento e uso na alimentação de animais em

momentos mais críticos. A conservação de alimentos volumosos torna-se essencial devido à constante estacionalidade na produção de forragem em áreas semiáridas. Essa variação sazonal resulta em uma disponibilidade irregular de pastagem ao longo do ano, o que limita o desempenho produtivo dos rebanhos. Portanto, garantir a disponibilidade de alimentos volumosos conservados, como a silagem, é crucial para manter a produtividade e o bem-estar desses animais nessas regiões (Vieira, 2015).

Contudo, a qualidade nutricional da silagem está intrinsecamente ligada ao suporte nutricional proporcionado à lavoura, uma vez que as necessidades nutricionais da planta são definidas pela quantidade de nutrientes extraídos ao longo do seu ciclo de crescimento. Portanto, tanto na produção de grãos quanto na produção de silagem, é fundamental fornecer à planta um nível de adubação que corresponda às exigências nutricionais esperadas (Malavolta *et al.*, 1997). É importante destacar que as respostas produtivas a diferentes níveis de adubação nitrogenada podem ser altamente variáveis, refletindo a complexidade das interações entre o nitrogênio e os processos fisiológicos da planta, resultando assim em uma silagem de alta qualidade.

2.3 Efeito do nitrogênio no crescimento e desenvolvimento do milho

A aplicação de nitrogênio (N) na cultura do milho (*Zea mays* L.) é fundamental para sua produção, sendo necessário em quantidades substanciais para incrementar tanto a produção de biomassa quanto a de grãos (Xavier *et al.*, 2014; Besen *et al.*, 2020; Ribeiro *et al.*, 2024). O N é um dos nutrientes mais importantes para a cultura, sendo essencial para o seu crescimento e desenvolvimento saudável, caracterizando-se como um componente fundamental na síntese de proteínas, que são essenciais para a formação de tecidos vegetais, no desenvolvimento de estruturas celulares e no metabolismo energético das plantas (Leite, 2023). Exerce um papel estrutural essencial, contribuindo para a formação de vários compostos orgânicos vitais, como aminoácidos, proteínas e prolina, entre outros. Além disso, influencia a divisão e expansão celular, impacta o desenvolvimento das folhas e a eficiência fotossintética, além de desencadear diversas transformações bioquímicas no sistema que envolve o sistema solo-planta-atmosfera (Bull, 1993; Pottker; Wietholter, 2004; Ribeiro *et al.*, 2024).

O milho, sendo uma espécie de gramínea e não possuindo fixação biológica de nitrogênio, necessita de quantidades significativas de nitrogênio mineralizado no solo ou da aplicação de fertilizantes nitrogenados para atingir seu potencial máximo de crescimento e produção de grãos (Leite, 2023). Na ausência de um suprimento adequado desse elemento, o

crescimento das plantas será restrito, levando a uma condição de plantas mais fracas e menor produção. É crucial empregar adequadamente fertilizantes nitrogenados para assegurar o desenvolvimento mais eficiente dos sistemas de produção da cultura (Amado *et al.*, 2002).

No Brasil, a ureia branca (45% de nitrogênio) é amplamente utilizada como a principal fonte de nitrogênio devido à sua acessibilidade econômica em comparação com outros fertilizantes nitrogenados (Ribeiro, 2024). Geralmente, é aplicada na superfície do solo sem incorporação, sendo necessário que o solo esteja úmido para que os grânulos de ureia se dissolvam e evitem a volatilização do nitrogênio para a atmosfera. Essa volatilização pode representar mais de 50% do total de nitrogênio aplicado, dependendo das condições climáticas e da umidade do solo (Sangoi, 2016; Ribeiro *et al.*, 2024).

Embora a aplicação de adubos nitrogenados seja crucial, ainda é necessário estudar a quantidade mais econômica para distribuir quantidades significativas no milho. Além disso, o uso excessivo de ureia e amônio pode levar à acidificação do solo, causando sérios problemas (Caires *et al.*, 2015). Segundo Carvalho *et al.* (2011) os resultados mais eficientes na produção de grãos e matéria seca da parte aérea da planta, normalmente, são obtidos por meio da aplicação de maiores doses de nitrogênio.

Conforme afirma Okumura (2011), o nitrogênio é uma substância frequentemente demandada em maiores quantidades pelas culturas. No entanto, devido ao seu efeito residual em níveis reduzidos, sua disponibilidade próxima às raízes se torna desafiadora. Diante dessa condição, torna-se imprescindível aplicar a adubação para alcançar resultados mais expressivos na cultura, onde apresenta distintos períodos de absorção intensa de nutrientes: o primeiro ocorre durante o estágio de desenvolvimento vegetativo, compreendido entre as fases V4 e V12 de folhas, momento em que o potencial de produção de grãos está sendo determinado. O segundo período ocorre durante a fase reprodutiva, ou seja, durante a formação da espiga, quando o potencial produtivo máximo é alcançado (Embrapa, 2023).

O nitrogênio desempenha um papel crucial como constituinte fundamental das clorofilas, que por sua vez são responsáveis pela absorção da energia solar e pela síntese de compostos essenciais no metabolismo vegetal (Machado *et al.*, 2004). Quando ocorre uma deficiência nesse elemento, os efeitos adversos são perceptíveis, como a redução da área foliar, o envelhecimento precoce das folhas, uma diminuição na eficiência da fotossíntese e perturbações negativas na atividade fotossintética geral da planta. Esses efeitos adversos, por sua vez, prejudicam o pleno desenvolvimento da cultura (Machado *et al.*, 2004). Pedersen (2013) observou que a falta de nitrogênio não apenas está associada à redução da taxa

fotossintética em resposta à escassez de água, mas também resulta na diminuição da interceptação de luz (radiação luminosa). Além disso, são observadas alterações nas trocas gasosas (CO_2 e O_2) e uma redução na fixação de carbono (C) devido ao fechamento estomático. Adicionalmente, ocorrem danos devido à foto-oxidação no aparato fotossintético (Pedersen, 2013).

Para planejar a adubação de forma eficaz, é essencial realizar uma análise precisa, iniciando com a avaliação do solo. A partir dessa análise, interpretam-se os resultados e tomam-se decisões fundamentadas. Posteriormente, com base nas informações obtidas, é possível recomendar a quantidade adequada de cada nutriente tanto para a fase de semeadura quanto para a fase de cobertura (Embrapa, 2023).

É crucial realizar a adubação nitrogenada de forma criteriosa para assegurar a produtividade da cultura, uma vez que o excesso pode resultar em perdas significativas e na contaminação do meio ambiente, além de representar um desperdício desnecessário (Follmann, 2019). Portanto, é essencial ajustar a dose, o momento de aplicação e considerar as condições do solo de forma a fornecer à planta os nutrientes necessários durante suas fases críticas. Isso não apenas visa reduzir as perdas de nitrogênio, mas também a minimizar os custos associados à adubação (Hoeft, 2003). É imprescindível buscar estratégias para mitigar as perdas por meio do parcelamento da adubação de cobertura, além de explorar opções alternativas para a suplementação de nitrogênio.

A maximização da eficácia da adubação nitrogenada pode ser alcançada através da fragmentação da dose total empregada e da determinação do momento ideal para sua aplicação. É essencial sincronizar o período de maior demanda do nutriente pela planta com as aplicações realizadas, conforme indicam estudos anteriores (Amado *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 2001). Compreender a fenologia do milho é fundamental para um manejo eficiente, pois possibilita a identificação dos diferentes estádios de desenvolvimento da planta e suas demandas específicas. Esse conhecimento facilita a aplicação de práticas como adubação no momento mais adequado, o que resulta na otimização da produção e assegura o pleno crescimento das plantas.

Gomes *et al.* (2007) constataram que a aplicação de nitrogênio em cobertura, seja em dose única 30 dias após a emergência das plantas, seja de forma parcelada (com uma parte antecipada na semeadura e outra 30 dias após a emergência), resultou em um aumento significativo tanto na massa de mil grãos quanto no número de grãos por espiga. Esses achados corroboram os resultados obtidos por Mascarello; Junior (2015), Sangoi *et al.* (2012) e

Debastiani (2016), que também identificaram melhorias na massa dos grãos e na produtividade com o uso de adubação nitrogenada.

No estudo realizado por Gross; Von Pinho; Brito (2006), foi observado que a adubação nitrogenada em cobertura, tanto em dose única quanto parcelada, influenciou positivamente à altura das plantas e aumentou significativamente a produtividade do milho cultivado em sistema de semeadura direta no Estado de Minas Gerais. De forma semelhante, Bortolini *et al.* (2002) demonstraram que a aplicação de 150 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura resultou em um incremento de 3030 kg ha^{-1} na produção de grãos, quando comparada ao tratamento sem adubação nitrogenada.

2.4 Fertilidade do solo no semiárido

Por um longo período, os solos situados em regiões semiáridas e áridas foram considerados inadequados para a prática agrícola, resultando em seu consequente afastamento do aproveitamento econômico (Cunha, 2010). Entretanto, uma significativa parcela da população depende da incorporação dessas terras semiáridas e áridas ao processo produtivo para garantir a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável de pequenos e médios agricultores.

O conhecimento atual sobre o solo é essencial para a gestão dos recursos hídricos, maximização do potencial genético das espécies, redução da degradação ambiental e aproveitamento do clima. O solo, além de suas partículas minerais, é um sistema complexo composto por minerais, matéria orgânica, organismos vivos, água e ar. O equilíbrio desses componentes é vital para a produtividade e sustentabilidade agrícola, atuando como base para as atividades econômicas, sociais e culturais no meio rural (Cunha, 2010).

Nos últimos anos, a cultura do milho no Brasil tem passado por transformações significativas devido a avanços tecnológicos, levando a aumentos expressivos na produtividade e na produção (Cruz, 2017). Entre essas inovações, a conscientização dos produtores sobre a importância de melhorar a qualidade do solo para uma produção sustentável tem se destacado. Para alcançar o objetivo do manejo racional da fertilidade do solo, é imperativo utilizar um conjunto abrangente de instrumentos diagnósticos capazes de detectar possíveis deficiências nutricionais (Cruz, 2017). Uma vez corrigidas essas deficiências, as chances de êxito na agricultura serão significativamente ampliadas. Portanto, ao planejar a adubação do milho, o agricultor deve considerar os seguintes aspectos, como análise de solo, necessidade de NPK

necessária pela cultura em questão, a fonte a ser utilizada, quantidade aplicada e quando aplicar essa adubação etc.

Embora o milho possa ser cultivado em diversos tipos de solo, especialmente sob irrigação em ambientes mais secos, ele responde melhor em solos bem estruturados, que permitam boa circulação de água e ar, alta retenção hídrica e disponibilidade de nutrientes. O milho prefere solos de textura mediana, como franco a franco-argiloso, e tolera pH entre 5 e 8. No entanto, solos com pH próximo a 5 podem apresentar níveis tóxicos de alumínio e ferro, o que pode ser tóxico para as plantas (Coelho, 2006).

Assim como em outras culturas, os principais nutrientes absorvidos pelo milho são Nitrogênio (N), Fósforo (P_2O_5) e Potássio (K_2O), classificados como macronutrientes primários. Esses nutrientes são essenciais e indispensáveis para o milho. O nitrogênio, devido à sua alta solubilidade e mobilidade, é facilmente perdido por lixiviação no solo, dificultando seu manejo. Em sistemas de sequeiro, essa perda está diretamente ligada à precipitação.

Valderrama *et al.* (2011) evidenciaram que a fertilidade dos solos é um dos principais fatores relacionados a baixas produtividades do milho tanto para produção de grãos quanto para forragens, devido aos baixos teores de nutrientes presentes no solo como também ao uso inadequado de fertilizantes. Para melhorar a produtividade, é essencial garantir que suas necessidades nutricionais sejam atendidas, pois a cultura exige uma quantidade significativa de nutrientes no solo (Duarte, 2007). Na região Nordeste, os produtores enfrentam desafios de baixa produtividade devido a vários aspectos do sistema de produção, incluindo práticas inadequadas de adubação em solos com baixa fertilidade, muitas vezes devido aos altos custos dos fertilizantes químicos (Santos *et al.*, 2017).

2.5 Características fisiológicas e sua influência na cultura do milho

Conforme abordado por Cobucci (1991), o nitrogênio destaca-se como um dos nutrientes que exerce efeitos preponderantes sobre a produtividade da cultura do milho. Suas aplicações têm o potencial de influenciar diversas características morfofisiológicas da planta, inerentes ao seu desenvolvimento e crescimento, demonstrando que, tanto de maneira direta quanto indireta, impactam significativamente a produtividade. O autor enfatiza que existem inúmeros estudos evidenciando a influência do nitrogênio sobre a cultura, com efeitos notáveis no incremento da massa de 100 grãos, no número de espigas por planta, na altura das plantas, no diâmetro do colmo e na produção de matéria seca.

A fisiologia do milho é marcada pelo mecanismo de fixação de carbono C₄, que confere à planta um elevado índice de área foliar. Graças à sua carga genética, o milho se apresenta como uma das culturas mais eficientes na conversão da radiação solar em biomassa, o que lhe confere um elevado potencial produtivo (Sangoi *et al.*, 2012). Entre os elementos essenciais, o nitrogênio ocupa uma posição de destaque na agricultura, sendo amplamente utilizado em fertilizantes, devido à sua importância na síntese de clorofila e na participação direta no processo fotossintético (Xavier *et al.*, 2021). Segundo Neumann *et al.* (2010), o suprimento adequado de nitrogênio às folhas resulta em uma capacidade ampliada de assimilação de CO₂ e síntese de carboidratos durante a fotossíntese, culminando em um aumento expressivo na produção de matéria seca, o que é caracterizado como um ganho quantitativo na produção.

A carência desse nutriente pode comprometer seriamente o crescimento das plantas, ao interferir no transporte de fotoassimilados das regiões produtoras para os tecidos em crescimento (Xavier *et al.*, 2021). Ademais, a deficiência de nitrogênio afeta negativamente o estado hídrico das plantas, resultando em uma diminuição da pressão hidrostática intracelular e, conseqüentemente, uma redução acentuada na taxa de crescimento (Xavier *et al.*, 2021).

Como consequência, plantas que apresentam deficiência em nitrogênio demonstram um crescimento inferior em comparação àquelas devidamente nutridas, mesmo que a fotossíntese não seja diretamente comprometida. Isso leva a uma clorose progressiva nas folhas mais antigas e uma diminuição geral no crescimento da planta (Souza, 2008). Além disso, a deficiência de nitrogênio pode impactar negativamente a taxa fotossintética, afetando fatores como o conteúdo de clorofila, a expansão foliar e a atividade de enzimas cruciais para o ciclo redutivo do nitrogênio, como a nitrato redutase (Ciompi *et al.*, 1996). A enzima nitrato redutase é amplamente reconhecida como um dos principais reguladores da disponibilidade de nitrogênio na forma reduzida, essencial para o metabolismo vegetal (Ciompi *et al.*, 1996).

3. OBJETIVO

3.1 Geral

Avaliar o crescimento e a produção de fitomassa em plantas de milho submetidas a diferentes doses de nitrogênio.

2.2 Específicos

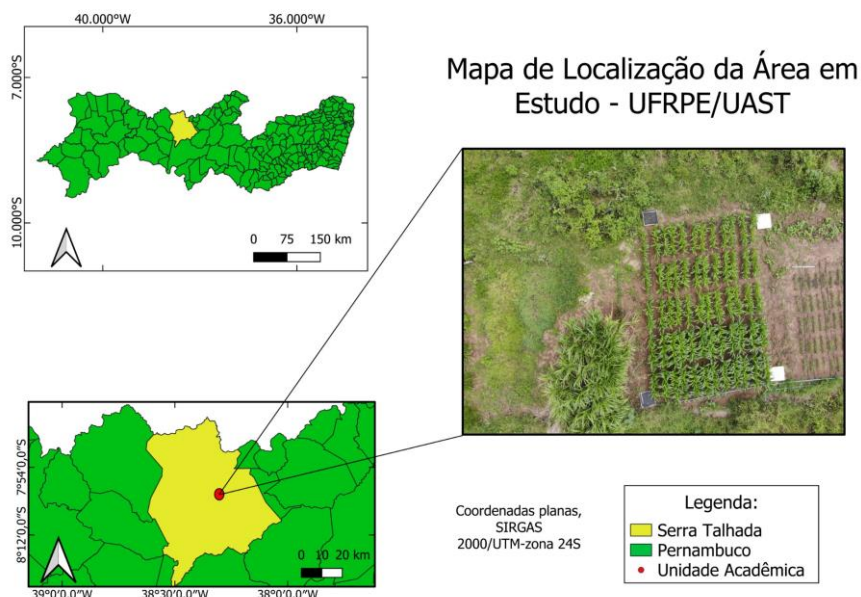
- Avaliar as características estruturais e morfogênicas do milho submetido a diferentes doses de nitrogênio;
- Caracterizar as respostas fisiológicas de plantas de milho submetidas à adubação nitrogenada;
- Avaliar o efeito da adubação nitrogenada sobre cultivares de milho.

4. METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST), localizado em Serra Talhada, na área experimental do Grupo de Estudos em Forragicultura (GEFOR), microrregião do Sertão do Pajeú, a uma altitude de 429 m, com coordenadas geográficas de 7° 56' 15" de latitude sul e 38° 18' 45" de longitude oeste. Conforme a classificação de Köppen, o clima enquadra-se no tipo BSw_h, denominado semiárido, quente e seco, chuvas de verão-outono com pluviosidade média anual de 647 mm ano⁻¹ e temperaturas do ar médias superiores a 25 °C (Leite *et al.*, 2019).

Figura 1. Mapa de localização, do Estado de Pernambuco, com destaque para o Município de Serra Talhada-PE e da Universidade Federal Rural de Pernambuco/UAST.



Fonte: Silva, G.S., 2024

Antes da implantação do experimento, foi realizado o preparo do solo com uma aração e uma gradagem. Uma amostra de solo na camada de 0-20 cm e 20-40 cm foram feitas, amostrado antes da instalação do experimento, e enviada ao laboratório do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) para análise química (Tabela 1).

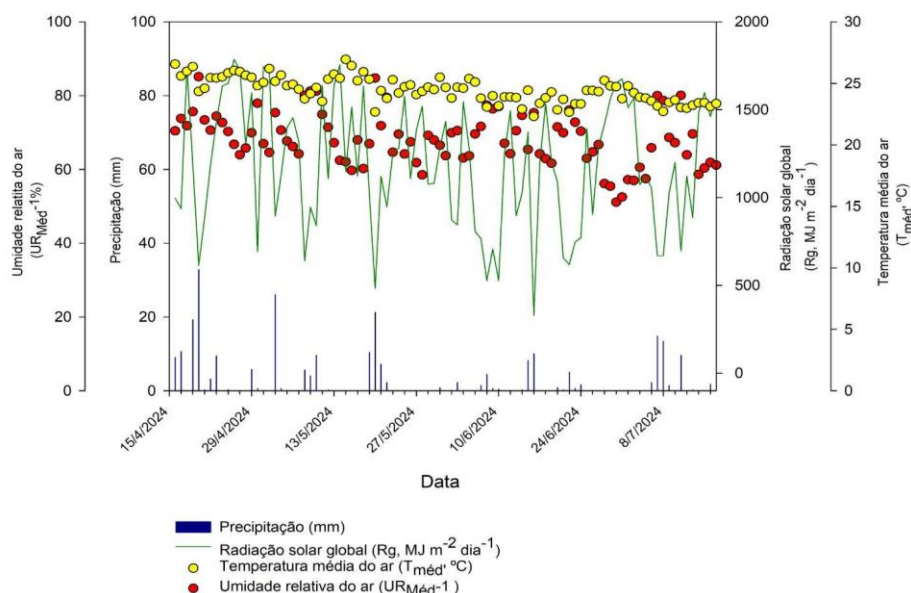
Tabela 1. Atributos químicos do solo da área experimental, Serra Talhada – PE.

Atributos químicos													
Camada	P		K ⁺	Na ⁺	RAS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	SB	CTC	V	PST	MO
m	mg	pH	-----			cmol _c dm ⁻³ -----					-----	% -----	
	dm ⁻³												
0.00 – 0.20	380	7.1	0.88	0.11	0.14	1.20	0.10	1.0	2.29	3.29	69.60	3.34	1.24
0.20 – 0.40	380	7.1	0.68	0.27	0.30	1.30	0.30	1.0	2.55	2.55	71.80	7.60	0.88

SB = Soma de bases = Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺; CTC = Capacidade de troca catiônica - CTC = SB + (H⁺ + Al³⁺); V = Saturação por base = (SB/CTC) × 100; H + Al = Alumínio trocável; MO = matéria orgânica; RAS - razão de adsorção de sódio = Na⁺/[(Ca²⁺ + Mg²⁺)/2]^{1/2}; PST - porcentagem de sódio trocável, PST = (Na⁺ /CTC) × 100; DS = Densidade do solo; DP = Densidade de partículas; PT = Porosidade total; GF = Grau de floculação; AT = Areia total; AG = Areia grossa; AF = Areia fina.

Na Figura 2, estão demonstrados os dados meteorológicos observados no período de abril a julho de 2024, coletados de uma estação meteorológica automática localizada a cerca de 200 m da área experimental, pertencente ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Os dados referentes à precipitação e temperatura durante o período experimental foram obtidos na estação meteorológica da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada.

Figura 2. Dados de precipitação e temperaturas médias no período experimental de condução da cultura do milho, Serra -Talhada, PE, período agrícola de abril de 2024 a julho de 2024.



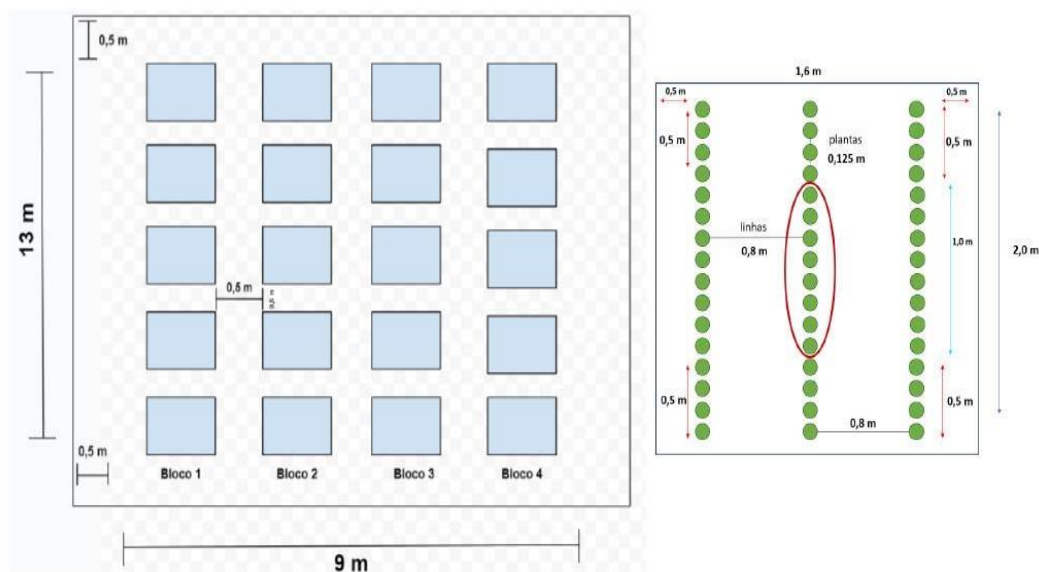
Fonte: INMET, 2024

4.2 Implantação e condução experimental

O delineamento estatístico utilizado foi em blocos casualizados, sendo composto por uma cultivar de milho crioula Vanja e cinco doses de nitrogênio (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹ de N), com quatro repetições, totalizando 20 unidades experimentais. A fonte de N utilizada foi uréia, que contém 45% de N. Para 40, 80, 120 kg e 160 kg h ha⁻¹ de N, foi utilizado 88,88; 177,7; 266,66 e 355,55 kg ha⁻¹ de uréia, sendo 4,4, 8,8, 13 e 17,7 gramas por metro linear de adubo, respectivamente.

À semeadura foi realizada manualmente no dia 16 de abril de 2024, distribuindo-se as sementes em sulcos de 4,0 cm de profundidade. A parcela com 2,0 m de comprimento foi constituída de três linhas de milho, com espaçamento de 0,80 m entre linhas e 0,12 m entre plantas, sendo 8 (oito) plantas por metro linear (100.000 plantas ha⁻¹). Como parcelas úteis foram consideradas oito plantas da linha central de cada parcela (Figura 3). Deslocar o trecho entre parênteses para a introdução ou para um item específico sobre a caracterização da variedade

Figura 3. Croqui da área experimental.



Fonte: Silva, G.S.,2024

Para aplicar o nitrogênio, a uréia foi pesada em balança analítica e depois distribuída nos sulcos utilizando-se um recipiente graduado. A dose do elemento foi determinada com base nos resultados da análise do solo (Tabela 1), na eficiência da fonte utilizada e nos valores de exportação de nutrientes pela cultura do milho nos tratamentos que incluíam esse elemento.

O nitrogênio necessário para completar a dose requerida pelos diferentes tratamentos foi aplicado manualmente, na entrelinha, a 25 cm do colmo, quando as plantas de milho tinham a 5ª folha plenamente expandida (V5), a primeira aplicação realizada 35 dias após o plantio e o restante da adubação foi aplicada 15 dias após a primeira aplicação, em seguida realizou-se a cobertura com solo para evitar a volatilização da uréia.

4.3 Manejo da Irrigação e tratos culturais

A água de irrigação utilizada no experimento (Figura 3), proveniente de um poço artesiano, possuía as seguintes características por ocasião do experimento: salinidade caracterizada como C₃S₁, condutividade elétrica (CEa) em torno de 1,68 dS m⁻¹.

A uniformidade de distribuição de água no sistema de gotejamento microjet em um sistema de plantio direto foi determinada com base na metodologia de Keller e Karmeli (1974). Para isso, avaliou-se a distribuição de água em um sistema de irrigação por gotejamento utilizando 16 gotejadores. As avaliações foram realizadas em todas as linhas laterais,

observando-se o primeiro emissor, o segundo emissor localizado a $1/3$ do comprimento da linha, o terceiro emissor a $2/3$ do comprimento da linha, e o último emissor de cada linha.

A vazão foi determinada coletando-se o volume de água aplicado pelos emissores em um período de 30 segundos, repetindo-se o processo três vezes, logo em seguida foi medido o volume com uma proveta graduada. A pressão de serviço foi verificada por meio de um manômetro instalado na tubulação de saída de água do sistema de bombeamento, demonstrando uma pressão média de $0,60Pa$.

De posse dos dados coletados, foram calculadas as respectivas vazões, e posteriormente determinado o turno de rega para a cultura de acordo com o K_c da cultura e sua exigência hídrica de acordo com cada fase, onde foi estabelecido a irrigação três vezes por semana, sendo realizadas na Segunda- feira, Quarta-Feira e Sexta-Feira.

Durante o período da pesquisa, foram realizados tratos culturais, tais como capina, para garantir que não houvesse competição entre as plantas e manutenção do sistema de irrigação, para garantir o sistema de irrigação o mais eficiente possível.

4.4 Avaliação do crescimento do milho

Para a avaliação do milho, foram efetuadas análises morfométricas em oito plantas da parcela útil para monitorar o crescimento através das seguintes características estruturais: diâmetro de colmo (DC, cm), altura de planta (AP,cm), comprimento do colmo (CC, cm), número de folhas vivas expandidas (NFVE), número de folhas vivas em expansão (NFVEE), número total de folhas vivas (NFV, unidades), número de folhas senescentes (NFS, unidades), número de folhas mortas (NFM, unidades), largura de lâmina foliar (L, cm), comprimento de lâmina foliar (C, cm) e número de perfilhos (NP, unidades).

A partir dessas contagens de folhas vivas foram obtidos o número de folhas vivas total ($NFV = NFVE + NFVEE$). O número de folhas senescentes (NFS) é o escore de folhas com mais de 50% de sua lâmina com clorose. Para o número de folhas mortas (NFM) são as folhas contabilizadas aquelas com mais de 70% de necrose. O comprimento de lâmina foliar (C) corresponde à extensão ao longo da nervura central, medindo-se a distância da lígula ao ápice da folha mais velha completamente expandida; a largura de lâmina foliar (L), refere-se a medida de comprimento da região mediana da mesma folha. O número de perfilhos (NP) irá contabilizar todos os perfilhos da planta.

4.5 Produção de fitomassa do milho

Aos 100 dias após a emergência (DAE), as amostras vegetais coletadas foram pesadas para determinação da massa verde (MV, t.ha⁻¹), onde foram separadas em colmo, panícula, folhas mortas, folhas vivas e espiga e acondicionadas em sacos de papel, para serem secas em estufa com circulação de ar forçada a 65°C durante 72 horas ou até obtenção de peso constante, para depois realizar uma nova pesagem para obtenção da massa seca (MS, t ha⁻¹). O corte foi realizado manualmente quando os grãos se encontravam em estágio de desenvolvimento pastoso a farináceo duro (R5).

A determinação da matéria seca de folhas, colmo, pendão e espiga foi conduzida a partir da coleta de uma única planta localizada na área útil da parcela experimental, separando-a em: folhas mortas, folhas vivas, colmo, pendão, palha, espiga, número de grãos e número de 100 grãos. As partes coletadas foram acondicionadas em sacos de papel apropriados. O peso da espiga foi determinado mediante a separação das espigas das plantas colhidas e a subsequente pesagem. O peso dos grãos debulhados foi aferido pela remoção dos grãos dos sabugos e a pesagem.

4.6 Conteúdo de sódio e potássio

Aos 90 DAE, foram coletadas amostras de três plantas, as quais foram cortadas suas folhas e descartada a nervura central, em seguida submetidas à secagem em estufa com circulação de ar forçada a 65 °C durante 72 horas ou até obtenção de peso constante. Para a quantificação dos íons sódio (Na⁺) e potássio (K⁺), foi inicialmente obtido o extrato aquoso do material vegetal seco, que havia sido previamente triturado em moinho de facas equipado com peneira de 2 mm. A extração foi conduzida utilizando-se 0,200 g de massa seca, pesada em balança analítica para assegurar a precisão, sendo essa quantia repetida para cada amostra. Em seguida, o material foi transferido para tubos de ensaio com rosca, contendo 30 ml de água ultrapura, totalizando 60 amostras ao final do procedimento. Os tubos foram levados a banho maria [100 °C 1 h⁻¹], após retirado, esperou-se chegar à temperatura ambiente para proceder com a filtração.

Posteriormente, para a determinação do conteúdo de Na⁺ e K⁺ utilizou-se um fotômetro de chama, onde é inserido uma capilar no extrato obtido da filtração sendo este succionado para dentro do equipamento, ocorre a excitação de seus átomos ionizáveis pela chama,

utilizando como base na curva padrão pré-estabelecida, antes da leitura propriamente dita, sendo expressos em mol g^{-1} MS (Viégas *et al.*, 2001). No momento das leituras em fotômetro de chama, o extrato precisou ser diluído para adequação na faixa de amplitude do aparelho, após a quantificação, também foi expresso a relação de K^+ / Na^+ .

4.7 Determinação de dano de membrana

O dano de membrana (DM, %) foi obtido pelo vazamento de eletrólitos adaptado de Scotti-Campos *et al.* (2013), foi escolhida uma folha totalmente expandida por planta, totalizando duas folhas por parcela experimental, logo após retirou-se 10 discos foliares, os quais foram imergidos em 20ml de água deionizada à 25 °C, e colocadas no agitador e, após 24 h realizada, a medida da condutividade elétrica (L1). Em seguida, imposta ao banho-maria (100 °C por 1 h), que após o resfriamento (25 °C), ocorreu a segunda leitura de condutividade elétrica (L2). O extravasamento de eletrólito foi estimado, por meio da equação: $\text{DM (\%)} = (\text{L1} / \text{L2}) \times 100$.

4.8 Conteúdo de pigmentos fotossintéticos

O conteúdo de pigmento foliar foi realizado utilizando três folhas plenamente expandida por parcela útil, logo em seguida foi pesado cerca de 0,200 g de MF de folhas de cada planta e imersas em 10 ml de álcool a 95%. Após cerca de 48 horas, foram realizadas leituras espectrométricas nos comprimentos de onda 470, 664 e 648 nm. Sendo calculado conteúdo de pigmento de clorofila a (Chl a), b (Chl b), totais (Chl totais) e carotenoides (Car) pelas seguintes equações: $\text{Chl a} = [13,36A_{664} - 5,19A_{648}]$, $\text{Chl b} = [27,43A_{648} - 8,12A_{664}]$, $\text{Chl totais} = [\text{Chl a} + \text{Chl b}]$ e $\text{Car} = [(1000A_{470} - 2,13(\text{Chl a}) - 97,64(\text{Chl b}))/209]$, em que o “A” é a absorvância no respectivo comprimento de onda e o resultado sendo estimado para mg g^{-1} MF. Adaptando a metodologia de Lichtenthaler; Buschmann (2001).

4.9 Análise estatística

Foi realizada a análise estatística com a aplicação dos testes de normalidade (Shapiro-Wilk test) e homoscedasticidade (Oneill e Mathews test) a 5% de significância. Posteriormente, atendendo aos pressupostos (normalidade e homoscedasticidade) foi realizada a análise de variância (ANOVA) pelo teste F a 5% de probabilidade utilizando o software Sisvar, versão 5.6 (Ferreira, 2019). Posteriormente, para o fator doses de nitrogênio (quantitativo) foram geradas

curvas e aplicada análise de regressão utilizando o programa SigmaPlot versão 10.0.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise de crescimento em resposta a adubação nitrogenada no milho

Na Tabela 2, constata-se que houve efeito significativo ($p \leq 0,05$) das doses de nitrogênio (D_N) para as variáveis Altura da planta (AP), Comprimento do colmo (CC), Número de folhas vivas (NFV) e Número de folhas mortas (NFM); não houve efeito significativo ($p > 0,05$) para diâmetro do colmo (DC), Comprimento da lâmina foliar (CLF), Largura da lâmina foliar (LLF) e Comprimento da panícula (CP) conforme evidenciado pelo teste F.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para as medidas lineares (Altura da planta (AP), Comprimento do colmo (CC), diâmetro do colmo (DC), Número de folhas vivas (NFV), Número de folhas mortas (NFM), Comprimento da lâmina foliar (CLF), Largura da lâmina foliar (LLF) e Comprimento da panícula (CP) do milho sob doses de nitrogênio (D_N) aos 90 dias após o plantio.

		Quadrado médio							
Fonte de variação		AP	CC	DC	NFV	NFM	CLF	LLF	CP
Doses de nitrogênio (D_N)	4	791,62**	1109,89**	0,77 ^{ns}	2,61**	3,28**	30,70 ^{ns}	0,33 ^{ns}	8,35 ^{ns}
Blocos	3	16,52 ^{ns}	21,01 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,06 ^{ns}	12,87 ^{ns}	0,35 ^{ns}	17,32 ^{ns}
Resíduo	12	56,32	21,50	2,21	0,10	0,25	11,01	0,22	7,27
CV	%	4,23	3,31	8,87	3,40	11,04	3,66	5,58	9,01

**, * - Significativo a $p \leq 0,01$ e $0,05$, respectivamente, e ^{ns} - não significativo, pelo teste F.

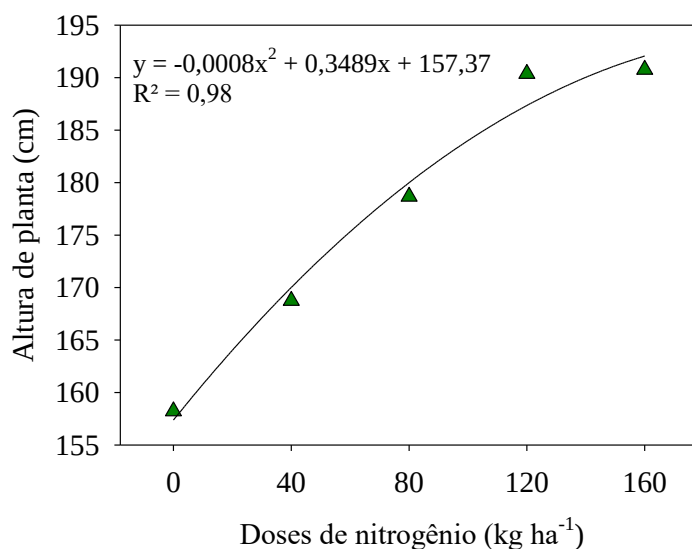
5.1.1 Altura de planta (AP)

De acordo com a figura 4, a aplicação de 160 kg ha^{-1} de N resultou em uma maior altura de planta, com valor médio estimado de $192,71 \text{ cm}$, representando um aumento de $22,46\%$ na altura da planta quando comparada a dose de 0 kg ha^{-1} de N ($157,37 \text{ cm}$), no qual à medida que aumentou-se a adubação nitrogenada, concomitantemente houve aumento para essa variável. A maior dose ($D_N = 160 \text{ kg ha}^{-1}$ de N) apresentou aumentos de $13,33\%$, $6,97\%$ e

2,66% quando comparada as doses de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, aos 90 dias após o plantio.

O tratamento controle, sem adubação, apresentou a menor altura média de planta. Esse fenômeno acontece porque a adubação nitrogenada promove a expansão celular devido a síntese de proteínas e hormônios responsáveis pelo crescimento e otimiza o processo fotossintético, o que resulta no aumento da altura das plantas (Perreira *et al.*, 2011). Para Salama *et al.* (2005), esta resposta a aplicação de N indica o crescimento vegetativo máximo das plantas sob maior disponibilidade de N. Segundo Mello *et al.* (2004) é essencial analisar a altura das plantas, especialmente para a produção de silagem, pois essa característica está fortemente associada à proporção de plantas que sofrem acamamento.

Figura 4. Análise de regressão para o parâmetro altura de plantas (AP) de milho crioulo (*Zea Mays*) em função das doses de nitrogênio aplicadas.



Fonte: Silva, G.S., 2024

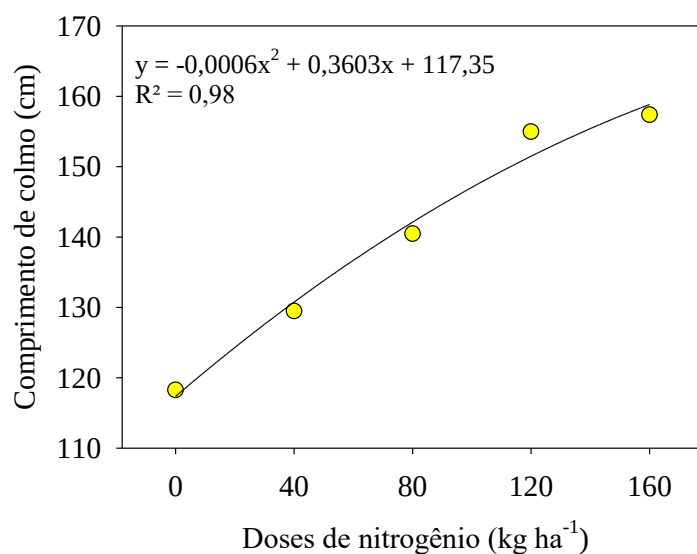
Resultados semelhantes foram observados por Henrique *et al.* (2024) em sua pesquisa sobre a influência da fertilização nitrogenada e molibdênica na atividade enzimática e produtividade do sorgo forrageiro sob déficit hídrico no semiárido brasileiro. De acordo com os autores, o estudo demonstrou que o incremento nas doses de nitrogênio resultou em efeitos significativos na altura da planta (AP), com aumento expressivo de 59% na dose de 235,43 kg ha⁻¹ de N, em comparação ao controle (sem aplicação). Esses resultados estão em concordância

com os de Debastiani (2016), que também observou maior altura das plantas nos tratamentos que receberam adubação nitrogenada.

5.1.2 Comprimento do colmo (CC)

Na Figura 5, observa-se a dinâmica do comprimento do colmo em todos os tratamentos analisados, onde pode-se observar que os tratamentos que receberam adubação apresentaram um incremento significativo no comprimento do colmo em comparação àqueles que não receberam adubação nitrogenada.

Figura 5. Análise de regressão para o parâmetro comprimento do colmo (CC) de milho crioulo (*Zea Mays*) em função das doses de nitrogênio aplicadas.



Fonte: Silva, G.S., 2024

O tratamento controle, correspondente à ausência de adubação nitrogenada (0 kg ha⁻¹ de N) apresentou o menor comprimento de colmo (CC), com média de 117,35 cm. À medida que as doses de nitrogênio aumentaram, verificou-se um aumento progressivo e significativo no CC. A aplicação de 160 kg ha⁻¹ de N promoveu o maior incremento, com uma média de 159,63 cm, representando um acréscimo expressivo de 36,04% em relação ao controle, ressaltando a influência direta da adubação nitrogenada sobre o desenvolvimento estrutural do milho. Para as doses intermediárias de 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, foram obtidas médias de 142,33

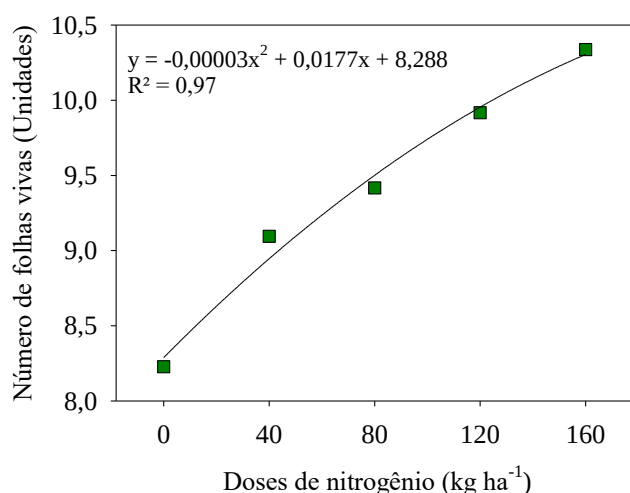
cm e 151,94 cm, correspondendo a aumentos percentuais de 21,28% e 29,47% , respectivamente, em comparação ao controle (0 kg ha⁻¹ de N). O tratamento com 40 kg ha⁻¹ de N registrou uma média de 130,80 cm, com aumento significativo de 11,46% em relação ao controle.

Destaca-se que os tratamentos com doses mínimas do fertilizante exibiram menores comprimentos de colmo, evidenciando o impacto direto da adubação sobre essa variável. As plantas que receberam adubação exibiram um crescimento superior, uma vez que a adubação proporciona nutrientes essenciais que aceleram o processo de diferenciação celular e, conseqüentemente, promovem a expansão dos tecidos (Liet *al.*, 2013). Resultados semelhantes foram encontrados por Soares *et al.* (2003) em sua pesquisa, onde observaram que a altura de inserção de espiga apresentou maiores alturas com a aplicação de doses crescentes de N, com superioridade de 30% em relação à testemunha. O N influencia diretamente a divisão, a expansão celular e o processo fotossintético, promovendo acréscimo em inserção da espiga (Fornasier, 2007), o que de fato foi evidenciado neste trabalho.

5.1.3 Número de folhas vivas (NFV)

A análise estatística revelou uma diferença significativa no número de folhas vivas (NFV) ao nível de significância de $p < 0,05$, conforme o teste F. Verificou-se uma correlação positiva entre o aumento das doses de nitrogênio e o incremento progressivo no NFV. O tratamento com 160 kg ha⁻¹ de N apresentou os resultados mais expressivos, com uma média de 10,30 folhas vivas, refletindo um aumento substancial de 24,09% em relação ao controle. Esse aumento significativo no NFV é importante uma vez que está relacionado a uma maior área foliar disponível, o que favorece a taxa de fotossíntese e, conseqüentemente, o desenvolvimento vegetativo da planta (Figura 6).

Figura 6. Análise de regressão para o parâmetro número de folhas vivas (NFV) de milho crioulo (*Zea Mays*) em função das doses de nitrogênio aplicadas.



Fonte: Silva, G.S.,2024

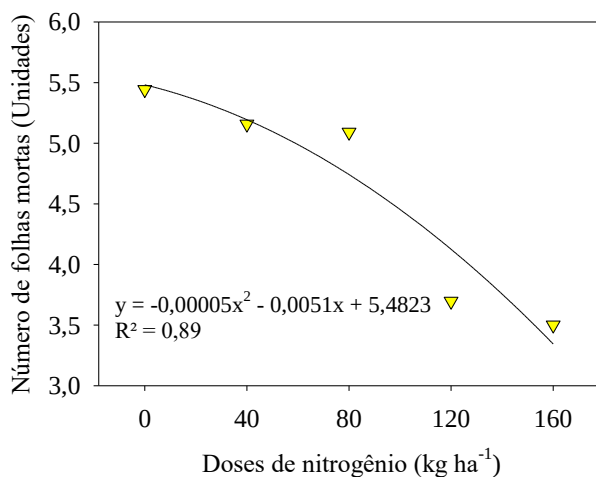
No que se refere às doses intermediárias, a aplicação de 120 e 80 kg ha⁻¹ de N resultou em médias de 9,95 e 9,50 folhas vivas, correspondendo a aumentos percentuais de 19,87% e 14,45%, respectivamente, quando comparados ao tratamento controle. No entanto, é relevante notar que a dose de 120 kg ha⁻¹ de N não demonstrou incrementos tão expressivos quando comparada à dose máxima de 160 kg ha⁻¹ de N, apresentando apenas uma diferença marginal nos valores observados. Por outro lado, o tratamento com 40 kg ha⁻¹ de N, embora tenha alcançado uma média inferior de 8,94 folhas vivas, ainda registrou um aumento significativo de 7,71% em relação ao controle. Esse resultado revela que, apesar da aplicação de doses menores de nitrogênio, há uma resposta positiva no desenvolvimento foliar, embora menos pronunciada quando comparada às doses superiores.

Dessa forma, plantas de milho sob doses mais elevadas de nitrogênio tendem a manter uma maior proporção de folhas vivas ao longo do ciclo, favorecendo a qualidade e a quantidade de biomassa produzida. Segundo Oresca (2017), o número de folhas vivas por planta é um indicador crucial do crescimento e desenvolvimento vegetal, uma vez que define a capacidade da planta de captar a radiação solar para a fotossíntese. A redução do número de folhas vivas (NFV) resulta em uma menor relação folha-colmo, causando comprometimento da qualidade nutricional do milho como forrageira, e dificultando a fermentação durante o processo de ensilagem, além de prejudicar na taxa de fotossíntese (Brunette; Baurhoo; Mustafa, 2016). Ainda de acordo com os autores, o aumento no número de folhas vivas é uma característica estrutural desejável, pois reflete a maior capacidade em acumular forragem verde, e na produção de uma silagem de alta qualidade e valor nutricional elevado, resultando assim em um maior potencial para o processo de ensilagem.

5.1.4 Número de folhas morta (NFM)

A análise estatística revelou diferença significativa na variável número de folhas mortas (NFM) ao nível de significância de $p < 0,05$. Observou-se uma clara tendência de redução do NFM à medida que se incrementaram as doses de nitrogênio (Figura 7).

Figura 7. Análise de regressão para o parâmetro número de folhas mortas (NFM) de milho crioulo (*Zea Mays*) em função das doses de nitrogênio aplicadas.



Fonte: Silva, G.S.,2024

Nos tratamentos com doses menores, verificou-se um maior número de folhas mortas, provavelmente indicando a deficiência desse nutriente nas plantas. O tratamento controle, com 0 kg ha⁻¹ de N, apresentou a média mais elevada de NFM, com valor de 5,48. No entanto, conforme as doses de nitrogênio foram aumentadas, o NFM apresentou uma queda acentuada, chegando a uma média de 3,33 para a dose de 160 kg ha⁻¹ de N, o que corresponde a uma redução expressiva de 39,23% em relação ao controle. Ao analisar os tratamentos intermediários, com 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, o NFM reduziu de 4,74 para 4,11, respectivamente, correspondendo a reduções percentuais de 13,50% e 25,0%. Já a dose de 40 kg ha⁻¹ de N resultou em um NFM médio de 5,19, implicando uma diminuição de 5,29% nessa variável em comparação ao controle.

Cabe destacar que o tratamento sem adubação nitrogenada manteve a maior média de

NFM, evidenciando que a ausência de nitrogênio afeta negativamente a vitalidade foliar da planta. Esses resultados indicam que o aumento nas doses de nitrogênio promove uma redução no número de folhas mortas e, conseqüentemente, um incremento no número de folhas vivas (NFMV), refletindo a melhoria das condições nutricionais das plantas.

A deficiência de nitrogênio, elemento essencial ao desenvolvimento vegetal, acelera a senescência foliar, reduzindo a quantidade de forragem disponível, já que as partes verdes da planta são as mais nutritivas para a alimentação animal (Magalhães; Carneiro; Andrade, 2015). Muller (2013) obteve resultados similares na cultura do milho, onde o número de folhas senescentes no estágio de florescimento foi maior no tratamento controle, apresentando uma redução quadrática à medida que se aplicavam doses crescentes de nitrogênio. Esse resultado decorre do fato de que a deficiência de nitrogênio compromete a síntese de clorofila, proteínas e citocininas, o que acelera o processo de senescência foliar e reduz o índice de área foliar da cultura. Conseqüentemente, a interceptação da radiação luminosa e a fotossíntese, processos fortemente dependentes da extensão e longevidade da área foliar, são negativamente afetados, especialmente em condições em que esses fatores desempenham papel crucial na produtividade da planta para silagem (Muller, 2013).

5.1.5 Comprimento da lâmina foliar (CLF), Largura da lâmina foliar (LLF), Comprimento da panícula (CP) e Diâmetro do colmo (DC)

Na Tabela 3, pode-se observar o valor médio de 91,71 cm de CLF. Os resultados obtidos neste estudo divergem daqueles apresentados por Martuscello *et al.* (2019), em pesquisa avaliando a produção e morfogênese do capim BRS Tamani sob diferentes doses de nitrogênio e intensidades de desfolhação, os autores observaram uma diferença significativa na taxa de alongamento foliar, sendo esta influenciada exclusivamente pelas doses de nitrogênio (N).

Tabela 3. Valores médio para comprimento da lâmina foliar (CLF), largura da lâmina foliar (LLF), diâmetro do colmo (DC) e comprimento da panícula (CP) do milho sob doses de nitrogênio.

	CLF	LLF	CP	DC
Média	90,7116	8,50	29,94	16,77

*CLF = cm; LLF =cm; CP =cm; DC = mm.

Para a variável largura da lâmina foliar (LLF), a aplicação de nitrogênio no cultivo do milho não resultou em diferenças significativas ($p > 0,05$) entre as doses testadas, com os tratamentos exibindo comportamento homogêneo. A média foi de 8,50 cm, indicando uniformidade nos resultados independentemente das variações nas doses de nitrogênio aplicadas.

Esses resultados divergem com os obtidos por Repke *et al.* (2013), que observaram um aumento expressivo no crescimento e na expansão da área foliar em resposta à maior disponibilidade de nitrogênio. A variável comprimento da panícula não demonstrou efeito significativo conforme o teste F ($P < 0,5\%$), e nenhum modelo de regressão mostrou-se adequado para descrever o comportamento dos dados observados. Os valores médios permaneceram em torno de 29,94 cm. Os resultados obtidos por Pereira *et al.* (2014) divergem com os desta pesquisa, pois, ao avaliarem o comprimento da panícula, os autores observaram um efeito significativo ($p < 0,01$) entre as doses de nitrogênio (N), que proporcionaram um incremento positivo, ainda que de magnitude moderada. O diâmetro do colmo não apresentou variação significativa ($p < 0,05$), com valor médio de 16,77 mm, conforme a Tabela 3. A falta de resposta significativa pode ser atribuída às características genéticas da cultivar, que parecem limitar o aumento dessa variável.

5.2. Produtividade do milho para silagem

Na Tabela 4, constata-se que houve efeito significativo ($p \leq 0,05$) do fator doses de nitrogênio (D_N) para as variáveis Massa seca de espiga (MSE), Massa do colmo (MC), Massa de folhas vivas (MFV), Massa de folhas mortas (MFM), Massa verde (MV), Massa seca (MS) conforme evidenciado pelo teste F.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para Massa seca de espiga (MSE), Massa do colmo (MC), Massa de folhas vivas (MFV), Massa de folhas mortas (MFM), Massa verde (MV), Massa seca (MS) do milho sob doses de nitrogênio (D_N)

Fonte de variação	GL	Quadrado médio				
		MSE	MC	MFV	MS	MV
Doses de nitrogênio (D_N)	4	18,64**	1058,40**	220,90**	1,14**	16,93**

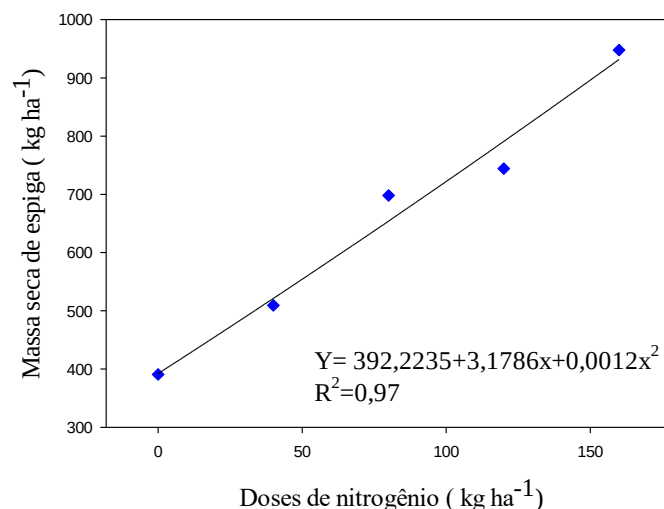
Blocos	3	33,28 ^{ns}	3,89 ^{ns}	5,48 ^{ns}	0,05 ^{ns}	2,63 ^{ns}
Resíduo	12	20,66	7,25	5,67	0,02	0,44
CV	%	6,91	5,94	9,04	8,72	8,45

^{**}, ^{*} - Significativo a $p \leq 0,01$ e $0,05$, respectivamente, e ^{ns} - não significativo, pelo teste F.

5.2.1 Massa seca de espiga (MSE)

Na Figura 8, observa-se que, à medida que as doses de nitrogênio aumentaram, a MSE também registrava incrementos substanciais. No tratamento sem aplicação de nitrogênio (0 kg.ha^{-1} de N), a MSE apresentou média de $392,22 \text{ kg ha}^{-1}$ de MS inferior aos demais tratamentos, com doses maiores do fertilizante. As doses de 40 e 80 kg.ha^{-1} de N resultaram em aumentos aproximados de $32,90\%$ e $66,79\%$, respectivamente, com valores médios de MSE em torno de $521,29 \text{ kg.ha}^{-1}$ e $654,21 \text{ kg.ha}^{-1}$, respectivamente. A aplicação de 120 kg.ha^{-1} de N verificou incremento significativo de $101,67\%$, atingindo um valor médio de MSE de $790,99 \text{ kg.ha}^{-1}$. Entretanto, ao elevar a dose para 160 kg.ha^{-1} de N, observou-se um aumento ainda mais acentuado, com um ganho de aproximadamente $137,57\%$ na MSE, atingindo uma média de $931,62 \text{ kg ha}^{-1}$, exercendo maior influência na MSE, em relação ao controle (0 kg.ha^{-1} de N), confirmando a influência positiva e crescente das doses de N sobre essa variável.

Figura 8. Análise de regressão para o parâmetro Massa seca de espiga (MSE) de milho crioulo (*Zea Mays*) em função das doses de nitrogênio aplicadas.



Fonte: Silva, G.S.,2024

Souza *et al.* (2011) observaram resultados semelhantes em relação à produtividade, que aumentou linearmente de 4.562 para 7.568 kg ha⁻¹, representando um incremento de 66% com a aplicação de maiores doses, em comparação ao tratamento sem nitrogênio. Esse aumento de produtividade com o incremento das doses de nitrogênio evidencia a necessidade de suprimento adequado desse nutriente.

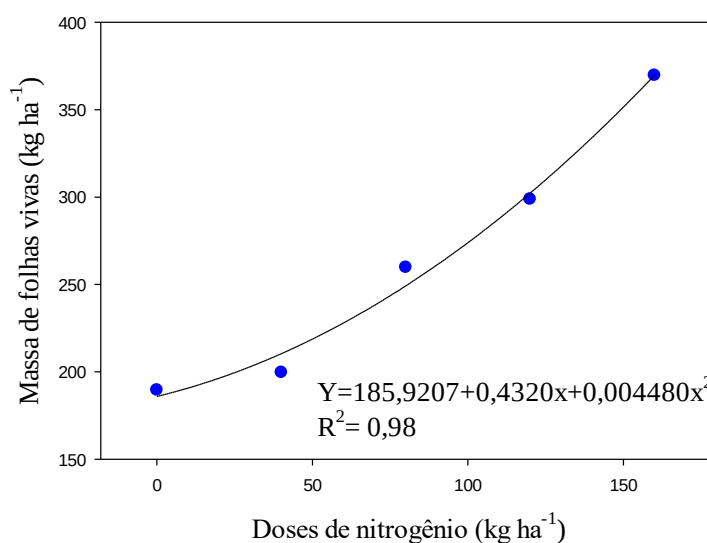
Segundo Ferreira (1990), uma maior proporção de espigas no material destinado à ensilagem é desejável, pois contribui para a melhoria da qualidade da forragem e, conseqüentemente, da silagem. De forma semelhante, além disso, o estudo de Soares (2003) revelou que o aumento nas doses de nitrogênio resultou em um incremento proporcional na massa seca de espigas. Esses resultados corroboram com os achados da presente pesquisa, reforçando a relação positiva entre o fornecimento de nitrogênio e o aumento da MSE, destacando a importância desse nutriente para a maximização do rendimento produtivo para silagem. Para alguns sistemas de produção, o aumento da concentração de fibra é visto como vantajoso, pois se inclui na dieta dos animais um ingrediente que auxilia no balanceamento físico (promove mastigação).

5.2.2 Massa de folhas vivas (MFV)

Observa-se que a massa seca de folhas vivas por planta foi significativamente influenciada ($p < 0,05$) pelos diferentes níveis de adubação nitrogenada em cobertura (Tabela 4). Com a relação a MFV, a dose de 160 kg ha⁻¹ de nitrogênio destacou-se por proporcionar o

maior valor de massa seca de folhas por planta, com valor médio de 369,74 kg ha⁻¹, evidenciando a resposta positiva entre a adubação nitrogenada na cultura, com incremento médio de produção de silagem em torno de 98,87%, demonstrando que, a utilização de N, resultou em plantas mais folhosas, garantindo uma maior produtividade de biomassa para silagem. Os resultados expressivos foram alcançados também com as doses de 120 e 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio, que proporcionaram produções de 302,28 kg ha⁻¹ e 249,15 kg ha⁻¹, com acréscimo na produção em torno de 62,58% e 34,00%, respectivamente, quando comparada a dose de 0 kg ha⁻¹. A dose de 40 kg ha⁻¹ de N demonstrou produção de 210,37 kg ha⁻¹, onde esse valor representa aumento de 13,15%. A dose 0 kg ha⁻¹ de nitrogênio, obteve os resultados menos expressivos, com médias inferiores aos demais tratamentos com doses maiores do fertilizante, representando em torno de 185,92 kg ha⁻¹.

Figura 9. Análise de regressão para o parâmetro massa de folhas vivas (MFV) de milho crioulo (*Zea Mays*) em função das doses de nitrogênio aplicadas.



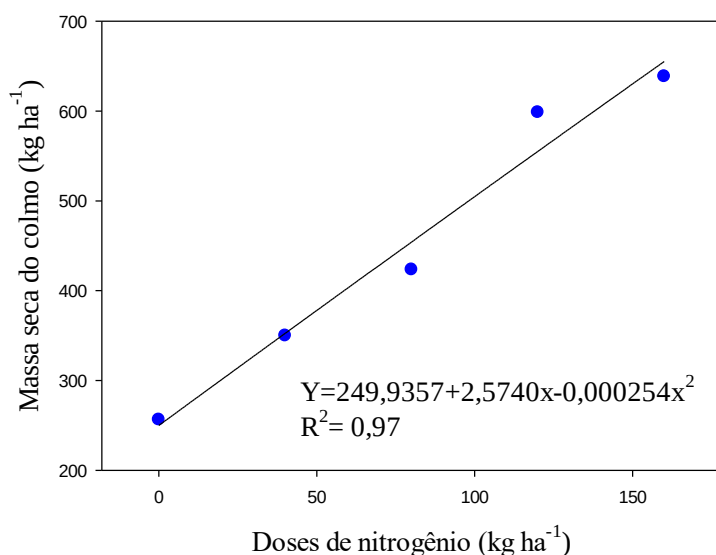
Fonte: Silva, G.S., 2024

Esses dados reforçam a importância do manejo adequado da fertilização nitrogenada para otimizar o desenvolvimento vegetativo e a qualidade do material colhido para silagem. Resultados similares foram obtidos por Gava *et al.* (2010), onde verificaram que a elevação da adubação mineral de N resultou no aumento da massa da matéria seca pela cultura de milho, e por Fernandes *et al.* (2005) em que observaram acréscimo da massa seca em plantas de milho com aumento das doses de N (0, 30, 90 e 180 kg ha⁻¹).

5.2.3 Massa do colmo (MC)

Na Figura 10, observou-se que a dose de 160 kg ha⁻¹ de N promoveu um aumento de aproximadamente 162,17%, com resultado em torno de 655,26 kg ha⁻¹ na MSC em relação ao tratamento sem aplicação de nitrogênio (0 kg ha⁻¹ de N), que registrou produção em torno de 249,93 kg.ha⁻¹, com efeitos significativamente positivos. As doses de 40 e 80 kg ha⁻¹ de N também resultaram em aumentos substanciais na MSC, com acréscimos de cerca de 41,03% e 81,73%, atingindo produções médias de 352,48kg.ha⁻¹ e 454,22 kg.ha⁻¹, respectivamente. Com a aplicação de 120 kg.ha⁻¹ de N, o incremento na MSC alcançou cerca de 122,12%, totalizando um aumento aproximado de 555,15 kg.ha⁻¹. Esses resultados evidenciam a influência direta das doses crescentes de nitrogênio sobre o acúmulo de biomassa no colmo. No entanto, sem a aplicação de N, os efeitos foram negativos, com a biomassa do colmo limitada a 249,93kg.ha⁻¹ significativamente inferior em comparação às maiores doses de N.

Figura 10: Análise de regressão para o parâmetro Massa do colmo (MC) de milho crioulo (*Zea Mays*) em função das doses de nitrogênio aplicadas.



Fonte: Silva, G.S.,2024

O aumento da matéria seca do colmo (MMSC) foi diretamente proporcional às doses crescentes de nitrogênio, destacando a importância desse nutriente para o desenvolvimento morfológico e estrutural das plantas. Esses resultados corroboram estudos anteriores que

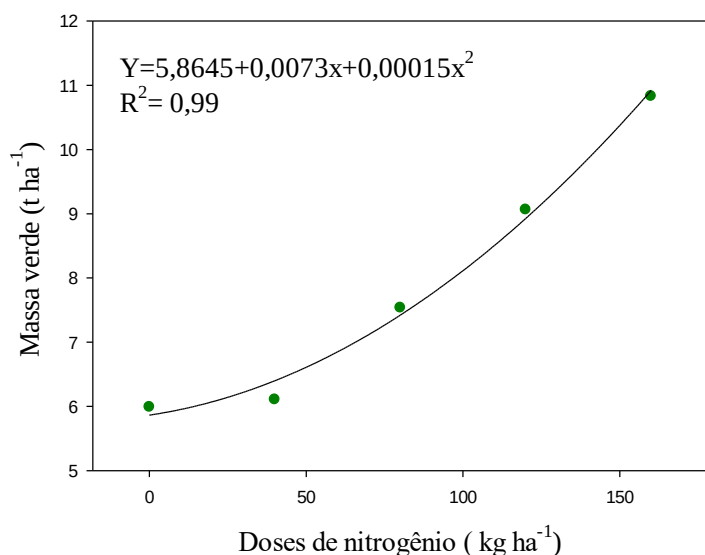
também relataram aumentos significativos na acumulação de biomassa com a aplicação de doses progressivas de nitrogênio (Araújo *et al.*, 2004; Gomes *et al.*, 2007).

A literatura evidencia a forte relação entre o crescimento das plantas de milho e o suprimento de N, reafirmando o papel essencial desse elemento no aprimoramento do desempenho vegetativo da cultura. Souza *et al.* (2008) observaram comportamento similar, com crescimento linear do colmo e aumento médio de 25% na massa verde em resposta ao aumento das doses de N, resultados que são consistentes com os achados deste estudo. Moraes *et al.* (2017) também relataram efeitos significativos na matéria seca do colmo com a elevação das doses de N, reforçando a importância do nitrogênio no processo produtivo do milho.

5.2.4 Massa verde (MV)

Na Figura 12, observa-se que houve ajuste da massa verde (MV) ao modelo de regressão quadrática com coeficiente de determinação $R^2 = 0,99$. Os resultados mais expressivos foram obtidos com a dose de 160 kg ha^{-1} de nitrogênio, resultando em produção de 10,8 toneladas por hectare, com incremento médio de 86,20%. Ao comparar com a menor dose aplicada, 0 kg ha^{-1} de N, resultou em efeitos menos expressivos, com produção média de 5,8 toneladas por hectare.

Figura 11. Análise de regressão para o parâmetro Massa verde (MV) de milho crioulo (*Zea Mays*) em função das doses de nitrogênio aplicadas.



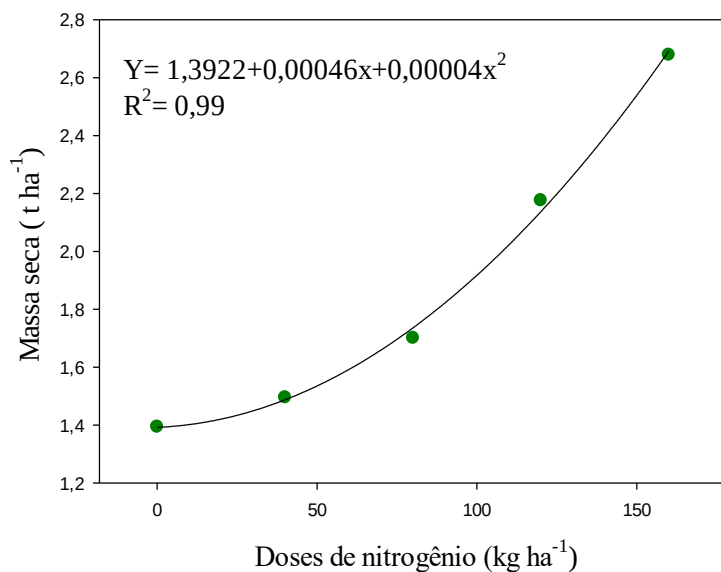
Fonte: Silva, G.S.,2024

Nesse sentido, conforme é observado, doses de nitrogênio a partir de 40 kg ha⁻¹ no sistema de produção já demonstram resultados superiores. Esse efeito se intensifica de forma linear, alcançando um potencial máximo com a aplicação de 160 kg ha⁻¹, o que pode resultar em uma produtividade de até 10 toneladas por hectare. O nitrogênio é o nutriente mais relevante para a cultura (Roberto *et al.*, 2010), desempenhando funções cruciais no metabolismo vegetal e influenciando tanto a quantidade quanto a qualidade da forragem destinada à ensilagem (Basi *et al.*, 2011). Os resultados apresentados na Figura 12 são consistentes com os de Theodoro *et al.* (2021), que relataram um coeficiente de determinação (R^2) de 99,9% e maior produção de massa verde a partir da aplicação de 150 kg de nitrogênio por hectare. Esses dados reforçam que o aumento da adubação nitrogenada promove o incremento na produção de biomassa, confirmando os achados deste estudo.

5.2.5 Massa seca (MS)

Conforme indicado na Tabela 4, a massa seca em resposta às doses de nitrogênio apresentou um efeito significativo, conforme confirmado pelo teste F a um nível de significância de 5%. Os dados se ajustaram de maneira robusta a um modelo de regressão quadrática, com um coeficiente de determinação de $R^2 = 0,99$. A Figura 13 ilustra a produção de massa seca do milho destinada à silagem em função das diferentes doses de nitrogênio. As maiores produções, de 2,6 t ha⁻¹, foram alcançadas com a aplicação de 160 kg ha⁻¹ de nitrogênio na forma de uréia, resultando em um incremento de 100% na massa seca. As doses de 120 e 80 kg ha⁻¹ de N geraram produções de 2,1 e 1,7 t ha⁻¹, com incrementos médios em torno de 61,53% e 30,76%, respectivamente. A dose de 40 kg ha⁻¹ de N também resultou em uma produção de 1,4 t ha⁻¹, com um aumento médio em torno de 7,69%. Em contraste, a ausência de nitrogênio (0 kg ha⁻¹) resultou em uma produção menos expressiva, com uma média de 1,3 t ha⁻¹ de MS na produção de silagem.

Figura 12. Análise de regressão para o parâmetro Massa seca (MS) de milho crioulo (*Zea Mays*) em função das doses de nitrogênio aplicadas.



Fonte: Silva, G.S., 2024

Estes valores são maiores que a melhor produção obtida na testemunha (1,3 t ha⁻¹). A diferença observada entre a ausência de adubação e a aplicação de 160 kg ha⁻¹ de nitrogênio foi de 2 t ha⁻¹, indicando uma resposta altamente favorável à adubação nitrogenada. Yamada (1995) destacou que a adubação nitrogenada tende a proporcionar uma resposta positiva considerável, especialmente quando aplicada no momento da semeadura. Além disso, os tratamentos de adubação influenciaram de maneira significativa os componentes de produção da massa seca, evidenciando a importância da nutrição adequada para a maximização do rendimento da cultura.

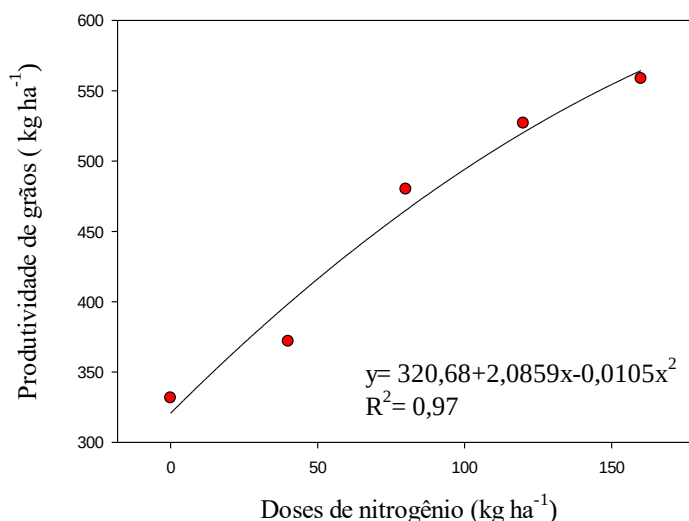
Resultados semelhantes foram relatados por Souza *et al.* (2008), que observaram que as maiores produções de matéria seca (14,6 e 16,5 t ha⁻¹) foram alcançadas com doses de 164 e 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio na forma de ureia. De maneira análoga, os estudos conduzidos por Soares *et al.* (2016) demonstraram uma produtividade otimizada com a aplicação de 208 kg ha⁻¹ de N, resultando em 9,6 t ha⁻¹, em contraste com a produtividade reduzida de 7,1 t ha⁻¹ observada no tratamento sem nitrogênio. Esses achados corroboram os resultados da presente pesquisa, sublinhando a importância do nitrogênio na promoção da produtividade agrícola para a produção de silagem. Os resultados do presente trabalho são inferiores devido se tratar de uma variedade crioula, tendo um resultado menos expressivos em comparação as variedades híbridas dos trabalhos citados. Adicionalmente, Neumann *et al.* (2019) também observaram um aumento significativo no teor de massa seca da planta em resposta à aplicação de diferentes doses de nitrogênio, destacando os efeitos benéficos do nutriente na melhoria da biomassa total da planta.

A análise do impacto da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho representa uma prática essencial no contexto da nutrição vegetal, desempenhando um papel estratégico na otimização do uso de insumos agrícolas. Essa técnica permite ainda maximizar a produção total em uma área delimitada, promovendo uma redução proporcional nos custos de produção e aumentando a eficiência econômica do sistema agrícola para a produção de silagem.

5.2.6 Produtividade de grãos de milho

Na Figura 13, observa-se que houve ajuste ao modelo de regressão quadrática com coeficiente de determinação $R^2 = 0,97$. Os resultados mais expressivos foram obtidos com a dose de 160 kg ha^{-1} de nitrogênio, resultando em produção de 550 kg ha^{-1} de grãos, com incremento médio de 20,25%. Ao comparar com a menor dose aplicada, 0 kg ha^{-1} de N, resultou em efeitos menos expressivos, com produção média de $320,68 \text{ kg ha}^{-1}$ de grãos.

Figura 13. Análise de regressão para o parâmetro produtividade de grãos de milho crioulo (*Zea Mays*) em função das doses de nitrogênio aplicadas.



Fonte: Silva, G.S., 2024

De acordo com Bastos *et al* (2008), as doses e formas de parcelamento influenciaram na produtividade de grãos finais, demonstrando o efeito significativo do N para essa variável. Conforme observado por Goes *et al.* (2013) observou no desdobramento que a ureia se destacou e foi superior ao sulfato de amônio desde a dose de 80 kg ha^{-1} . Fernandes *et*

al. (2005), avaliando a eficiência de doses de nitrogênio (0, 30, 90 e 180 kg ha⁻¹) em cultivares de milho irrigado na região de Selvíria, MS, verificaram que a máxima produtividade média foi alcançada com a estimativa de 110 kg ha⁻¹ de nitrogênio para uma produtividade de 6.000 kg ha⁻¹ de grãos.

5.3. Análise de clorofila (chl-a, chl-b, chl-t e carotenoides)

Na Tabela 5, constata-se que houve efeito significativo ($p \leq 0,05$) do fator doses de nitrogênio (D_N) para as variáveis Clorofila (Chl-a, Chl-b, Chl-t, Dano de membrana (DM), conforme evidenciado pelo teste F.

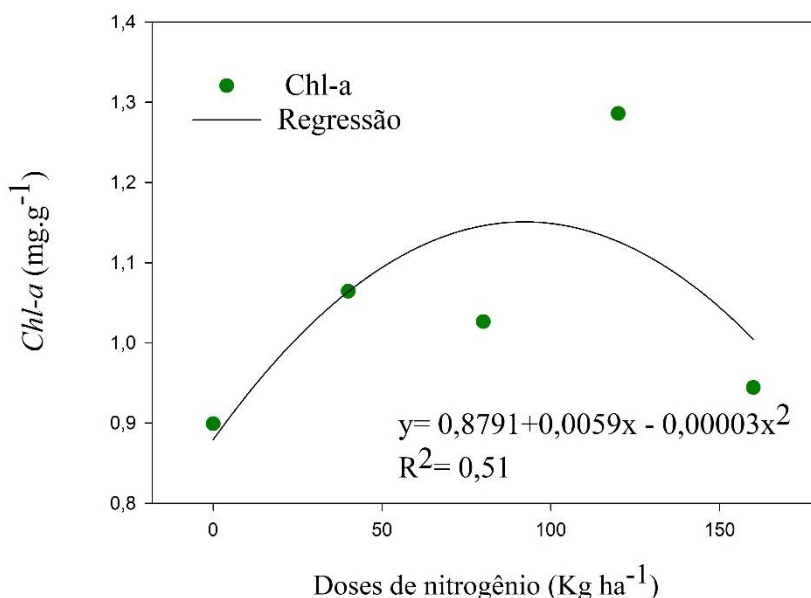
Tabela 5. Resumo da análise de variância para Clorofila (Chl-a, Chl-b, Chl-t e Carotenoide), Dano de membrana (DM) e conteúdo de Sódio (Na^+) e Potássio (K) do milho sob doses de nitrogênio (D_N).

Fonte de variação	GL	Quadrado médio						
		Chl-a	Chl-b	Chl-t	Car	DM	Na^+	K^+
Doses de nitrogênio (D_N)	4	0,0901**	0,0115**	0,1707**	2,168 ^{ns}	1,75**	22,14 ^{ns}	9365 ^{ns}
Blocos	3	0,0090 ^{ns}	0,0015 ^{ns}	0,0464 ^{ns}	0,140 ^{ns}	164 ^{ns}	90,16 ^{ns}	1484 ^{ns}
Resíduo	12	0,0137	0,0008	0,0236	0,8127	19,55	40,88	495
CV	%	11,22	6,70	10,33	12,76	10,77	16,38	12,95

**, * - Significativo a $p \leq 0,01$ e $0,05$, respectivamente, e ^{ns} - não significativo, pelo teste F.

A aplicação de 120 kg N ha⁻¹ resultou nos níveis mais elevados de clorofila-a (Chl-a) em comparação aos tratamentos com doses menores de nitrogênio, apresentando um valor médio de 1,16 mg g⁻¹, com aumento significativo de 33,33%. Em contrapartida, o tratamento com 160 kg N ha⁻¹ mostrou um efeito decrescente, com um teor de 1,05 mg g⁻¹ de Chl-a, com valor médio de 20,68%. As doses de 80 e 40 kg ha⁻¹ de N conteúdos equivalentes de 1,15 mg g⁻¹ e 1,06 mg g⁻¹ com decréscimos médios de 32,18% e 21,83%, respectivamente, ao se comparar com a dose que se sobressaiu. Em contraste, a ausência de nitrogênio (0 kg ha⁻¹) apresentou um valor médio de 0,87 mg g⁻¹, conforme evidenciado pelo teste F de significância (Figura, 14A).

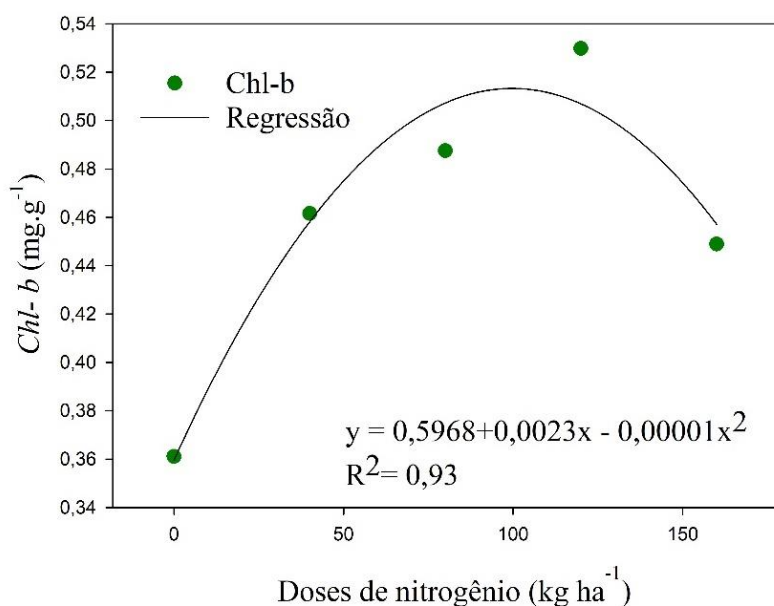
Figura 14. Análise de regressão para Conteúdo de Chl-a, de milho crioulo (*Zea Mays*) em função das doses de nitrogênio aplicadas.



Fonte: Silva, G.S.,2024

De forma similar, a clorofila b (Chl-b) apresentou um aumento expressivo com a aplicação de 120 kg N ha⁻¹ (Fig. 14 B), atingindo valores ideais em torno de 0,53mg g⁻¹ de pigmento fotossintético, representando cerca de 47,22% nos resultados. Em doses menores de N, como 40 e 80 kg ha⁻¹, observou-se uma tendência de redução nos teores de Chl-b, com valores médios de 0,47 e 0,49mg g⁻¹, com valores médios em torno de 30,55% e 36,11%, respectivamente. Por outro lado, o tratamento com 160 kg N ha⁻¹ exibiu um efeito decrescente, registrando 0,44 mg g⁻¹ de Chl-b, com média inferior de 27,77%. No tratamento controle, sem a aplicação de nitrogênio, os teores de pigmentos fotossintéticos foram os mais baixos, com 0,36 mg g⁻¹. A eficiência do uso de N tende a aumentar com o incremento das doses aplicadas, mas em doses mais baixas observou-se uma diminuição nos resultados. Em contrapartida, quando as doses são elevadas a maiores valores, a eficiência pode apresentar resultados negativos.

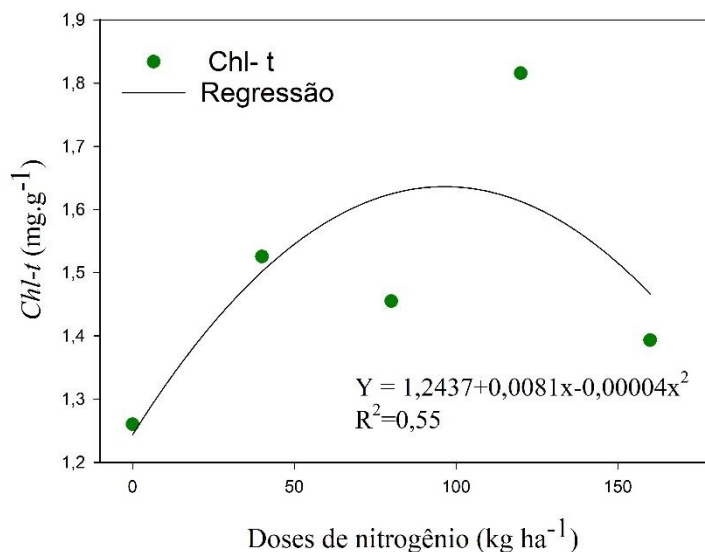
Figura 15. Análise de regressão para Conteúdo de Chl-b, de milho crioulo (*Zea Mays*) em função das doses de nitrogênio aplicadas.



Fonte: Silva, G.S.,2024

Já para os níveis de clorofila total (Chl-t) a aplicação de 120 kg N ha⁻¹ também resultou no maior valor médio de 1,82 mg g⁻¹ superando os tratamentos com doses menores, com acréscimo de 45,6%. Em contraste, a dose de 160 kg N ha⁻¹ apresentou um efeito decrescente, registrando um teor de 1,35mg g⁻¹ de Chl-t, com 8%. As doses de 80 e 40 kg ha⁻¹ de N resultaram em valores de 1,47 mg g⁻¹ e 1,52 mg g⁻¹, respectivamente, com reduções médias de 17,6% e 21,6% em comparação à dose mais eficaz. A ausência de nitrogênio (0 kg ha⁻¹) apresentou o menor valor, com média de 1,25 mg g⁻¹. A resposta fisiológica à aplicação de N seguiu um padrão linear, atingindo um ponto máximo dentro das doses estudadas, com um decréscimo observado na maior dose. Além disso, com exceção do conteúdo de carotenoides, que não apresentou diferença estatisticamente significativa em relação a nenhuma das doses aplicadas.

Figura 16. Análise de regressão para Conteúdo de Chl-t, de milho crioulo (*Zea Mays*) em função das doses de nitrogênio aplicadas.



Fonte: Silva, G.S., 2024

Conforme descrito por Taiz; Zeiger (2015), os carotenoides desempenham um papel crucial como pigmentos fotoprotetores, sendo responsáveis pelo quenching eficiente dos estados excitados da clorofila. Estes pigmentos estão tipicamente associados de forma estreita aos pigmentos protéicos das antenas e aos centros de reação. No contexto do presente estudo, verificou-se que os teores de carotenoides no milho não apresentaram um aumento significativo com a aplicação das diferentes doses de nitrogênio (Tabela 5). Os pigmentos fotossintéticos, incluindo as clorofilas e os carotenoides, são vitais para o desenvolvimento das plantas, desempenhando um papel indispensável na captura da energia solar essencial para o processo fotossintético. Quanto maior a quantidade de clorofila nas plantas, mais eficiente será o processo de fotossíntese.

Observou-se, no milho, diferença significativa entre os tratamentos para os teores de Chl-a, Chl-b e chl-t, os quais foram influenciados pelo aumento nas doses de N aplicadas em cobertura. Esses achados corroboram os resultados reportados por Recieri (1998) e Rocha (2003), que identificaram correlações positivas e estatisticamente significativas entre as leituras obtidas com o medidor de clorofila e os níveis de nitrogênio nas folhas ao longo do ciclo fenológico da cultura do milho, bem como uma associação direta com o rendimento final de grãos. A quantificação de clorofila em folhas de milho reveste-se de grande importância, uma vez que constitui um indicador robusto dos níveis de nitrogênio presentes nas plantas. O teor de nitrogênio foliar apresenta uma correlação estreita com a produtividade da cultura, refletindo diretamente no desempenho agrônômico das plantas (Zuffo *et al.*, 2012).

Segundo Fornari *et al.* (2020), a adubação nitrogenada 100% mineral foi superior, em

relação aos demais tratamentos, estudando a relação de pigmentos fotossintéticos e produção de milho. Estudos que revelam variações nos teores de clorofila em função da idade das plantas foram também relatados por Zhang *et al.* (2008) em folhas de orquídea da espécie *Cypripedium flavum*. As diferenças estruturais e os estágios fisiológicos de maturação afetam as características fisiológicas das folhas, incluindo o teor de clorofila, que se mostra significativamente mais elevado em folhas maduras em comparação às jovens. Resultados semelhantes foram reportados por Teixeira Filho *et al.* (2010) em estudos com trigo (*Triticum aestivum*). A explicação para esse fenômeno está ligada ao papel crucial do nitrogênio na fisiologia das plantas, particularmente na síntese de clorofilas. Aproximadamente 50% a 70% do nitrogênio presente nas folhas é incorporado em enzimas associadas aos cloroplastos (Chapman e Barreto, 1997), o que justifica o aumento na concentração de clorofila com a adubação nitrogenada.

Conforme Ya-wei *et al.* (2019), híbridos de milho com maiores teores de clorofila realizam a fotossíntese de forma mais eficiente, resultando em melhor desenvolvimento. No entanto, sob baixas doses de nitrogênio, as plantas, embora consigam interceptar mais luz, têm sua capacidade de absorção e transmissão prejudicada, inibindo o processo fotossintético. Segundo Taiz *et al.* (2015), a disponibilidade de nitrogênio favorece a síntese de compostos das membranas celulares, enquanto sua deficiência reduz os teores de clorofila, como ilustrado na Figura 14. Em contrapartida, a dose de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio preserva concentrações mais elevadas de clorofila a, b e total nas folhas. As clorofilas são essenciais para a fotossíntese, captando a energia luminosa, com a clorofila atuando como o pigmento principal nos complexos coletores de luz (LHC), essenciais para as reações fotoquímicas (Taiz; Zeiger, 2015).

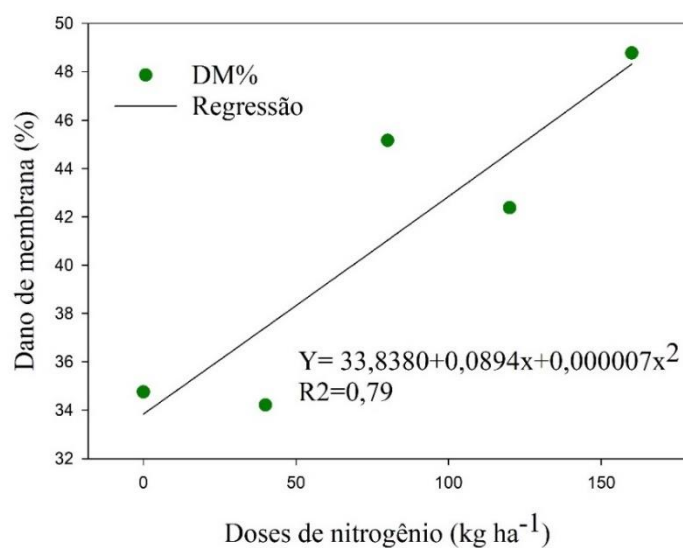
5.4 Efeitos do nitrogênio sobre o Dano de membrana

Para a variável extravasamento de eletrólitos (EE) nas folhas de milho, observou-se diferença significativa ($p \leq 0,05$) para os níveis de adubação, ocorrendo um maior extravasamento no maior nível (160 kg de N ha⁻¹). A equação que melhor se ajustou foi a quadrática, apresentando coeficiente de determinação de $R^2 = 0,79$ (Figura 15).

As plantas do tratamento controle (T0) apresentaram um baixo extravasamento de eletrólitos, cerca de 33,83% do total (Fig. 15). Com a aplicação de 40 kg de N ha⁻¹, o extravasamento de eletrólitos aumentou para aproximadamente 37,42% em relação ao controle,

isso pode ser explicado pela maior disponibilidade inicial de nitrogênio pela uréia. Sob a dose de 80 kg de N ha⁻¹, houve um incremento de 41,03%, com um extravasamento total 17,76% superior. Na dose de 120 kg de N ha⁻¹, observou-se um extravasamento de aproximadamente de 44,66%. Já sob a aplicação de 160 kg de N ha⁻¹, a cultivar crioula apresentou um extravasamento de cerca de 48,31%, o que representa a maior porcentagem, indicando danos mais severos à planta. A aplicação de nitrogênio resultou em um aumento no extravasamento de eletrólitos na cultivar de milho crioulo, em comparação aos tratamentos que não receberam adubação.

Figura 17 – Análise de regressão para dano de membrana de milho crioulo (*Zea Mays*) em função das doses de nitrogênio aplicadas.



Fonte: Silva, G.S., 2024

A membrana plasmática, que serve como a barreira de permeabilidade mais externa da célula, é um dos principais alvos dos danos causados por estresses ambientais (Dupont *et al.*, 2011). Diversos tipos de estresses abióticos, como salinidade (Salama *et al.*, 2005; López-Pérez *et al.*, 2009), déficit hídrico (Martins Júnior *et al.*, 2008), níveis maiores de nitrogênio N, podem alterar sua composição, estrutura e permeabilidade. Danos induzidos por estresses, como o aumento das doses de nitrogênio (N), têm sido avaliados por meio do extravasamento de eletrólitos. No presente estudo, o tratamento com N resultou em um aumento significativo no

EE à medida que as doses foram incrementadas. O maior extravasamento observado no milho indica que a presença de N foi capaz de modificar características essenciais da membrana plasmática, tornando-a mais permeável. Isso pode estar associado ao nitrogênio acelerar o crescimento da planta, dessa forma, as plantas encontravam com maturidade fisiológica diferentes. Aparentemente, os efeitos do N alteram a organização e a dinâmica de componentes da membrana, que, somadas, resultam na perda de metabólitos celulares. Uma possível explicação seria uma indução à produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (EROs) e, ou pela inativação de enzimas antioxidativas nas células vegetais causada por níveis tóxicos de N (Jones *et al.*, 2006). Outra possibilidade seria a alteração na composição lipídica da membrana plasmática. Modificações desse tipo podem alterar a fluidez e a permeabilidade da membrana plasmática, como sugerido por Dupont *et al.* (2011), resultando em variações no extravasamento de eletrólitos, conforme observado neste experimento.

Rigon *et al.* (2011) encontraram resultados semelhantes aos deste trabalho em relação ao efeito do nitrogênio (N) no extravasamento de eletrólitos na cultura do algodão. Os pesquisadores relataram que as diferentes fontes de nitrogênio aumentaram a permeabilidade da membrana celular, provavelmente devido à maior disponibilidade e consequente assimilação de nitrogênio pela planta, o que torna a membrana mais suscetível ao alongamento celular. Nesse estudo, a aplicação de ureia como fonte de nitrogênio também resultou nos maiores valores para este atributo, ou seja, proporcionou maior suscetibilidade à ruptura da membrana celular. O IPEF (2003) constatou que o excesso de nitrogênio induz uma maior suscetibilidade a doenças, atribuída ao enfraquecimento do enrijecimento da parede celular. Esse fenômeno foi evidenciado por meio do teste de extravasamento de eletrólitos, que revelou a ruptura da integridade da membrana celular.

No trabalho feito por Medeiros (2023) nas análises do EE em função das doses de nitrogênio em mudas de romã, observou-se um aumento para essa variável com o incremento das doses aplicadas. As plantas que receberam a dose mais elevada de (150 mg de N por kg⁻¹) apresentaram um EE de 8,32%. Esse fenômeno pode ser atribuído à acidez gerada durante o processo de mineralização da amônia, fornecida pela ureia, que libera íons de hidrogênio, resultando em um impacto direto sobre o pH do solo (Fageria *et al.*, 2011). Dessa maneira observa-se que o nitrogênio apresenta grande influência nessa variável, acarretando resultados significativos.

5.5 Conteúdo de sódio (Na⁺) e potássio (K⁺)

A aplicação de adubação nitrogenada na cultura do milho não exerceu influência significativa sobre a absorção de sódio (Na^+) e potássio (K^+) pelo teste F, logo $p > 0,05$ (Tabela 5). Mesmo com o incremento das doses de nitrogênio, não foi observado um aumento expressivo no acúmulo desses elementos nas plantas. Esse resultado sugere que a dinâmica de absorção de Na^+ e K^+ no milho é relativamente estável e independente das variações nas doses de nitrogênio aplicadas.

6. CONCLUSÃO

1) A aplicação de nitrogênio em doses crescentes proporcionou aumento tanto da produtividade de massa seca e verde do milho para silagem. Como de uma série de outras variáveis que contribuíram de forma significativa como altura de planta, comprimento do colmo, comprimento da panícula.

2) Para as variáveis altura de planta, comprimento do colmo, número de folhas mortas, número de folhas vivas os melhores resultados foram proporcionados pela aplicação de 160 kg.ha^{-1} de N.

3) Houve efeito significativo para a chl-a Chl-b e Chl-t demonstrando que a dose de maior quantidade de N influenciou no rendimento da cultura, melhorando seu desempenho fotossintético.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIMILHO - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DO MILHO. **Oferta e Demanda do Milho – Brasil**. Disponível em: <http://www.abimilho.com.br/estatisticas>. Acesso em: 04 abril. 2024.
- ALVES, H. C. R.; AMARAL, R. F. Produção, área colhida e produtividade do milho no Nordeste. Banco do Nordeste. Fortaleza: Informe Rural Etene, 2011.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob Sistema de Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.1, p.241-248, 2002.
- ANDRADE, C. L. T. et al. **Viabilidade e Manejo da Irrigação da Cultura do Milho..** Embrapa Milho e sorgo, Sete Lagoa – MG, 12p, 2008. “Circular técnica 85”.
- ANDREUCCI, M. P. **Perdas nitrogenadas e recuperação aparente de nitrogênio em fontes de adubação de capim elefante**. 2008. 203p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- ARAÚJO, L. A. N.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 8, p. 771-777, 2004.
- BASI, S. et al. Influência da adubação nitrogenada sobre a qualidade da silagem de milho. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 4, n.3, p.219-234, 2011.
- BASTOS, E. A et al. Doses e formas de parcelamento de nitrogênio para a produção de milho sob plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 2, p. 275-280, 2008.
- BESEN, M. R. et al. Produtividade de milho e retorno econômico em sistema integrado de produção com doses de nitrogênio. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.19, p.94-103, 2020.
- BORTOLINI, C. G. et al. Sistemas de aplicação de nitrogênio e seus efeitos sobre o acúmulo de N na planta de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n 2, p. 361-366, 2002.
- BRUNETTE, T.; BAURHOO, B.; MUSTAFA, A.F. Efeitos da substituição de silagem de capim por silagem de milho perolado forrageiro na produção de leite, digestão de nutrientes e fermentação ruminal de vacas leiteiras em lactação. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 1, p. 269-279, 2016.
- BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: Büll, LT e Cantarella, H. E. **Cultura do milho: Fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, p. 63-145, 1993.
- CAIRES, E.F et al. Calagem superficial e fertilização nitrogenada para produção de grãos em sistema plantio direto no Brasil. **European Journal of Agronomy**. v. 66, n. 2, p. 41-53,

2015.

CARPENTIERI-PÍPOLO, V. et al. Avaliação de cultivares de milho crioulo em sistema de baixo nível tecnológico. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 2, p. 229-233, 2010.

CARVALHO, H. W. L. et al. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho no nordeste brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 6, p. 1115-1123, 2000.

CARVALHO, R. P.; PINHO, R. G. V.; AVIDE, L. M. C. Desempenho de cultivares de milho quanto à eficiência de utilização de nitrogênio. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 10, n. 2, p. 108 –120, 2011.

CASTOLDI, G. et al. Sistemas de cultivo e uso de diferentes adubos na produção de silagem e grãos de milho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 1, p. 139-146, 2011.

CIOMPI, I. S. et al. O efeito da deficiência de nitrogênio nas trocas gasosas foliares e nos parâmetros de fluorescência da clorofila em girassol. **Ciência Vegetal**, v. 2, p. 177-184, 1996.

COELHO, A. M. **Nutrição e Adubação do Milho**. Sete Lagoas- MG, p.1-10, dez, 2006. “Circular técnica”.

COBUCCI, T. **Efeitos de doses e épocas de aplicação em cobertura do adubo nitrogenado no consórcio milho-feijão**. 1991. 94 p. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Fitotecnia) –Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 8 oitavo levantamento, maio 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4997-com-boa-produtividade-safra-de-graos-2022-23-e-estimada-em-313-9-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 25 de Ago. de 2023.

CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I. A.; SIMÃO, E. P. **478 cultivares de milho estão disponíveis no mercado de sementes do Brasil para safra 2014/15**. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas. 2014. “Circular técnica 167”.

CRUZ, J. C. et al. **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 510 p.

CUNHA, T.J.F. Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: Sá, I. B e Silva, P.C.G (eds.) **Semiárido Brasileiro. Pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Embrapa Semiárido, Petrolina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 931-948, 2010.

CUNHA, A. S. S.; JESUS, J. M. I.; BUSO, W. H. D. Desempenho de milho crioulo e híbrido sob a aplicação de doses de nitrogênio em cobertura no cerrado. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 11, n. 1, p. 45-51, 2017.

CUNHA, F. L. **Sementes da paixão e as políticas públicas de distribuição de sementes na Paraíba**. 2013. 184f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal Rural

do Rio de Janeiro, Seropédica, 2013.

CHAPMAN, S.C.; BARRETO, H.J. Usando um medidor de clorofila para estimar o nitrogênio foliar específico do milho tropical durante o crescimento vegetativo. **Agronomy Journal**, v.89, n.4, p. 557-562, 1997.

DARTORA, J. *et al.* Adubação nitrogenada associada à inoculação com *Azospirillum* brasilense e *Herbaspirillum* seropedicae na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1023-1029, 2013.

DANTAS, T. **Milho**. 2017. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/saudebemestar/milho.htm#:~:text=Acredita%2Dse%20que%20o%20milho,dispostos%20em%20fileiras%20em%20espigas>>. Acesso em: 09 jul. 2024.

DEBASTIANI, R. S. **Inoculação de sementes com *Azospirillum* brasilense associado à adubação nitrogenada na cultura do milho**. 2016. 22 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) — Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2016.

DRIEHUIS, F *et al.* Revisão da silagem: riscos à saúde animal e humana causados pela silagem. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 4093–4110, 2017.

DUARTE, J. O. *et al.* Cultivo do Milho. Embrapa Milho e Sorgo. **Sistemas de Produção** 1, 3ª ed., 2007.

DUPONT, S. *et al.* A natureza dos esteróis afeta o comportamento da membrana plasmática e a sobrevivência da levedura durante a desidratação. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1808, n. 6, p. 1520-1528, 2011.

EMBRAPA. **Cultivares de milho da embrapa**, 2023. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/6329/milho-brs-gorutuba>>. Acesso em: 24, ago e 2023.

FAGERIA, N. K.; MOREIRA, A.; COELHO, A. M. Rendimento e Componentes do Rendimento Do Arroz De Plantação Influenciados Por Fontes De Nitrogênio. **Journal of Plant Nutrition**, v.34, p.361-370, 2011.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária.2024, 270p.

FANCELLI, A. L. Manejo baseado na fenologia aumenta eficiência de insumos e produtividade. **Visão agrícola**, v. 13, n. 1, p. 24-29, 2015.

FERNANDES, V. C. S. *et al.* Produtividade de milho forrageiro com diferentes doses de nitrogênio em cobertura em sucessão ao tremoço branco. **In: 15º jornada científica e tecnológica e 12º simpósio de pós-graduação do ifsuldeminas**, Muzambinho/MG, v. 14, n. 1, 2022.

FERNANDES, f. C. S *et al.* Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de

milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 2, p. 195-204, 2005.

FERREIRA, J. J. Milho como forragem: eficiência a ser conquistada pelo Brasil. **Informe Agropecuário**, v. 14, n. 164, p. 44-46, 1990.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FOLLMANN, P. E. **Mitigação de danos de *Dichelops melacanthus* (Dallas, 1851) (Hemiptera: pentatomidae) em milho pela adubação nitrogenada de cobertura aplicada em diferentes estágios fenológicos**. 2019. 34 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2019.

FORNASIERI, F. D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007. 576 p.

FORNARI, E. Z et al. Relação entre pigmentos fotossintéticos e produção de milho sob fontes de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 50, p. e63661-e63661, 2020.

GALINDO, F. S. et al. Produtividade do milho e diagnóstico foliar afetados pela fertilização nitrogenada e inoculação com *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.40, p.1- 18, 2016.

GAVA, G.J.C et al. Produção de fitomassa e acúmulo de nitrogênio em milho cultivado com diferentes doses de 15N-uréia. **Semina: Ciências Agrárias**, v.31, n. 4, p. 851-862, 2010.

GOMES. R. F. et al. Efeito de doses e da época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agrônômicos da cultura do milho sobre plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31. n. 5. p. 931-938, 2007.

GOES, R.J et al. Características agronômicas e produtividade do milho sob fontes e doses de nitrogênio em cobertura no inverno. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 3, p. 250-259, 2013.

GOULART, A. M. C.; FERRAZ, L. C. C. B.; Inomoto, M. M. Nematóides na sucessão milho: cultivo deve ser planejado com cuidado. **Batata Show**, v. 21, p. 36-39, 2008.

GROSS, M. R.; VON PINHO, R. G.; BRITO, A. H. Adubação nitrogenada, densidade de semeadura e espaçamento entre fileiras na cultura do milho em sistema plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 3, p. 387-393, 2006.

HALL, A. E. Breeding For Heat Tolerance. **Plant Breed Res**, v. 10, p. 129-168, 1993.

HENRIQUE, J. C. G. S. et al. Influência da fertilização com nitrogênio e molibdênio na atividade enzimática e no aumento da produtividade do sorgo forrageiro sob déficit hídrico no semiárido brasileiro. **Journal of Plant Nutrition**, v. 47, n.15, p. 2543–2570, 2024.

HOEFT, R. G. Desafios para obtenção de altas produtividades de milho e soja nos EUA. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 104, n. 1, p. 1-4, 2003.

JONES, D.L.; et al. Coordenação espacial da absorção de alumínio, produção de espécies reativas de oxigênio, produção de calose e enrijecimento de parede em raízes de milho. **Plant Cell and Environment**, v. 29, p. 1309-1318, 2006.

KELLER, J.; KARMEI, D. Parâmetros de projeto de irrigação por gotejamento. **Transactions of the ASAE**, v. 17, n. 4, p. 678-684, 1974.

LAUER, J. G.; COORS, J. G.; FLANNERY, P. J. Rendimento e qualidade de forragem de cultivares de milho desenvolvidas em diferentes eras. **Crop Science**, v.41, p.1449-1455, 2001.

LEITE, F. G. **Cultivo de milho sob restrição hídrica, relações entre adubação nitrogenada, índices de vegetação e produtividade em ambiente irrigado e não irrigado**. 2023. 72 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, RS, 2023.

LEITE, M. L. M. V. et al. Estimativa da área foliar de *Pennisetum glaucum* por dimensões lineares. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 41, e42808, 2019.

LI, D. et al. Efeitos do baixo suprimento de nitrogênio nas relações entre fotossíntese e status de nitrogênio em diferentes posições foliares em mudas de trigo. **Plant Growth Regul**, v. 70, n. 3, p. 257–263, 2013.

LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C. Clorofilas e carotenoides: Medição e caracterização por espectroscopia UV-VIS. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**, v. 1, n. 1, p. F4.3.1-F4.3.8, 2001.

LIBERALI, M. A. **Perdas na colheita mecanizada do milho**. 2018. 27f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus de Cerro Largo, Cerro Largo, RS, 2018.

LOPES, A. S. **Solos sob “Cerrado”**: características, propriedade e manejo. Piracicaba: Potafos, 1983. 162p.

LÓPEZ-PÉREZ, L. et al. Alterações nos lipídios da membrana plasmática, aquaporinas e bomba de prótons das raízes de brócolis, como mecanismo de adaptação à salinidade. **Phytochemistry**, v. 70, p. 492-500, 2009.

MACHADO, R. et al. Análise de fluorescência da clorofila em linhagens de milho contrastantes para tolerância a seca submetidas a dois níveis de nitrogênio. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25.; SIMPOSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO, SPODOPTERA FRUGIPERDA, 1., 2004, Cuiabá, MT. Da agricultura familiar ao agronegócio: tecnologia, competitividade e sustentabilidade. Sete Lagoas: ABMS: Embrapa Milho e Sorgo; Cuiabá: Empaer, 2004.

MAGALHÃES, J. A.; CARNEIRO, M. S. S.; ANDRADE, A. C. Composição bromatológica do capim-marandu sob efeito de diferentes irrigações e adubações nitrogenadas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 933-942, 2015.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das**

plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: **Potafos**, 1997, p. 201.

MARTINS JÚNIOR, R. R. et al. Efeitos do déficit hídrico e da reidratação na resistência de membranas e lipídios polares de folhas de *Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, n. 2, p. 361-367, 2008.

MARTUSCELLO, J. A et al. Produção e morfogênese de capim BRS Tamani sob diferentes doses de nitrogênio e intensidades de desfolhação. **Boletim de Indústria Animal**, v. 76, p. 1-10, 2019.

MARTUSCELLO, J. A.; Fonseca, D. M.; Nascimento Jr, D. Características morfológicas e estruturais do capim-massai submetido a adubação nitrogenada e desfolhação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 3, p. 665-671, 2006.

MASCARELLO, G.; ZANÃO JÚNIOR, L. A. Produtividade de milho em resposta a doses de nitrogênio e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*. **Revista Cultivando o Saber**, Ed. Especial, p. 46-55, 2015.

MEDEIROS, F. M. D. S. **Adubação nitrogenada como atenuante da salinidade da água de irrigação em mudas de romã.** 2023. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) - Centro de Ciências e Tecnologias Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, PB, Brasil, 2023.

MENEGUETTI, G. A.; GIRARDI, J. L.; REGINATTO, J. C. Milho crioulo: tecnologia viável e sustentável. **Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 3, n. 1, p. 12-17, 2002.

MIRANDA, R. A. Uma história de sucesso da civilização. **A Granja**, v. 74, n. 829, p. 24-27, 2018.

MORAES, G. P. et al. Adubação nitrogenada associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 38, n. 3, p. 109-116, 2017.

MORAES, S. D et al. Produção e composição química de híbridos de sorgo e de milho para silagem. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, p. 624-634, 2013.

MULLER, T. **Inoculação de *Azospirillum brasilense* associada a níveis crescentes de adubação nitrogenada e o uso de bioestimulante vegetal na cultura do milho.** 97f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, Guarapuava, 2013.

NEUMANN, M. et al. Rendimentos e componentes de produção da planta de milho (*Zea mays* L.) para silagem, em função de níveis de adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 4, n. 3, p. 418- 427, 2010.

NEUMANN, M. et al. Avaliação de doses crescentes de nitrogênio em cobertura em milho para silagem. **Agrarian**, v. 12, n. 44, p. 156-164, 2019.

NUNES, J. L. S. **Características do milho.** 2020. Disponível em:

https://www.agrolink.com.br/culturas/milho/informacoes/caracteristicas_361401.html#:~:text=O%20milho%20pertence%20a%20fam%C3%ADlia,a%20diferentes%20condi%C3%A7%C3%B5es%20de%20ambiente. Acesso em: 09 de julho de 2024.

OKUMURA, R. S.; MARIANO, D. C.; ZACCHEO, P. V. C. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 4, n. 2, p. 26-244, 2011.

OLIVEIRA, P. C. S. Qualidade na produção de silagem de milho. **PUBVET**, v. 8, n. 4, p. 340-443, 2014.

OLIVEIRA, R. F.; ANJOS, W. S.; SILVA, A. N. Análise de milho sob diferentes níveis de adubação NPK no plantio e Nitrogênio em cobertura. **NATIVA-Revista de Ciências, Tecnologia e Inovação**, v. 5, n. 1, p. 39-45, 2023.

ORESCA, D. **Adubação nitrogenada como atenuador dos efeitos da salinidade da água de irrigação utilizada para produção de forragem no semiárido**. 2018. 80 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, PE, 2017.

PASA, C.; PASA, M. C. *Zea mays* L. e a produção de massa seca. **Biodiversidade**, v. 14, n. 3, 2015.

PATERNIANI, E.; NASS, L. L.; SANTOS, M. X. O valor dos recursos genéticos de milho para o Brasil. In: Udry, C. V.; Duarte, W. **Uma história brasileira do milho: o valor dos recursos genéticos**. Brasília: Paralelo 15, 2000. p. 11-41.

PATZLAFF, N. L et al. Variedades de milho com polinização aberta da Epagri sob efeito do espaçamento entre linhas. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 2, p. 5750-5766, 2020.

PEDERSEN, A. C. **Déficit hídrico em milho: caracterização fisiológica e inoculação com *Azospirillum brasilense***. 2013. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS. 2013.

PEREIRA, O. G et al. Características morfogênicas e estruturais do capim-tifton 85 sob doses de nitrogênio e alturas de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 9, p. 1870–1878, 2011.

POTTKER, D.; WIETHOLTER, S. Épocas e métodos de aplicação de nitrogênio em milho cultivado no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, n. 4, p. 1015-1020, 2004.

REPKE, R. A. et al. Eficiência da *Azospirillum brasilense* combinada com doses de nitrogênio no desenvolvimento de plantas. **Revista Brasileira de Milho Sorgo**, v. 12, n. 3, p. 214-226, 2013.

RIBEIRO, B. S. M. R. et al. **Ecofisiologia do milho visando altas produtividades**. 2.ed.; Santa Maria: Field Crops, 2024. 400 p.

- RIGON, J et al. Utilização da torta de mamona e de fontes de nitrogênio durante o crescimento inicial do algodão colorido. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO*, 8.; COTTON EXPO, 1., 2011, São Paulo. Evolução da cadeia para construção de um setor forte: **Anais**. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2011.
- ROBERTO, V. M. O.; SILVA, C. D.; LOBATO, P. N. Resposta da cultura do milho a aplicação de diferentes doses de inoculante (*Azospirillum brasilense*) via semente. *In: Anais*. XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Goiânia. 2010.
- ROMANO, M. R.; VERBURG, N.; J. M.; ROCHA, C. H. Desempenho de cinco variedades de milho crioulo em diferentes sistemas de produção. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, p. 808-811, 2007.
- SALAMA, K.H.A. et al. Alterações induzidas por NaCl em lipídios e proteínas da membrana plasmática de cultivares de *Zea mays* L. diferindo em sua resposta à salinidade. **Journal of Plant Nutrition**, v. 28, p. 507-520, 2005.
- SANGOI, L. **Estratégias de adubação nitrogenada em milho na região Sul do Brasil**. Lages, SC: Grapel, 2016, 122 p.
- SANGOI, L. et al. Perfilamento como característica mitigadora dos prejuízos ocasionados ao milho pela desfolha do colmo principal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 11, p. 1605-1612, 2012.
- SANTOS, G. et al. Custo e análise de sensibilidade na produção de silagem. **Revista iPecege**, v. 3, p. 39- 48, 2017.
- SANTOS, M. V. F. et al. Fatores que afetam o valor nutritivo da silagens de forrageiras tropicais. **Archivos de Zootecnia**, v. 59, p. 25-43, 2010.
- Semiarid, N. V. I. Produção de silagem: aspectos agronômicos e valor nutricional em regiões semiáridas-revisão sistemática. **Arquivos do Mudi**, 25(2), 127-154, 2021.
- SILVA, N. C. A. et al. Classificação das raças de milho do Brasil e Uruguai: abordagem metodológica e principais resultados. Milho de Várzea da América do Sul e Conservação da Agrobiodiversidade no Brasil e Uruguai, Ponta Grossa: **Atena Editora**, p. 87-109, 2020.
- SILVA, M. M. et al. Diferenças varietais nas características fotossintéticas de *Pennisetum purpureum* Schum. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n. 65, p. 1975-1983, 2001.
- SOARES, M. A. **Influência de nitrogênio, zinco e boro e de suas respectivas interações no desempenho da cultura de milho (*Zea mays* L.)**. 2003. 92p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2003.
- SOARES, M. A. S. et al. Crescimento e produtividade de grãos da cultura do milho sob doses de nitrogênio. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, v.14, n.1, p.431-443, 2023.
- SOUSA, V. F. **Cultivo do milho-verde irrigado na Baixada Maranhense**. São Luís:

Embrapa Meio Norte. 2020. 140 p. “Documentos 6”.

SOUZA, G.B et al. Produtividade e qualidade da silagem de milho adubado com a mistura de uréia e zeólita. *In: FERTBIO 2008, Londrina. Anais: Fertbio, 2008. CD Rom.*

SCOTTI-CAMPOS, P et al. Respostas fisiológicas e integridade de membrana em três genótipos de Vigna com tolerância contrastante à seca. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 25, n. 12, p. 1002-1013, 2013.

SKONIESKIS, F. R. et al. Efeito da fertilização de cobertura com nitrogênio e inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* na produtividade do milho e nas características agronômicas. **Agronomy**, v.9, n.812, p.1-11, 2019.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.858 p.

TEIXEIRA, M. C. M. et al. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 8, p. 797-804, 2010.

VALDERRAMA, M. et al. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 254-263, 2011.

VALENTE, J. O. Introdução. *In: EMBRAP A. Milho para silagem. Tecnologias, Sistemas e Custo de Produção*, EMBRAPA, CNPMS. Sete Lagoas, MG, 1991. p.5-7. “Circular Técnica-14”.

VIEIRA, A. F. et al. Avaliação agronômica de híbridos de milho para silagem em baraúna, região semiárida nordestina. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 2, p. 283-290, 2015.

XAVIER, D. A. et al. Produção de fitomassa do milho sob lâminas de irrigação e adubação nitrogenada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 3, p.144-148, 2014.

XAVIER, W. D et al. **Sensores para estimativa de nitrogênio e pigmentos fotossintetizantes em sorgo sacarino**. 2021. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021.

YAMADA, T. Adubação nitrogenada do milho. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n. 71, p. 1-3, 1995.

YA-WEI, W et al. Efeito do estresse de baixo nitrogênio nas características de fotossíntese e fluorescência da clorofila de cultivares de milho com diferentes tolerâncias a baixo nitrogênio. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 18, n. 6, p. 1246-1256, 2019.

ZANCANARI, N. S. **Anatomia e morfologia de plantas de milho com diferentes números de alelos transgênicos**. 2019. 74f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2019.

ZUFFO, A. L. et al. Eficiência na determinação indireta do nitrogênio foliar a partir do índice spad. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, v.8, n.15; p.802-820 2012.

ZHANG, S. B. et al. Variação da capacidade fotossintética com a idade das folhas em uma orquídea alpina, *Cypripedium flavum*. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 30, p. 381-388, 2008.