



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

PAMELA ESTEFANE DE SOUZA SANTOS

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DO SORGO GRANÍFERO EM FUNÇÃO DO
NITROGÊNIO**

**SERRA TALHADA, PE
2024**

Pamela Estefane de Souza Santos

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DO SORGO GRANÍFERO EM FUNÇÃO DO
NITROGÊNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Bacharelado em Agronomia da
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como
requisito 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): Suely Manzi – CRB-4 809

S237r

Santos, Pamela Estefane de Souza.

Desempenho agrônômico do sorgo granífero em função do nitrogênio / Pamela Estefane de Souza Santos. – Serra Talhada, 2024.

65 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. Sorgo como alimento. 2. Sorgo - Efeito do nitrogênio. 3. Regiões áridas. 4. Nutrição animal 5. Adubos e fertilizantes. I. Leite, Maurício Luiz de Mello Vieira, orient.
II. Título

CDD 630

Pamela Estefane de Souza Santos

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DO SORGO GRANÍFERO EM FUNÇÃO DO
NITROGÊNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Bacharelado em Agronomia da
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como
requisito para obtenção do Título de Engenheira
Agrônoma.

APROVADA em 02 de outubro de 2024

BANCA EXAMINADORA:

**Prof. Dr. Mauricio Luiz de Mello Vieira Leite
(Orientador)**

**Profa. Dra. Elisiane Alba
(UFRPE-UAST)**

**Dr. José Raliuson Inácio Silva
(UFRPE-UAST)**

**SERRA TALHADA, PE
2024**

Dedico este trabalho a minha mãe Edinalva Gomes de Souza Santos que de baixo de muito sol, fez eu chegar até aqui na sombra e a minha irmã Aline Santos, que nunca deixou de acreditar em mim mesmo com tantos motivos para desistir.

AGRADECIMENTOS

Primeira eu agradeço a Deus por ter me dado força para ter chegado até aqui. Segundo que a agradecer a minha família que sempre acreditaram e me ajudaram a chegar a realizar esse sonho, em especial a minha Mãe, que nunca mediu esforços para realizar meus sonhos.

Quero agradecer ao meu orientador Professor Mauricio Leite por ter me ajudado neste processo e por seus ensinamentos e ao meu grupo de estudos (GEFOR) e integrantes que fazem parte, por todo apoio e ajuda durante este período. Quero agradecer ao Professor Geraldo Eugênio por doar as sementes, e ao Dr. Raulison por ajudar na implementação do projeto em campo.

Quero agradecer aos meus amigos de turma (Gabriela, Stefany, Guilherme, Henrique, Hozanan e Janiele) , que durante esses períodos estiveram presentes, em especial Nadyelly Moraes, que esteve comigo desde do primeiro período, me ajudando e auxiliando, para ser alguém melhor, aguentando minhas reclamações e sendo minha dupla em tudo, a Lucas Monteiro, que se tornou mais que um amigo e sim um irmão, que esteve comigo desde do início, Marta Laura que foi nosso refúgio durante todo este período, quero agradecer também a Paloma Silva e Raily Sá que aguentaram todo esse tempo dia e noite.

Em especial quero agradecer aos meus amigos de infância Crislaine, Iara e Daniel, que em nenhum momento deixaram de acreditar, e em meio de tantos apereios me deram forças para passar por tudo, e a Rúbia Carol, Valeria, Nayara e família que sobre tantos desafios, sempre estiveram presentes, se preocupando e cuidando para que tudo desse certo, principalmente em período de pandemia, as qual deram todo apoio no EAD.

RESUMO

O Semiárido brasileiro possui grande potencial para a pecuária, mas enfrenta desafios devido à baixa disponibilidade de forragens, em função, principalmente, da irregularidade das chuvas e manejo inadequado das pastagens. Nesse contexto, o sorgo se destaca como uma cultura altamente adaptada, resistente a condições como a seca e salinidade, e ideal para a produção de fitomassa e nutrição animal. Para aumentar sua produtividade destaca-se a adubação nitrogenada, que por sua vez, é fundamental para maximizar a produtividade do sorgo pois o nitrogênio é um nutriente essencial para o crescimento. Desse modo, objetivou-se avaliar o desempenho agrônomo de sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio. A pesquisa foi conduzida na área experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, em Serra Talhada – PE. Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, composto por cinco doses de nitrogênio (0, 40, 80, 160 e 320 kg/ha⁻¹) com quatro repetições. Foram analisadas as características estruturais e morfogênicas, além da determinação de fitomassa, conteúdo de sódio, potássio, pigmentos foliares e dano de membrana. A adubação nitrogenada influenciou significativamente diversas variáveis morfológicas e produtivas do sorgo granífero. Houve aumento do diâmetro do colmo, altura da planta, comprimento do colmo e comprimento da lâmina foliar, além do acréscimo no acúmulo de fitomassa, além da melhoria de índices de clorofila, indicando maior eficiência fotossintética. Por outro lado, a adubação não teve influência sobre o conteúdo de sódio e potássio, e para o dano de membrana notou-se que que doses mais baixas tem um maior dano, causando estresse celular, e que à medida que essas doses aumentam, esse dano diminui. A aplicação de doses crescentes de nitrogênio influenciou significativamente o crescimento do sorgo granífero, uma vez que a dose de 160 kg/ha⁻¹ apresentou um melhor desempenho, promovendo efeitos satisfatórios para as variáveis estruturais, morfogênicas e no acúmulo de fitomassa seca, além de otimizar o uso de fertilizante sem gerar perdas significativas.

Palavras-chave: características estruturais; fitomassa, Semiárido brasileiro: *Sorghum bicolor*.

ABSTRACT

The Brazilian semi-arid region, although limited by factors such as low rainfall and degraded soils, has great potential for livestock farming, but faces challenges due to the low quality of forage, which is affected by irregular rainfall and inadequate management. In this context, sorghum stands out as a highly adapted crop, resistant to adverse conditions such as drought and salinity, and ideal for biomass production and animal nutrition. In order to increase its productivity, nitrogen fertilization is essential to maximize sorghum productivity because nitrogen is an essential nutrient for growth. The aim was to evaluate the agronomic performance of grain sorghum subjected to different doses of nitrogen. The research was conducted in the experimental area of the Federal Rural University of Pernambuco, Serra Talhada Academic Unit, in Serra Talhada - PE. A randomized block design was used, consisting of five doses of nitrogen (0, 40, 80, 160 and 320 kg/ha⁻¹) with four replications. Structural and morphogenic characteristics were analyzed, as well as the determination of dry and fresh biomass, sodium and potassium content, leaf pigments and membrane damage. Nitrogen fertilization significantly influenced several morphological and productive variables of grain sorghum. There was an increase in stalk diameter, plant height, stalk length and leaf blade length, in addition to the accumulation of dry biomass, since it showed an increase in the productivity of this crop, in addition to the improvement in chlorophyll indices, indicating greater photosynthetic efficiency, fertilization had no influence on sodium and potassium content, and for membrane damage it was noted that lower doses have greater damage, causing cellular stress, and that as these doses increase, this damage decreases. The application of increasing doses of nitrogen significantly influenced the development of grain sorghum, since the dose of 160 kg/ha⁻¹ showed the best performance, promoting satisfactory effects for structural and morphogenic variables and the accumulation of dry phytomass, as well as optimizing the use of fertilizer without generating significant losses.

Keywords: structural features; phytomass, Brazilian semi-arid; *Sorghum bicolor*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área experimental, Sertão do Pajeú, Serra Talhada-PE, Brasil.	11
Figura 2: Dados meteorológicos mensais (maio/2024 a agosto/2024): temperatura média do ar (T, C°), radiação solar global (RG, MJ m ⁻² dia ⁻¹), umidade relativa média do ar (UR, %), Precipitação pluvial (mm), provenientes de uma estação meteorológica automática pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada próxima da área experimental em Serra Talhada.	13
Figura 3: Gráfico de regressão linear para o número de folhas vivas em expansão (NFVEE) aos 40 dias após o semeio, da cultura de sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio.....	20
Figura 4: Gráfico de regressão quadrática do diâmetro do colmo (DC) aos 54 dias após o semeio, da cultura de sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio.	22
Figura 5: Gráfico de regressão quadrática para altura de planta (AP) (A) e comprimento do colmo (CC) (B) aos 61 DAS, da cultura de sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio.....	25
Figura 6: Gráfico de regressão para diâmetro do colmo (DC) (A), para altura de planta (AP) (B), comprimento do colmo (CC) (C), e comprimento da lâmina foliar (C) (D) aos 68 DAS, da cultura de sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio.....	28
Figura 7: Gráfico de regressão para diâmetro do colmo (DC) (A), para altura de planta (AP) (B), comprimento do colmo (CC) (C), e comprimento da lâmina foliar (C) (D) aos 75 DAS, da cultura de sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio.....	30
Figura 8: Gráfico de regressão para diâmetro do colmo (DC) (A), para altura de planta (AP) (B), comprimento do colmo (CC) (C), número de folhas senescentes (NFS) (D) e comprimento da lâmina foliar (C) (E) aos 82 DAS, da cultura de sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio.	34
Figura 9: Gráfico de regressão para massa da matéria seca do colmo (A), folha(B) e panícula(C), de sorgo granífero submetido a doses de nitrogênio.	36
Figura 10: Produtividade do sorgo granífero em função de diferentes doses de nitrogênio. Serra Talhada-PE,2024	37
Figura 11: Gráfico de regressão para dano de membrana (%) em função de diferentes doses crescentes de nitrogênio, Serra Talhada – PE.....	38

Figura 12: Variação do conteúdo de pigmentos fotossintéticos (clorofila a (Chl a), b (Chl b), totais (Chl totais) e carotenoides (Car) em plantas de sorgo granífero cultivadas sob adubação nitrogenada.	40
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise de variância para diâmetro de colmo (DC), altura de planta (AP), comprimento do colmo (CC), número de folhas vivas expandidas (NFVE), número de folhas vivas em expansão (NFVEE), número total de folhas vivas (NFV), número de folhas senescentes (NFS), número de folhas mortas (NFM), largura de lâmina foliar (L), comprimento de lâmina foliar (C) de sorgo em função do nitrogênio. Serra Talhada-2024. ... 16

Tabela 2. Valores médios da avaliação biométrica e seu desvio padrão aos 40 DAS; diâmetro de colmo (DC), altura de planta (AP), comprimento do colmo (CC), número de folhas vivas expandidas (NFVE), número total de folhas vivas (NFV), número de folhas senescentes (NFS), número de folhas mortas (NFM), largura de lâmina foliar (L), comprimento de lâmina foliar (C), em função das diferentes doses de nitrogênio. 19

Tabela 3. Valores médios da avaliação biométrica e seu desvio padrão aos 47 DAS; diâmetro de colmo (DC), altura de planta (AP), comprimento do colmo (CC), número de folhas vivas expandidas (NFVE), número de folhas em expansão (NFVEE), número total de folhas vivas (NFV), número de folhas senescentes (NFS), número de folhas mortas (NFM), largura de lâmina foliar (L), comprimento de lâmina foliar (C), em função das diferentes doses de nitrogênio.....21

Tabela 4 .Valores médios da avaliação biométrica e seu desvio padrão aos 54 DAS; altura de planta (AP), comprimento do colmo (CC), número de folhas vivas expandidas (NFVE), número de folhas em expansão (NFVEE), número total de folhas vivas (NFV), número de folhas senescentes (NFS), número de folhas mortas (NFM), largura de lâmina foliar (L), comprimento de lâmina foliar (C), em função das diferentes doses de nitrogênio23

Tabela 5. Valores médios da avaliação biométrica e seu desvio padrão aos 61 DAS; diâmetro de colmo (DC), número de folhas vivas expandidas (NFVE), número de folhas em expansão (NFVEE), número total de folhas vivas (NFV), número de folhas senescentes (NFS), número de folhas mortas (NFM), largura de lâmina foliar (L), comprimento de lâmina foliar (C), em função das diferentes doses de nitrogênio.24

Tabela 6. Valores médios da avaliação biométrica e seu desvio padrão aos 68 e 75 DAS; número de folhas vivas expandidas (NFVE), número de folhas em expansão (NFVEE), número total de folhas vivas (NFV), número de folhas senescentes (NFS), número de folhas mortas (NFM), largura de lâmina foliar (L), em função das diferentes doses de nitrogênio. ..26

Tabela 7. Valores médios da avaliação biométrica e seu desvio padrão aos 82 DAS; número de folhas vivas expandidas (NFVE), número de folhas em expansão (NFVEE), número total de folhas vivas (NFV), número de folhas mortas (NFM), largura de lâmina foliar (L), em função das diferentes doses de nitrogênio.	32
Tabela 8. Conteúdo de sódio (Na^+) e potássio (K^+) e a interação (Na^+ / K^+) de folhas de sorgo granífero sob diferentes doses de nitrogênio	39
Tabela 9. Análise de variância das taxas de aparecimento foliar, TApF (N° folhas dia^{-1}), alongamento foliar, TAF ($\text{mm folha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), alongamento de colmo, TAC (cm dia^{-1}) de Sorgo granífero em função do nitrogênio. Serra Talhada-2024.	41
Tabela 10. Taxa de aparecimento foliar (TApF, folhas dia^{-1}), de sorgo granífero e seus respectivos desvios padrão em função dos dias de aplicação do nitrogênio (DAS).....	42
Tabela 11. Taxa de alongamento foliar (TAF cm dia^{-1}) de sorgo granífero e seus respectivos desvios padrão em função dos dias de aplicação do nitrogênio (DAS).....	43
Tabela 12. Taxa de alongamento de colmo (TAC cm dia^{-1}), de sorgo granífero e seus respectivos desvios padrão em função dos dias de aplicação do nitrogênio (DAS).....	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1	Semiárido brasileiro.....	3
2.2	Sorgo.....	5
2.3	Sorgo Granífero	8
2.4	Adubação nitrogenada	9
3	OBJETIVOS.....	10
3.1	Objetivos Gerais	10
3.2	Objetivos Específicos	10
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	11
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
7	CONCLUSÃO.....	44
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1 INTRODUÇÃO

O agronegócio tem contribuído de forma significativa para estabilidade balança comercial brasileira, frequentemente registrando saldos equilibrados (Santos *et al.*, 2016). Projeções das Nações Unidas, em 2100 a população global pode chegar a 11,2 bilhões de pessoas, o que impõe grandes desafios à agricultura para suprir as necessidades alimentares tanto de seres humanos quanto para os animais. Entretanto, diversos fatores podem dificultar essa produção, como ocorrência de pragas, escassez de chuvas, degradação, desertificação e salinização do solo, entre outros fatores limitantes (Oresca, 2018).

Os ambientes áridos, semiáridos e subúmidos, abrangem aproximadamente 45,4% da superfície terrestre, ocupando uma área de aproximadamente 66,7 milhões de km² (Pravalie, 2016). Estas regiões são caracterizadas por baixa precipitação pluviométrica irregular, solos poucos profundos e limitada disponibilidade de água, fatores agravados pelo uso inadequado dos recursos naturais e o manejo incorreto dos sistemas produtivos, o que compromete o potencial produtivo do solo (Almeida, 2020).

Apesar disso, a região semiárida possui grande potencial para o desenvolvimento da pecuária, devido a diversidade de recursos naturais presentes que compõem seu ecossistema. No entanto, a baixa produtividade dos rebanhos, se torna um reflexo das carências nutricionais em que estão submetidos. Isso se deve à baixa disponibilidade e qualidade das forragens, que são diretamente influenciadas variabilidade das chuvas, do manejo inadequado das pastagens e ausência de tecnologias para os períodos para de estiagens (Leite *et al.*, 2014).

A adoção de sistemas de produção sustentáveis e economicamente viáveis é crucial para aumentar a produtividade. Espécies adaptadas, como o sorgo são fundamentais nesse contexto. O sorgo é uma planta rustica, com metabolismo C4, capaz de realizar altas taxas fotossintéticas e apresentar resistência a estresses abióticos como: seca, salinidade, alta ou baixa temperatura, deficiências ou excesso de nutrientes, poluentes, metais pesados, entre outros, além de se destacar na produção de massa verde destinada à ensilagem (Parisotto *et al.*, 2021).

O sorgo granífero, além de ser uma excelente opção para produção de biomassa, também é uma importante fonte para a produção de etanol, contribuindo para a geração de energia limpa e renovável. O cultivo desta cultura tem intensificado a demanda por novas tecnologias que aumentem sua rentabilidade e eficiência (Martha Junior *et al.*, 2016).

Entre as novas tecnologias, a eficiência na adubação se destaca. Os fertilizantes mais utilizados são compostos de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK), sendo o nitrogênio essencial para o metabolismo das plantas, participado da síntese de proteínas e clorofila. No entanto, sua presença é limitada na maioria dos solos brasileiros, o que torna essencial o seu fornecimento em quantidades adequadas para assegurar o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da cultura (Carvalho, 2020).

Segundo Corsi (1986), o uso da adubação nitrogenada se tornou uma estratégia recomendável para ter um aumento na densidade de forragem e produção de folhas em pastagens. O nitrogênio promove como efeito principal em gramíneas o desenvolvimento radicular, número de panículas por plantas e transformação de perfilho vegetativos (Abrantes *et al.*, 2010). Contudo, Humphreys *et al.* (1986), apontaram que o aumento na produtividade ocorre até certo ponto.

Devido as suas características adaptáveis, é de se esperar que o sorgo faça maior uso do nitrogênio, tornando-se o manejo mais flexível. No entanto a reposta de uma cultura a doses crescentes de nitrogênio podem variar de acordo com fatores edafoclimáticos, composição do solo, padrão de precipitação pluvial e fatores genéticos e assim afetando a disponibilidade desse elemento na planta. (Nascimento *et al.*, 2023).

Na cultura do sorgo granífero o acúmulo de nitrogênio ocorre quase linear com a produtividade, sendo o nutriente de maior exigência pela cultura (Mateus *et al.*, 2011; Tavian *et al.*, 2014). Pinto *et al.* (2011) afirmaram que com o manejo adequado da adubação reduz as perdas desse nutriente no sistema, onde uma parte é adicionada no plantio e o restante na cobertura. Porém por existirem poucas informações sobre os resultados de adubação e nutrição do sorgo em ambiente semiárido, é necessário o ajuste das quantidades adequadas e dos fertilizantes que serão aplicados, para que se encontre o equilíbrio entre a necessidade nutricional e a qualidade requerida para um bom desenvolvimento da planta (Pitta; Coelho; Franca, 1992).

Diante disto se faz necessário pesquisas direcionadas para compreender as melhores formas de cultivo e adubação desta cultura, que vem se tornando de suma importância quando se diz respeito à nutrição animal na região semiárida. Sobre tudo o estudo deve buscar testar doses de nitrogênio, visando respostas fisiológicas e morfológicas, além de uma maior produtividade da cultura e aplicações de tecnologias, uma vez que a falta desses nutrientes

pode afetar diretamente no rendimento, além disto buscar levar o máximo de informações seguras para os produtores, em que os mesmos possam extrair todo o potencial desta cultura.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Semiárido brasileiro

A região semiárida do Brasil ocupa uma área de 1.127.953 km², englobando grande parte da região Nordeste, além do norte de Minas Gerais (região Sudeste), com cerca de 1.262 municípios, povoados por quase 28 milhões de habitantes, sendo que a maior parte de sua atividade econômica está relacionada ao setor agropecuário (Silva *et al.*, 2021). Essa região, segundo a classificação de Köppen, tem três tipos de clima: BShw –semiárido, com chuvas concentradas nos meses de dezembro e janeiro; o BSwh' –semiárido, com estação chuvosa no verão-outono, com concentração nos meses de março e abril; e, BShs' –semiárido, com chuvas no outono e inverno concentrados nos meses de maio e junho (Alves; Costa; Rebouças, 2018).

No Semiárido brasileiro (SAB), as precipitações pluviiais sofrem intensas oscilações espaços-temporais tendo valores entre 300 a 800 mm ano⁻¹. Além disso, as taxas de evapotranspiração são altas, superando os 1200 mm ano⁻¹, baixa umidade relativa do ar, média em torno de 56%, e temperaturas do ar elevadas, variando de 24 a 28°C (Matos *et al.*, 2021; Moura, 2019). Segundo Tavares; Arruda e Silva (2019), o SAB poderá se tornar uma das regiões mais impactadas pelas mudanças climáticas e se tornar mais árido, onde pode ocasionar em um aumento na frequência e nas intensidades das secas e, consequentemente, reduções na disponibilidade de recursos hídricos, tais alterações podem acarretar impactos sobre a vegetação, biodiversidade e nas atividades que dependem dos recursos naturais. Diante deste cenário é provável de que se note o aumento de temperaturas médias do ar e modificações nos padrões das precipitações pluviiais de algumas regiões, podendo causar agravos socioeconômicos significativos (Tavares; Arruda e Silva, 2019; Félix *et al.*, 2020).

De acordo com Félix *et al.* (2020), mudanças climáticas são fatores de origem natural e de ações antropológicas que podem ser passíveis de mudanças ou agravamento, isso vai depender da responsabilidade social dos produtores, sendo que o setor agrícola é o mais

afetado, podendo gerar impacto social e econômico na produção dos alimentos e manutenção do meio ambiente. Esses eventos estão ligados a solos rasos e pedregosos, relevos semi-plano e deprimido com formações isoladas, cursos de água temporários, forte escoamento superficial, baixa recarga subterrânea, e vegetação nativa caducifólia abundante, típicas do bioma Caatinga (Lucena, Ferrer e Guilhermino, 2021).

O bioma Caatinga tem uma extensa área de terras no interior da região semiárida, sendo marcada pelo clima tropical semiárido e baixa disponibilidade hídrica. Este bioma tem uma grande diversidade de ambientes, que equivale acerca de 70 % da região Nordeste e 10 % do território nacional, sendo rica em biodiversidade, com grande variedade de espécies vegetais, muitas sendo endêmicas ao bioma, algumas utilizadas para satisfazer as necessidades humanas, em multiplicidade de fins (Reis *et al.*, 2023).

É possível notar que o bioma Caatinga tem uma ampla variedade de espécies botânicas com o potencial forrageiro para a oferta qualitativa de nutrientes, sendo possível também notar que a principal base alimentar para os sistemas pecuários neste bioma, é constituída de pastagens naturais ou nativas, podendo compor até 90% da dieta consumida dos animais (Rogério *et al.*, 2020). Além da presença de plantas com aptidão forrageira na qual proporcionam variações de disponibilidade de fitomassa e valor nutritivo ao longo do ano, a irregularidade da precipitação pluvial nessa região contribui para a sazonalidade na oferta quantitativa e qualitativa de espécies forrageiras ao longo do ano (Bezerra *et al.*, 2021).

Algumas espécies de forrageiras são de grande porte e podem ser utilizadas pelos ruminantes em ramoneio ou fornecidas como silagem ou feno, diretamente no cocho, especialmente em períodos de secas. Sendo algumas destas a *Mimosa tenuiflora* (Jurema-preta), *Croton sonderianus* (Marmeleiro), *Manihot pseudoglaziovii* (Maniçoba), *Manihot esculenta* (Pernunça), *Cereus jamacaru* (Mandacaru), *Pilosocereus gounellei* (Xique-xique), *Pilosocereus pachycladus* (Facheiro), *Anadenanthera macrocarpa* (Angico), *Caesalpinia pyramidalis* (Catingueira), *Mimosa caesalpiniiifolia* (Sabiá), *Zyzyphus joazeiro* (Juazeiro), *Caesalpinia férrea* (Pau-ferro), *Caesalpinia microphylla* (Catingueira rasteira), *Cnidoscolus phyllacanthus* (Favela), *Senna spectabilis* (Canafistula), *Geoffra espinosa* (Marizeiro), *Bauhinia* sp. (Mororó) (Barros *et al.*, 2024).

A pastagem nativa possui uma produtividade reduzida, influenciada de forma direta pela frequência e irregularidade das chuvas durante a estação chuvosa. Apesar da ocorrência de seca seja uma situação comum na caatinga, tem a falta de planejamento forrageiro por

parte dos produtores de animais, no qual sofrem com a redução da disponibilidade em quantidade e qualidade das pastagens, afetando na perda de peso corporal do animal. Espécies vegetais adaptadas nessa região apresentam características diferentes como alturas (porte), formando três estratos: herbáceo, arbustivo e arbóreo. Grande parte da alimentação dos animais no período chuvoso é proveniente do estrato herbáceo. Sabendo que o rebaixamento dos estratos arbóreo e/ou arbustivo se dá pelo o corte da parte mais alta das plantas no qual vai permitir o aumento de forragem do estrato herbáceo e rebrotas das espécies cortadas, que vão ser pastejadas e ramoneadas, respectivamente. Tal prática dá a opção que o estrato herbáceo aumente sua participação na dieta animal, pois árvores e arbustos, mesmo forrageiros, são de porte elevado e não são alcançados pelo animal (Paula, Ferreira e Vêras, 2020, Barros *et al.*, 2024).

Plantas forrageiras de maior interesse fazem parte da família *Poaceae* (Gramíneas) e *Fabaceae* (Leguminosas), tendo também em menor proporção plantas de outras famílias. A família *Poaceae* (Gramíneas) apresenta aproximadamente 800 gêneros e 10.000 espécies tendo predominância na flora e fisionomia de vegetações abertas em todo o mundo, se tornando uma das famílias mais importantes na agricultura e na economia humana, possuindo diferentes tipos de uso, incluindo os principais cereais e forragens. Com sua grande diversidade e variabilidade as subfamílias foram divididas de acordo com caracteres morfológicos, anatômicos, citológicos e cromossômicos (Longhi-Wagner, 2012).

2.2 Sorgo

O Sorgo pertence à família *Poaceae*, tribo *Andropogonae*, subtribo *Sorghinae* e gênero *Sorghum*. O gênero *Sorghum* possui vinte e cinco espécies taxonomicamente agrupadas em cinco subgêneros: *Eusorghum*, *Chateosorghum*, *Heterosorghum*, *Parasorghum* e *Stiposorghum* (Albuquerque *et al.*, 2021; Clayton e Renvoize, 1986; Silva, 2015).

Dentro destes subgêneros se encontram os sorgos que são cultivados, representados por vários tipos agrônômicos, como sorgo granífero, forrageiro, biomassa, vassoura e sacarino (Albuquerque, Freitas, Menezes *et al.*, 2021).

Nascimento *et al.* (2024) citaram que o sorgo granífero apresenta porte baixo e é adaptado à colheita mecânica, o sorgo forrageiro é destinado para silagem, pastejo direto, formação de capineiras e consumo *in natura*, o sacarino tem porte alto e utilizado para produção de silagem, açúcar e álcool, já o sorgo vassoura para a produção de vassouras a

partir da panícula. Os autores comentaram, ainda, que anteriormente ao aprimoramento das características da cultura, ela era pouco versátil, pois apresentava fotosensibilidade, elevada susceptibilidade a pragas, porte alto e baixa aptidão para produção de grãos, porém com a investigação sobre macho-esterilidade citoplasmática, visando o desenvolvimento de plantas que não produzem pólen masculino e a realização de cruzamentos controlados, teve como resultado a criação de híbridos comerciais com características superiores.

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L). Moench) está entre os principais cereais do globo, sendo alimento básico para milhares de pessoas principalmente na África e Ásia, o seu consumo chega a 75% do total dos grãos produzidos. Provavelmente esta cultura tenha sido domesticada na Etiópia a cerca de 5000 anos atrás, e em seguida foi cultivada na África Ocidental, desde o Sudão até o rio Niger, no entanto foi descrito pela primeira vez em 1753 por Linnaeus. Por ser uma cultura relativamente nova nas Américas, atribuiu-se a introdução desta cultura no Brasil aos escravos, como ficou conhecida como milho d'Angola. É utilizado principalmente como ração animal, várias formas de uso como forragem, produtos alimentícios humanos, elaboração de xaropes, álcool e açúcar (Albuquerque, Freitas, Menezes *et al.*, 2021; Tabosa *et al.*, 2019).

No Brasil, a cultura do sorgo começou a ser intensificada a partir da década de 1970, se tornando significativamente comercial quando sua área de plantio atingiu cerca de 80 mil hectares. Vale salientar que embora apresentando elevado nível de conhecimento tecnológico por parte de pesquisa e da alta capacidade de produção das cultivares disponíveis, a produtividade média nacional vinha se mantendo baixa. Nesse contexto, fatores com baixo grau de conhecimento e informações parte da área técnica como: baixa utilização de insumos e outros investimentos; falta de tratamento adequado para cultura por parte do produtor; dificuldade de transferência de conhecimento e das informações disponíveis; instabilidade na comercialização e na política de preços; falta de uma política oficial definida e de acesso à política oficial de comercialização; e pouco esclarecimento por parte dos agentes financeiros. Além destes aspectos evidenciam-se outros que interferem no desenvolvimento da cultura que são atribuídos a exploração mal sucedidas como; teor de tanino, teor de HCN; despigmentação dos grãos; efeitos alelopáticos sobre culturas sucessoras (Tabosa *et al.*, 2019).

Em 1960, o Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), juntamente com o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Rio Grande do Sul (IPARGS), foram os primeiros a conduzir pesquisas sobre o sorgo no Brasil, começando com

o aprimoramento dos grãos e originando novos genótipos para a alimentação animal a partir de coleções de germoplasma vindas da África e dos Estados Unidos (Albuquerque, Freitas, Menezes *et al.*, 2021; Silva, 2015; Von Pinho *et al.*, 2022).

Por ser uma cultura que apresenta alta produtividade em condições desfavoráveis, especialmente em situações de estresse hídrico e baixa fertilidade do solo, o sorgo tem se mostrado uma excelente alternativa para alimentação de gado leiteiro em regiões com essas características. No Brasil, o sorgo tem sido amplamente empregado para esse fim, devido à possibilidade de aproveitar a rebrota, já que seu sistema radicular permanece vivo após o corte, e a possibilidade de mecanização total da lavoura (Ribas, 2003).

O sorgo é uma planta que apresenta metabolismo C4 em que permitem maior tolerância à deficiência hídrica e suporta temperaturas do ar médias abaixo de 38° e acima de 16° C e sensibilidade ao fotoperíodo, sendo assim é uma cultura que se adequa as regiões com diferentes variações climáticas pelo menor consumo de água em relação a outros grãos, a partir do mecanismo de redução de fotoassimilados e capacidade de recuperação, dependendo da intensidade do estresse hídrico (Batista, 2021; Bredemeier, 2020).

A altura da planta de sorgo pode variar de 40 centímetros até cinco metros de altura, podendo ajudar na sua classificação. O seu ciclo de estádios de crescimento (EC) é dividido em três fases, a primeira (EC1) começa no semeio e vai até o início da emissão da panícula, a segunda (EC2) vai do desenvolvimento da panícula até o florescimento e a terceira (EC3) começa no florescimento até a maturação fisiológica (Duarte, 2021).

O caule é ereto e dividido em nós e entre-nós, suas folhas são alternadas, composta por bainha e lâmina foliar com origem nos nós individuais, onde o número de folhas pode variar de 7 a 30. A panícula é sua inflorescência a qual possui um eixo central, onde da origem as ramificações primárias, secundárias e terciárias, as ramificações finais localizam-se os racemos ou espiguetas, podendo ser a panícula compactada ou aberta. Enquanto a semente de sorgo é composta por tegumento, embrião e endosperma e tem formatos redondo com diâmetro que pode variar entre 4 a 8 mm. A variação de cor fica no tegumento em função do genótipo, podendo ir do branco até tons mais escuros, sendo os mais comuns o avermelhado e o amarelo (Silva *et al.*, 2022). O sistema radicular é eficiente, extenso, fibroso e com pelos absorventes, e raízes seminais e adventícias, com profundidade que pode alcançar a 1,50 metros e largura de 2,0 metros, este sistema se desenvolve até antes da planta começar a

florescer, logo após o florescimento, os fotoassimilados são direcionadas as panículas, parte reprodutiva do sorgo (Almeida, 2019).

A diferenciação floral no sorgo incide de 30 a 40 dias após a germinação e depois de 10 dias acontece o emborrachamento. O início do florescimento ocorre nas espiguetas sésseis do ápice para a base da panícula a cerca de quatro a seis dias, onde os grãos de pólen mantem-se variáveis em média de três a cinco horas, onde os estigmas ficam disponíveis para o cruzamento durante uma semana ou até mais (Magalhães, Durães e Rodrigues, 2010).

2.3 Sorgo Granífero

Atualmente a produção de sorgo no Brasil totaliza 4.498.299 toneladas, cultivadas em 1.344.408 hectares, sendo Goiás o estado que se destacou como o maior produtor dessa cultura em 2022 (IBGE).

Na alimentação animal, o sorgo granífero vem sendo explorado para aves, suínos e bovinos, devido ao seu baixo custo quando comparado ao milho (May *et al.*, 2011). O seu valor nutricional atinge em torno de 80 a 95 % ao do milho, se tornando uma excelente alternativa (Stringhini *et al.*, 2009).

O sorgo granífero é caracterizado por possui porte baixo (aproximadamente 170 cm de altura), os grãos, principal produto desse tipo de sorgo, são produzidos na extremidade superior da planta, sendo a panícula pequena e compactada (Aegro, 2024.).

O sorgo se adapta bem a maioria dos solos, todavia, tem melhor desenvolvimento em solos com textura leve a média, tem preferencialmente, aeração e boas drenagens, embora seja tolerante a períodos curtos de encharcamento, possa ser cultivado em áreas com alta intensidade pluviométrica, e em regiões temperadas e tropicais com até 2300 metros de altitude (Dorenboos: Kassam, 1979). Visto que a fertilidade do solo, a nutrição e a adubação são componentes essenciais para o aprimoramento de um sistema de produção eficiente. A disponibilidade de nutrientes deve estar em conjunto com a demanda nutricional da cultura, em quantidade, forma e tempo, podendo levar em conta um programa de adubação que envolve as seguintes questões: a) diagnose da fertilidade do solo; b) demanda nutricional da planta, de acordo com a finalidade de exploração, grãos ou forragem; c) os padrões de absorção e acumulação dos nutrientes, principalmente N e K; d) fontes de nutrientes; e) manejo da adubação (Coelho, 2007).

Visto que a nutrição é de suma importância, o nitrogênio apresenta o papel fundamental para a nutrição das plantas, onde participa de forma direta do processo fotossintético a ser constituinte principal da molécula de clorofila (Andrade *et al.*, 2000). O nitrogênio é um dos minerais que raramente deixa efeitos residuais diretos nos anos seguintes. Sendo absorvido principalmente na forma de NO_3^- , sendo a forma livre não absorvida ao solo, ele acompanha a água que entra no solo e daí se dá o fluxo de massa que é responsável pelo atendimento das necessidades da cultura (Nicolau Sobrinho *et al.*, 2008).

2.4 Adubação nitrogenada

O nitrogênio (N) é o mineral mais exigido pelas plantas, onde cerca de 90 % se encontra em forma orgânica na qual realiza suas funções. Também pode ser encontrado em compostos como aminoácidos, clorofila e ácidos nucleicos, sendo um dos elementos mais consumidos pelas plantas cultivadas, a sua baixa concentração ou falta nos tecidos foliar pode induzir o amarelecimento das folhas mais velhas, sendo indícios de deficiência (Faquin, 2005). Segundo Corsi (1986), o uso da adubação nitrogenada se tornou uma estratégia recomendável para ter um aumento na densidade de forragem e produção de folhas em pastagens. O nitrogênio promove como efeito principal em gramíneas o desenvolvimento radicular, número de panículas por plantas e transformação de perfilho vegetativos (Abrantes, Barbosa, Kulczynski, Sorratto, 2010). Porém, Humphreys, Riveros (1986), afirmaram que a aplicação do nitrogênio tem uma produtividade maior até certo ponto. Quando incorporado ao solo o nitrogênio causa o aumento de matéria seca e o teor de proteína bruta em todas as frações da planta (Hart, Burton, 1965).

Embora seja abundante, visto que 78% da nossa atmosfera é composta por nitrogênio, poucos são os seres vivos capazes de extrair N_2 para o seu benefício, onde na maioria das vezes, no caso das plantas, absorvem N na forma de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+), ainda que, os solos brasileiros são pobres em nitrogênio, por tanto não conseguem suprir a demanda nutricional das plantas por completo, e tendo que utilizar outros recursos para suprir a demanda deste nutriente (Goes *et al.*, 2011).

Segundo Zandonadi *et al.* (2017), Mateus *et al.* (2011) e Tavian *et al.* (2014), o acúmulo de nitrogênio no sorgo se torna quase linear com o incremento da produtividade. No entanto, vale ressaltar que a resposta da cultura a doses crescentes varia de acordo com vários fatores que podem afetar a disponibilidade deste elemento nas plantas, como a composição do

solo, o padrão de precipitação pluvial e os fatores genéticos específicos de cada cultivar (Magalhães, Durães e Schaffert, 2000; Silva e Lovato, 2008).

O parcelamento da adubação nitrogenada é uma prática bastante utilizada que pode reduzir as perdas desse nutriente, onde uma parte é colocada no plantio e o restante em cobertura, entretanto, a época de cobertura, como a possibilidade de parcelar vai depender do tipo de solo, das doses de nitrogênio e se a cultura é irrigada, com a possibilidade de aplicar via água de irrigação (Souza e Lobato, 2004). As fontes de N mais utilizadas na agricultura brasileira são ureia e sulfato de amônio. A ureia tem um potencial de perda de NH_3 por volatilização, devido a suas características e reação no solo (Lara e Trivelin, 1990). Já o sulfato de amônio, tem alta capacidade de acidificação do solo, além da possibilidade de perda de NH_3 (Barbosa, Fageira, Silva, 2001).

A princípio o nitrogênio é o elemento que vem sendo aplicado via água de irrigação frequentemente, isso se deve pelo o fato de que, quando comparado com outros nutrientes, como potássio, fosforo, cálcio e magnésio, apresentam alta mobilidade no solo, e alto potencial de perdas, principalmente por lixiviação. O nitrogênio por ser altamente móvel no solo e requerido em quantidades relativamente altas, deve merecer uma atenção especial em áreas irrigadas, visando ter uma maior eficiência de utilização. Portanto, tem a necessidade de conhecer a magnitude e a velocidade das transformações desse nutriente no solo (Mantovani, Ramos, 1994).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivos Gerais

Analisar o crescimento do sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio.

3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar as características estruturais e morfogênicas do sorgo submetido a diferentes doses de nitrogênio.
- Caracterizar as respostas fisiológicas de plantas de sorgo sob diferentes doses de adubação.
- Estimar a produtividade do sorgo submetido a diferentes doses de nitrogênio.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Setor de Forragicultura, coordenado pelo Grupo de Estudos em Forragicultura (GEFOR), da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST), localizada em Serra Talhada, microrregião do Sertão do Pajeú, Pernambuco, 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 é do tipo BSwh', denominado Semiárido, quente e seco, chuvas de verão-outono com pluviosidade média anual de 647 mm/ano e temperaturas do ar médias superiores a 25 °C (LEITE *et al.*, 2019).

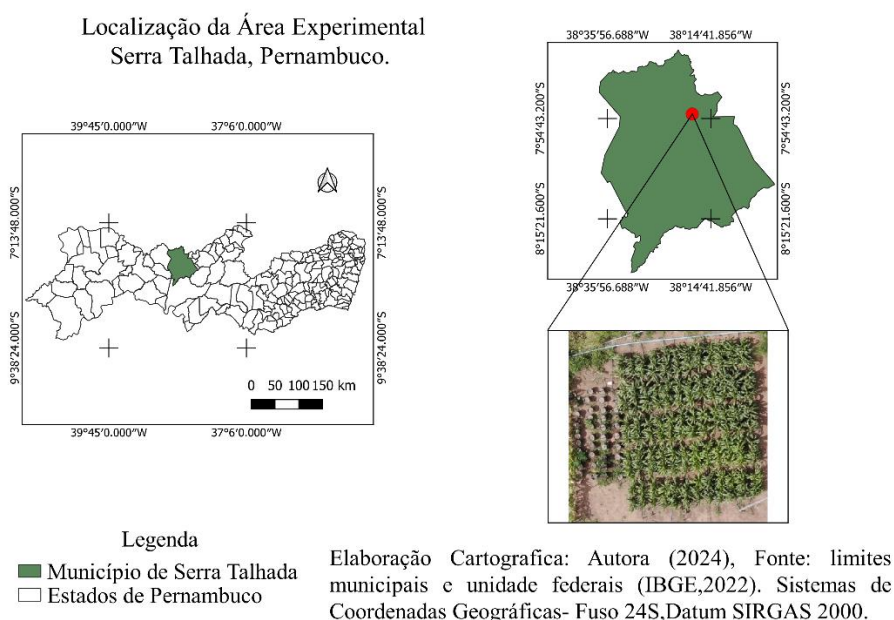


Figura 1. Localização da área experimental, Sertão do Pajeú, Serra Talhada-PE, Brasil.

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados (DBC), composto por cinco doses de nitrogênio (0,40,80,160 e 320 kg/ha⁻¹) com quatro repetições, totalizando 20 unidades experimentais.

Antes da implantação do experimento, realizou-se o preparo do solo com uma aração e uma gradagem. Uma amostra de solo na camada de 0-20 cm foi feita e enviada ao laboratório do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) para análise química. O solo da área é

classificado como Cambissolo Háplico Ta Eutrófico (Embrapa, 2013), com os seguintes atributos químicos: pH (água) = 6,80; P (extrator Mehlich I) = 38,0 mg dm⁻³; K⁺ = 0,88 cmolc dm⁻³, Ca²⁺ = 5,50 cmolc dm⁻³, Mg²⁺ = 1,6 cmolc dm⁻³, e Al³⁺ = 0,0 cmolc dm⁻³ e Matéria orgânica = 6,24 g kg⁻¹.

O sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench) da cultivar IG 100, foi semeado em sulcos de 4,0 cm de profundidade, no dia 01 de maio. Cinco dias após semeadura, aproximadamente um dia após a emergência (DAE) de todas as plantas, foi realizado o desbaste, deixando-se 15 plantas por metro linear nas linhas nas linhas.

A parcela com 3,0 m de comprimento foi constituída de três linhas de sorgo, com espaçamento de 0,50 m entre linhas e 15 plantas por metro linear (300.000 plantas ha⁻¹). Como parcela útil, considerou-se as plantas de sorgo da linha central de cada parcela, tendo-se o cuidado de deixar 0,5 m de cada lado da linha correspondente à bordadura.

A fonte de nitrogênio utilizada foi a ureia com 45% de N, sendo realizada o parcelamento das doses utilizadas. Aos 25 dias após o semeio (DAS), foram aplicadas as doses 0, 2,25; 4,45; 8,9 e 17,8 g, de ureia por metro linear, correspondendo aos níveis de 0, 40, 80, 160, e 320 kg/ha⁻¹ de nitrogênio, referente a primeira parcela, após 15 dias da primeira aplicação, foi realizada uma segunda parcela das doses, repetindo-se as mesmas quantidades da primeira aplicação.

Partindo-se de uma lâmina de 400 mm necessária para o ciclo de crescimento do sorgo (Pereira, César, Silva, 2013), o ensaio foi irrigado três vezes por semana, por um sistema de micro aspersão (baixa vazão), sempre no fim da tarde.

Os dados meteorológicos do período experimental foram coletados de uma Estação Meteorológica, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, www.inmet.gov.br), localizada próxima da área.

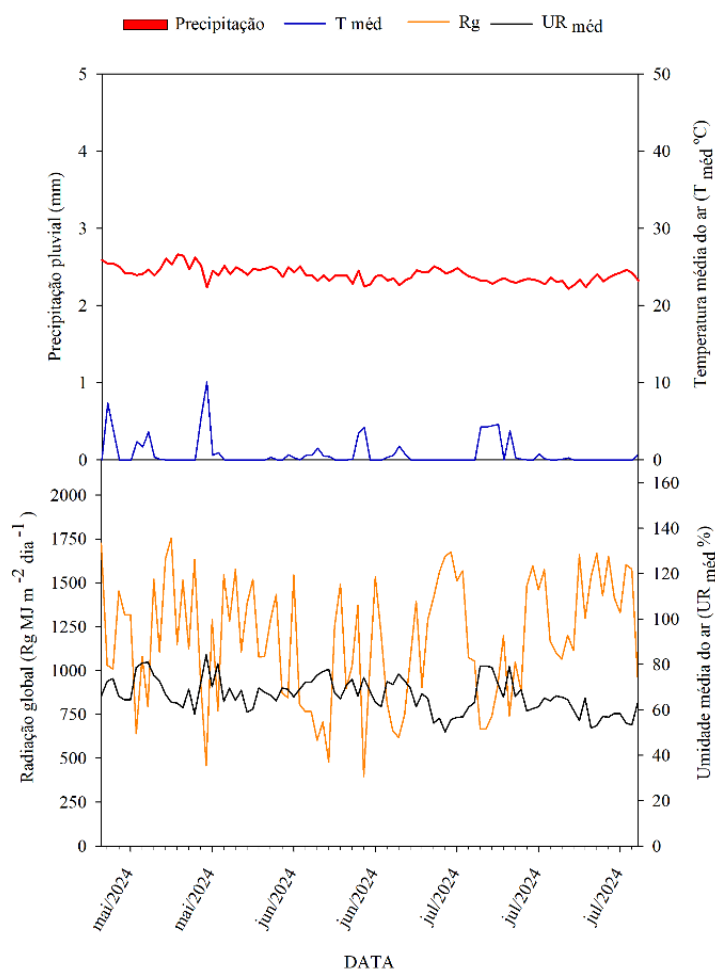


Figura 2: Dados meteorológicos mensais (maio/2024 a agosto/2024): temperatura média do ar (T, C°), radiação solar global (RG, MJ m⁻² dia⁻¹), umidade relativa média do ar (UR, %), Precipitação pluvial (mm), provenientes de uma estação meteorológica automática pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada próxima da área experimental em Serra Talhada.

Durante a condução do ensaio, sempre que necessário, foram executados tratos culturais, como a capina, para controlar as plantas invasoras e a manutenção do sistema de irrigação, mantendo o mais eficiente possível.

Para a avaliação do sorgo, foram efetuadas semanalmente as análises morfológicas, resultando em 7 avaliações durante o ciclo. Sendo analisadas três plantas da parcela útil, para monitorar o crescimento do sorgo através das seguintes características estruturais: diâmetro de colmo (DC), altura de planta (AP), comprimento do colmo (CC), número de folhas vivas expandidas (NFVE), número de folhas vivas em expansão (NFVEE), número total de folhas

vivas (NFV), número de folhas senescentes (NFS), número de folhas mortas (NFM), largura de lâmina foliar (L) e comprimento de lâmina foliar (C).

A altura das plantas foi determinada por meio de uma trena, medindo-se a distância vertical da base do colmo até a extremidade da curvatura da última folha completamente expandida da planta. Diâmetro de colmo a 5,0 cm do nível do solo utilizando um paquímetro digital. A medida da base da planta até a lígula da última folha expandida permitiu obter o comprimento do colmo (CC). O número de folhas vivas expandidas (NFVE) se refere a contabilização das folhas que apresentam lígula; enquanto para o número de folhas vivas em expansão (NFVEE), a contabilização das folhas em crescimento com a lígula inconspícua.

A partir dessas contagens de folhas vivas, foi obtido o número de folhas vivas total (NFV = NFVE+NFVEE). O número de folhas senescentes (NFS) é o escore de folhas com mais da metade de sua lâmina com clorose. Para o número de folhas mortas (NFM) foram contabilizadas as folhas com mais de 70% de necrose. O comprimento de lâmina foliar (C) corresponde a 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.

A partir das características estruturais das plantas, determinou-se as variáveis morfogênicas do sorgo, estabelecidas pelas taxas de aparecimento foliar, TApF (Nº folhas dia⁻¹), alongamento foliar, TAF (mm folha⁻¹ dia⁻¹), TAC (cm dia⁻¹) (Pereira *et al.*, 2011). A diferença entre dois valores de uma mesma variável estrutural em um determinado intervalo de tempo permite definir as taxas de crescimento como segue:

$$TApF = \frac{NFVE_f - NFVE_i}{\Delta t} \quad (1),$$

$$TAF = \frac{CF_f - CF_i}{\Delta t} \quad (2)$$

$$TAC = \frac{CC_f - CC_i}{\Delta t} \quad (3)$$

sendo: NFVE o número de folhas totalmente expandidas, CF o comprimento de cada lâmina foliar, CC o alongamento do colmo e Δt ($t_f - t_i$) o período de avaliação. Os subscritos i e f representam os momentos inicial e final, respectivamente.

Dia 01 de Agosto foram colhidas 3 plantas por repetição, quando os grãos estavam no estágio pastoso (R4) e uma segunda planta foi coletada e analisada após o final do ciclo, no estágio de maturidade fisiológica (ED9), cortando-as rente ao solo, sendo em seguida ensacadas e transportadas para laboratório onde foram analisadas.

Para determinação da biomassa seca, as diferentes partes da planta foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufas de circulação forçada de ar, com temperatura de 65 °C, até atingirem massa constante. Posteriormente, então, ocorreu a determinação da massa seca do colmo (MSC), lâmina foliar (MSLF), panícula (MSP) e grãos (MSG) em balança de precisão.

Para conteúdo de sódio e potássio foi feita pela quantificação de sódio (Na^+), potássio (K^+), primeiramente foi obtido o extrato aquoso do material vegetal seco, separados em folha, caule e raiz, sendo triturado em moinho de facas com peneira de 2 mm. A extração foi realizada com 0,2 g de massa seca por amostra para cada estrutura, para um volume de 30 ml de água ultrapura e colocados em tubos de rosca. Submetendo os tubos a banho maria [100 °C, 1 h], após retirado, esperou-se chegarem à temperatura ambiente para proceder com a filtragem. Posteriormente a determinação do conteúdo de Na^+ e K^+ , ocorreu pela excitação de seus átomos ionizáveis pela chama, utilizando como base na curva padrão pré-estabelecida, antes da leitura propriamente dita, sendo expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS (Viégas *et al.*, 2001). No momento das leituras em fotômetro de chama, o extrato foi diluído para adequação na faixa de amplitude do aparelho, após a quantificação, também foi expressa a relação de K^+/Na^+ .

Já a determinação de dano de membrana (DM) retirou 10 discos foliares e imergiu em 20ml de água deionizada à 25 °C, que após 24 h, 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: $\%DM = (L1 / L2) \times 100$.

O conteúdo de pigmento foliar foi na mesma região utilizada para leitura da curva de luz. Adaptando a metodologia de Lichtenthaler e Buschmann (2001), foi pesado cerca de 0,2 g de MF de folhas de cada planta, imersas em 10 ml de álcool a 95%. Após cerca de 48 horas ou o tecido ficar branco, 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: $Chl\ a = [13,36A_{664} -$

$5,19A_{648}$], $Chl\ b = [27,43A_{648} - 8,12A_{664}]$, $Chl\ totais = [Chl\ a + Chl\ b]$ e $Car = [(1000A_{470} - 2,13(Chl\ a) - 97,64(Chl\ b))/209]$, em que o “A” é a absorvância no respectivo comprimento de onda e o resultado sendo estimado para mg g⁻¹ MF.

Os dados coletados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e homoscedasticidade (Oneillmathews). Uma vez atendidas essas premissas, será realizado a análise de variância ($p > 0,05$) para detectar o efeito dos tratamentos e possíveis interações entre as fontes de variação. Em caso de efeito significativo decorrerá o teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparação das médias. Todas essas análises foram feitas utilizando o software R.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 estão apresentados as médias para os componentes avaliados, bem como resultados do teste F, a diferença mínima significativa e os respectivos coeficientes de variação obtidos da análise de variância de acordo com cada avaliação que foram aos 40,47,54, 61,68,75,82 dias após aplicação o semeio. A tabela mostra como as diferentes doses de nitrogênio impactaram o desenvolvimento do sorgo granífero, influenciando de maneira geral no diâmetro do colmo, altura das plantas, comprimento do caule e no comprimento da lâmina foliar em estágios específicos do crescimento da planta. Para o crescimento da planta a altura e o diâmetro do colmo aumentaram significativamente em certos estágios, especialmente a partir de 61 dias após o plantio. Já o número total de folhas vivas, número de folhas mortas, e o número de folhas vivas expandidas e a largura da lâmina foliar foram menos afetados no início, no entanto, houve um aumento claro em fases mais avançadas, mesmo não apresentando diferenças estatísticas.

Tabela 1. Análise de variância para diâmetro de colmo (DC), altura de planta (AP), comprimento do colmo (CC), número de folhas vivas expandidas (NFVE), número de folhas vivas em expansão (NFVEE), número total de folhas vivas (NFV), número de folhas senescentes (NFS), número de folhas mortas (NFM), largura de lâmina foliar (L), comprimento de lâmina foliar (C) de sorgo em função do nitrogênio. Serra Talhada-2024.

FV	GL	Quadrados médios									
		40 DAS									
		DC	AP	CC	NFVE	NFVEE	NFV	NFS	NFM	L	C
Doses	4	9,52 ^{ns}	46,76 ^{ns}	28,89 ^{ns}	0,286 ^{ns}	0,397*	1,07 ^{ns}	0,027 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,613 ^{ns}	27,81 ^{ns}
Bloco	3	3,49 ^{ns}	99,35 ^{ns}	16,08 ^{ns}	2,035*	0,429*	0,73 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,063 ^{ns}	0,100 ^{ns}	3,902 ^{ns}
Resíduo	12	4,61	69,95	36,01	0,439	0,100	0,63	0,021	0,015	0,489	32,80
Total	19										
CV (%)		14	11,28	17,5	11,44	11,08	9,21	11,46	12,14	11,37	8,65
FV	GL	47 DAS									
		DC	AP	CC	NFVE	NFVEE	NFV	NFS	NFM	L	C
		DC	AP	CC	NFVE	NFVEE	NFV	NFS	NFM	L	C
Doses	4	5,074 ^{ns}	69,582 ^{ns}	110,08 ^{ns}	0,619 ^{ns}	0,083 ^{ns}	0,508 ^{ns}	0,304 ^{ns}	0,463 ^{ns}	0,255 ^{ns}	1394,9 ^{ns}
Bloco	3	3,049 ^{ns}	43,229 ^{ns}	122,80 ^{ns}	2,229 ^{ns}	0,168 ^{ns}	1,975 ^{ns}	0,053 ^{ns}	0,375 ^{ns}	0,021 ^{ns}	1098,7 ^{ns}
Resíduo	12	3,559	99,101	108,32	0,845	0,075	0,619	0,024	0,223	0,54	1302,5
Total	19										
CV (%)		12,61	15,64	17,03	10,99	22,04	8,18	21,37	39,92	12,05	48,04
FV	GL	54 DAS									
		DC	AP	CC	NFVE	NFVEE	NFV	NFS	NFM	L	C
		DC	AP	CC	NFVE	NFVEE	NFV	NFS	NFM	L	C
Doses	4	9,904*	14,941 ^{ns}	35,949 ^{ns}	0,547 ^{ns}	0,133 ^{ns}	1,047 ^{ns}	0,123 ^{ns}	0,147 ^{ns}	0,311 ^{ns}	19,007 ^{ns}
Bloco	3	4,773 ^{ns}	3,459 ^{ns}	11,827 ^{ns}	0,583 ^{ns}	0,185 ^{ns}	0,657 ^{ns}	0,371 ^{ns}	0,103 ^{ns}	0,041 ^{ns}	34,518 ^{ns}
Resíduo	12	2,806	82,405	97,970 ^{ns}	0,291	0,074	0,328	0,112	0,265	0,433	68,569
Total	19										
CV (%)		10,21	13,63	15,1	7,35	20,94	6,63	35,62	33,62	11,01	12,61
FV	GL	61 DAS									
		DC	AP	CC	NFVE	NFVEE	NFV	NFS	NFM	L	C
		DC	AP	CC	NFVE	NFVEE	NFV	NFS	NFM	L	C
Doses	4	4,173 ^{ns}	163,35**	239,13**	0,708 ^{ns}	0,052 ^{ns}	2,186 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,244 ^{ns}	0,528 ^{ns}	9,927 ^{ns}
Bloco	3	2,839 ^{ns}	32,034 ^{ns}	9,732 ^{ns}	0,241 ^{ns}	0,056 ^{ns}	0,740 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,296 ^{ns}	0,139 ^{ns}	5,588 ^{ns}
Resíduo	12	1,982	14,611	10,586	0,607	0,034	1,393	0,053	0,351	0,544	18,819
Total	19										
CV (%)		8,3	5,26	5,01	11,54	16,62	17,03	26,54	40,44	12,28	6,39
FV	GL	68 DAS									
		DC	AP	CC	NFVE	NFVEE	NFV	NFS	NFM	L	C
		DC	AP	CC	NFVE	NFVEE	NFV	NFS	NFM	L	C
Doses	4	10,59**	55,86**	96,55**	0,311 ^{ns}	0	0,405 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,527 ^{ns}	0,119 ^{ns}	13,280*
Bloco	3	0,236 ^{ns}	0,120 ^{ns}	0,852 ^{ns}	0,619 ^{ns}	0	0,392 ^{ns}	0,452 ^{ns}	0,622 ^{ns}	0,463 ^{ns}	1,591 ^{ns}
Resíduo	12	0,588	3,82	2,391	1,074	0	1,071	0,024	0,464	0,438	2,3
Total	19										
CV (%)		4,87	2,65	2,34	17,01	0	16,8	27,27	40,91	10,6	2,29
FV	GL	75 DAS									
		DC	AP	CC	NFVE	NFVEE	NFV	NFS	NFM	L	C
		DC	AP	CC	NFVE	NFVEE	NFV	NFS	NFM	L	C
Doses	4	5,77*	68,53**	193,54**	0,097 ^{ns}	0	0,097 ^{ns}	0,186 ^{ns}	0,602 ^{ns}	0,337 ^{ns}	24,58*
Bloco	3	1,03 ^{ns}	7,916 ^{ns}	2,876 ^{ns}	0,140 ^{ns}	0	0,140 ^{ns}	0,242 ^{ns}	0,422 ^{ns}	0,233 ^{ns}	20,93*
Resíduo	12	0,89	3,053	8,275	1,494	0	1,49	0,367	0,565	0,32	4,762
Total	19										
CV (%)		6,19	2,4	4,4	21,03	0	21,03	59,64	35,82	9,14	3,23
FV	GL	82 DAS									
		DC	AP	CC	NFVE	NFVEE	NFV	NFS	NFM	L	C
		DC	AP	CC	NFVE	NFVEE	NFV	NFS	NFM	L	C
Doses	4	6,68*	58,19*	39,700*	0,311 ^{ns}	0	0,311 ^{ns}	0,597**	0,536 ^{ns}	1,215 ^{ns}	40,282*
Bloco	3	3,42*	7,494 ^{ns}	18,77 ^{ns}	0,385 ^{ns}	0	0,385 ^{ns}	0,214 ^{ns}	0,214 ^{ns}	0,074 ^{ns}	45,530*
Resíduo	12	0,815	14,36	12,028	1,342	0	1,342	0,108	0,562	0,676	10,713
Total	19										
CV (%)		5,91	4,78	5,08	21,17	0	21,17	39,5	36,87	13,44	4,9

Efeito significativo a 1% (**), a 5% (*) e efeito não significativo (ns); Coeficiente de variação (CV); Dias após o semeio (DAS)

As diferentes doses de nitrogênio na primeira avaliação interferiram significativamente no número de folhas vivas em expansão (Tabela 2), entretanto para as demais variáveis não apresentaram diferenças significativas. O coeficiente de variação (CV) variou entre 8,65 e 17,5 %, apontando um conjunto de dados com adequada precisão experimental.

Para as variáveis que não deram diferença significativa, de forma geral foi observado que quanto maior a dose de nitrogênio, maior foi o impacto positivo no desenvolvimento. As plantas que receberam as doses mais altas de nitrogênio cresceram mais fortes, com colmos mais grossos e com maior altura. Além disso, o nitrogênio também ajudou as folhas a se desenvolverem melhor. Com doses maiores, as plantas tiveram mais folhas e tamanho mais expressivos.

Tabela 2. Valores médios da avaliação biométrica e seu desvio padrão aos 40 DAS; diâmetro de colmo (DC), altura de planta (AP), comprimento do colmo (CC), número de folhas vivas expandidas (NFVE), número total de folhas vivas (NFV), número de folhas senescentes (NFS), número de folhas mortas (NFM), largura de lâmina foliar (L), comprimento de lâmina foliar (C), em função das diferentes doses de nitrogênio.

Doses	40 DAS								
	DC (cm)	AP (cm)	CC (cm)	NFVE	NFV	NFS	NFM	L(cm)	C (cm)
0	12,77±2,7	68,54±9,41	29,58±9,27	5,33±1,22	8±1,31	1,31±0,32	1,145±0,32	5,53±0,78	65,65±7,01
40	16,40±1,89	73,40±6,55	36,20±5,14	5,91±1,29	8,58±0,92	1,35±0,19	1,00±0,33	6,04±0,35	68,37±7,88
80	14,98±2,61	76,63±12,22	35,58±2,23	5,75±0,32	8,33±0,47	1,14±0,47	1,125±0,57	6,25±1,10	61,86±4,16
160	16,32±1,72	75,29±4,72	35,37±3,47	5,91±0,57	9,08±0,69	1,21±0,43	0,83±0,43	6,39±0,21	68,06±1,79
320	16,18± 1,72	76,85±8,73	34,75±5,55	6±0,47	9,25±0,17	1,25±0,32	1,00±0,47	6,54±0,26	66,92±1,85
Valor-p	0,38	0,94	0,42	0,73	0,88	0,29	0,99	0,03	0,20

A análise de regressão que está representada na Figura 2, em que mostra a relação entre as doses de nitrogênio e o número de folhas vivas em expansão (NFVEE). O melhor ajuste da equação foi o linear. Ao observar que para a dose 0, o número de folhas começa em aproximadamente 2,5962, isso nos dá a ideia de que mesmo sem aplicação do nitrogênio, as plantas ainda mantêm algumas folhas vivas em expansão. Quando observamos o valor positivo de 0,0022 na regressão, nos sugere que para cada incremento de 1 kg ha⁻¹ de nitrogênio aplicado, o NFVEE aumente. Embora pareça pequeno, ele é significativo dentro do contexto agrícola. O valor de $R^2 = 0,88$ nos indica que o modelo linear explica que 88% da variação dos dados NFVEE em função do nitrogênio.

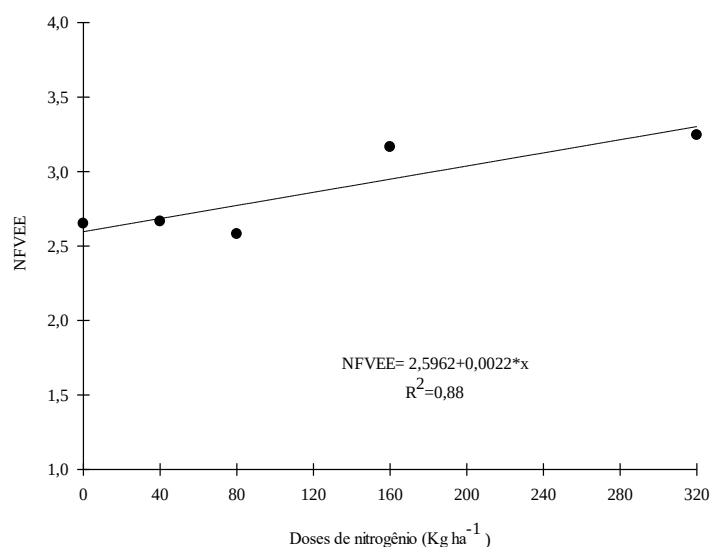


Figura 3: Gráfico de regressão linear para o número de folhas vivas em expansão (NFVEE) aos 40 dias após o semeio, da cultura de sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio.

Na Tabela 3, verifica-se as médias e seus respectivos desvios padrão, onde não foram observadas diferenças estatisticamente significativas para as variáveis analisada, isso significa que até este momento de desenvolvimento das plantas, as diferentes doses de nitrogênio aplicadas não resultaram em mudanças expressivas nas características de crescimento.

Tabela 3. Valores médios da avaliação biométrica e seu desvio padrão aos 47 DAS; diâmetro de colmo (DC), altura de planta (AP), comprimento do colmo (CC), número de folhas vivas expandidas (NFVE), número de folhas em expansão (NFVEE), número total de folhas vivas (NFV), número de folhas senescentes (NFS), número de folhas mortas (NFM), largura de lâmina foliar (L), comprimento de lâmina foliar (C), em função das diferentes doses de nitrogênio.

Doses	47 DAS									
	DC	AP	CC	NFVE	NFVEE	NFV	NFS	NFM	L	C
0	13,06±2,59	58,5±15,99	55,08±19,55	8,7±1,1	1,33±0,27	9,50±1,14	0,88±0,31	1,5±0,43	5,65±0,79	65,85±7,2
40	15,36±1,26	69,47±7,50	69,47±7,50	8,5±0,78	1±0,00	9,50±0,79	0,88±0,16	1,5±0,33	6,21±0,46	67,35±7,7
80	14,86±2,01	65,29±3,35	61,45±3,47	8,1±1,5	1,33±0,38	9,41±1,29	0,33±0	0,91±0,69	6,20±0,95	67,7±5,26
160	15,56±2,15	63,89±7,89	60,14±8,27	8,1±0,57	1,33±0,27	9,41±0,57	1,00±0	1,25±0,32	6,25±0,53	69,30±4,2
320	15,93±0,57	61,12±7,37	59,45±6,09	9±1,05	1,25±0,42	10,25±0,74	0,57±0,16	0,75±0,63	6,17±0,41	66,20±1,8
Valor-p	0,54	0,54	0,21	0,13	0,66	0,28	0,43	0,07	0,59	0,007

O gráfico da Figura 4 mostra a relação entre o diâmetro do colmo (cm) e as doses de nitrogênio (kg/ha^{-1}) que ocorreu resultado significativo, a qual a regressão que melhor se adequou foi a quadrática. Podendo ser observado que o diâmetro do colmo aumenta até seu ponto máxima eficiência de 16,67 cm, e logo após começa a diminuir conforme a dose de nitrogênio aumenta, podendo ser interpretado como um excesso de nitrogênio que não traz benefícios ao diâmetro do colmo, ou até pode ser prejudicial, causando uma redução do diâmetro. O valor de $R^2 = 0,79$ indica que 79% da variação no diâmetro do colmo pode ser explicada pelas doses de nitrogênio aplicadas, indicando que a equação ajusta bem os dados experimentais.

Martins (2019) em seu trabalho com sorgo da cultivar Atlântica MR 43, citou que o diâmetro do colmo não apresentou diferença significativa para aplicação de doses de nitrogênio, e que é notável que mesmo com ausência de diferença estatística, as plantas cultivadas na safrinha de 2018 apresentam um maior diâmetro do colmo (17,06 mm) em relação a safrinha de 2017 (16,77 mm). Ao contrario, Pereira *et al.* (2014a) trabalhando com o desempenho agrônômico em sorgo granífero, afirmaram que o diâmetro do colmo variou de 13,83 mm a 19,03 mm, e que as doses de nitrogênio se ajustaram ao modelo linear tendo uma pequena magnitude. Fonseca *et al.* (2008) observaram ao termino do seu experimento, que ocorreu a diminuição significativa no desenvolvimento, afetando o diâmetro do caule, na qual apresentou valores da ordem de 15,31 mm com incremento de 284 e 126 % em relação aos tratamentos com missão de N e P.

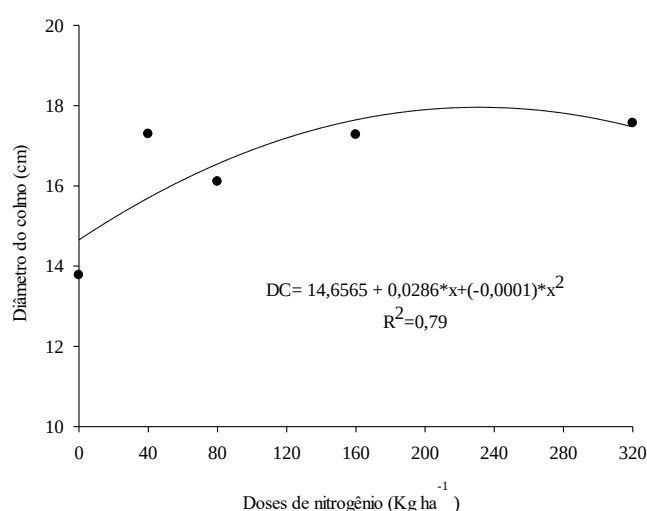


Figura 4: Gráfico de regressão quadrática do diâmetro do colmo (DC) aos 54 dias após o semeio, da cultura de sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio.

Observa-se na Tabela 4 os dados referentes as médias da análise estatística que não foram significativas pelo teste de Tukey aos 54 DAS, além de acompanhar seus respectivos desvios padrão e valores-p. Apesar da falta de significância estatística, algumas tendências podem ser observadas, como altura de planta e comprimento do colmo tiveram variações discretas entre as doses, como um leve aumento nas plantas tratadas com 40 e 80 kg/ha⁻¹. Além disso o NFVE e o NFV que tendem a ser levemente maior em algumas das doses mais elevadas, embora essa diferença não seja estatisticamente relevante.

Tabela 4 .Valores médios da avaliação biométrica e seu desvio padrão aos 54 DAS; altura de planta (AP), comprimento do colmo (CC), número de folhas vivas expandidas (NFVE), número de folhas em expansão (NFVEE), número total de folhas vivas (NFV), número de folhas senescentes (NFS), número de folhas mortas (NFM), largura de lâmina foliar (L), comprimento de lâmina foliar (C), em função das diferentes doses de nitrogênio

Dose	54 DAS								
	AP (cm)	CC (cm)	NFVE	NFVEE	NFV	NFS	NFM	L (cm)	C (cm)
0	64,37±11,7	62,37±13,9	7,58±0,42	1,50±0,33	9,08±0,50	1,25±0,17	1,58±0,57	5,49±0,83	64,27±7,69
40	69,12±3,20	69,13±3,20	6,91±1	1±0	7,91±1	0,91±0,17	1,66±0,54	5,99±0,36	62,51±12,7
80	67,97±9,45	67,98±9,45	7,00±0,54	1,33±0,38	8,33±0,38	0,83±0,58	1,75±0,57	6,12±0,87	67,44±8,33
160	66,30±8,85	62,88±9,68	7,50±0,43	1,33±0,38	8,83±0,58	0,83±0,19	1,33±0,00	6,12±0,22	67,10±2,47
320	65,33±4,02	65,33±4,02	7,75±0,32	1,33±0,27	9,08±0,50	0,87±0,63	1,33±0,47	6,16±0,39	67,04±3,48
Valor-p	0,6	0,46	0,56	0,83	0,35	0,11	0,49	0,22	0,4

Os dados presente na Tabela 5 referem-se ao comportamento das variáveis morfológicas das plantas de sorgo aos 61 dias após a aplicação do nitrogênio. Embora os dados mostrem algumas variações nas medidas, nenhuma delas alcançou significância estatísticas, sugerindo que as doses de nitrogênio testadas não tiveram influência nas variáveis analisadas. De modo geral, as plantas que receberam maiores doses de nitrogênio tiveram uma leve tendência de crescimento do diâmetro do colmo e números ligeiramente superiores de folhas vivas expandidas e o número total de folhas vivas. Este resultado foi similar ao valor obtido por Silva (2004) em seu trabalho que encontrou uma média do diâmetro de colmo de 16,46 mm, onde as doses de 200 kg N/ha compromete o crescimento e o desenvolvimento das folhas, diminuindo a área de interceptação de radiação, e assim tendo um menor acúmulo de carbono. Silva *et al.* (2012) avaliaram doses de nitrogênio (50 e 100

kg. ha⁻¹) em cobertura nos híbridos de sorgo forrageiro BRS801 e 0734006, cultivados em vasos ao ar livre, porém não encontram diferença significativa para o número de folhas vivas entre os tratamentos.

Oresca (2018) observou em seus trabalhos que o tratamento de controle (0 kg/ ha⁻¹) de nitrogênio e a menor lâmina de irrigação 28 % da Etc, teve um maior número de folhas senescentes, reduzindo de forma linear para ambas as culturas, conforme se aumentava aplicação das doses de N e as lâminas de irrigação. Muller (2013) na cultura do milho, encontrou resultados semelhantes, onde o número de folhas senescentes no estágio de florescimento no tratamento controle ocorreu um maior número de folhas senescentes, diminuindo de forma quadrática, com aplicação das doses de N.

Tabela 5. Valores médios da avaliação biométrica e seu desvio padrão aos 61 DAS; diâmetro de colmo (DC), número de folhas vivas expandidas (NFVE), número de folhas em expansão (NFVEE), número total de folhas vivas (NFV), número de folhas senescentes (NFS), número de folhas mortas (NFM), largura de lâmina foliar (L), comprimento de lâmina foliar (C), em função das diferentes doses de nitrogênio.

Doses	61 DAS							
	DC (cm)	NFVE	NFVEE	NFV	NFS	NFM	L(cm)	C (cm)
0	15,21±1,03	6,41±0,57	1,205±0,58	6,91±0,74	1,22±0,54	1,58±0,5	5,45±0,77	65,23±4,92
40	17,45±1,39	6,25±0,96	1,00±0,0	6,25±0,96	0,72±0,58	1,75±0,16	5,83±0,22	68,03±3,7
80	16,96±1,75	6,77±0,68	1,00±0,0	6,16±1,40	1,26±0,86	1,58±0,83	6,27±0,97	69,46±3,37
160	17,52±1,91	7,16±0,79	1,260±0,82	7,83±1,48	0,66±0,54	1,16±0,43	6,20±0,54	68,07±5,11
320	17,71±1,03	7,16±0,58	1,14±0,47	7,5±0,84	0,5±0,19	1,25±0,73	6,29±0,64	68,46±2,31
Valor-p	0,65	0,1	0,39	0,33	0,86	0,86	0,06	0,61

Para a variável altura de planta (AP) apresentado na Figura 5 B, com 61 dias após aplicação do nitrogênio, verificasse que a curva do gráfico mostra que, à medida que as doses de nitrogênio aumentam, tem-se um aumento inicial na altura das plantas, com um crescimento mais acentuado até a dose de 320, atingindo uma altura de 72,75 cm, indicando-se que em quantidades moderadas promove um crescimento das plantas, fornecendo nutrientes essenciais para desenvolvimento vegetativo.

Além disso o coeficiente de determinação $R^2 = 0,95$, indica que 95 % da variação da altura das plantas é explicada pelo o modelo, onde a equação se ajusta de maneira ótima aos dados experimentais. Maia *et al.* (2017) encontraram valores médios para altura de planta de

61 cm no tratamento de 80 kg/ha⁻¹ de nitrogênio, sendo superior aos demais tratamentos. Perrazzo *et al.* (2013) destacaram que o sorgo com porte mais alto tende a ter mais biomassa e consequentemente maior porcentagem de colmo e lâmina foliar, por outro lado, quando possui o porte mais baixo tem melhor produção de panícula e matéria seca.

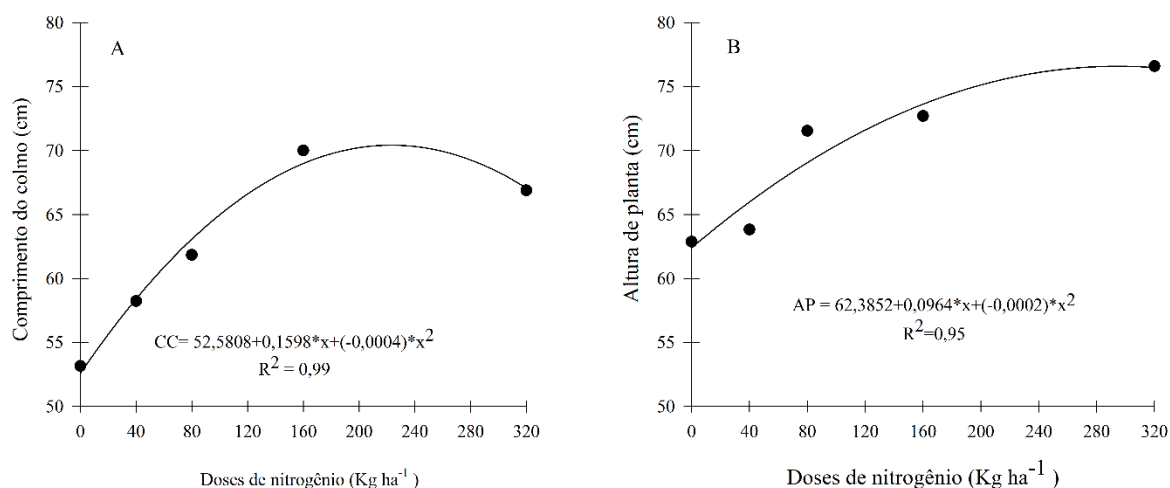


Figura 5: Gráfico de regressão quadrática para altura de planta (AP) (A) e comprimento do colmo (CC) (B) aos 61 DAS, da cultura de sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio.

O gráfico da Figura 5 A, mostra uma tendência de aumento do comprimento do colmo à medida que as doses de nitrogênio aumentam, onde atingi seu ponto de máxima eficiência de 199,75 kg/ha⁻¹, alcançando um comprimento de 67,90 cm, se dando por conta que este nutriente é absorvido de maneira eficiente pela planta, promovendo um crescimento vigoroso do colmo. No entanto o gráfico revela que a partir desta dose, o comprimento começa a diminuir, apesar do aumento da dose. Esse comportamento pode ser explicado que pelo o excesso de nitrogênio podendo levar a um desequilíbrio nutricional, além disso este excesso pode causar toxidade, prejudicando o desenvolvimento da planta, resultando em menor comprimento do colmo.

A equação quadrática representada no gráfico reflete essa dinâmica, com o coeficiente positivo para o termo linear (0,1598), onde e tem um efeito positivo no crescimento inicial, e um coeficiente negativo para o termo quadrático (-0,0004), indicando o efeito adverso em doses mais altas. Para o valor de $R^2 = 0,99$, mostra que o modelo se ajusta quase perfeitamente

aos dados experimentais, onde é mostrado a relação entre as doses de nitrogênio e o comprimento do colmo segue de forma confiável o padrão previsto pela equação. Carvalho (2020) encontrou em sua pesquisa para a análise de variância da regressão um efeito linear e quadrático para aplicação das doses de nitrogênio para o comprimento do caule(cm), na qual o ponto máximo foi na dose de 163,3 kg ha⁻¹ tendo um comprimento de 26,69 cm. Já Pereira *et al.* (2014b) tiveram resultados opostos, onde os resultados encontrados não apresentaram efeito significativo pelo teste F ($P < 0,10$) e nenhum modelo de regressão se ajustou aos dados observados.

Podemos observar na Tabela 6, que os dados não apresentaram diferença estatisticamente significativas para as variáveis analisadas em resposta às diferentes doses aplicadas. As análises indicam que os valores-p não atingiram níveis que sugerissem um impacto significativo das doses sobre os parâmetros medidos, em ambos os momentos avaliados (68 e 75 DAS). Além disso essas variações observadas nos valores médios provavelmente são atribuíveis a flutuações naturais ou variabilidade experimental, e não a um efeito direto das doses aplicadas. Maia *et al.* (2017), observaram uma relação inversa entre adubação nitrogenada e o número de folhas, à medida que se aumentava as doses o número de folhas diminuía, além disso encontrou resultados para a variável NFM como e 8,95, 8,99 e 8,72 folhas/planta⁻¹ para 80, 120 e 160 kg/ha⁻¹ de nitrogênio. Resultados semelhantes foram encontrados por Macedo *et al.* (2012) ao observarem que a medida que se elevam os níveis de adubação ocorre a diminuição na produção de folhas.

Tabela 6. Valores médios da avaliação biométrica e seu desvio padrão aos 68 e 75 DAS; número de folhas vivas expandidas (NFVE), número de folhas em expansão (NFVEE), número total de folhas vivas (NFV), número de folhas senescentes (NFS), número de folhas mortas (NFM), largura de lâmina foliar (L), em função das diferentes doses de nitrogênio.

Doses	68 DAS					
	NFVE	NFVEE	NFV	NFS	NFM	L(cm)
0	5,95±0,34	0	5,95±0,34	0,49±0,19	1,75±0,69	6,00±0,73
40	6,38±0,44	0	6,38±0,44	0,44±0,47	2,25±0,42	6,19±0,58
80	5,75±1,55	0	5,75±1,55	1,16±0,61	1,58±1,03	6,45±0,98
160	6,00±0,36	0	6,00±0,36	0,44±0,27	1,41±0,50	6,20±0,55
320	6,37±1,44	0	6,37±1,44	0,33±0,00	1,33±0,72	6,35±0,32
Valor-p	0,38	0	0,38	0,37	0,2	0,7

Doses	75 DAS					
	NFVE	NFVEE	NFV	NFS	NFM	L(cm)
0	5,83±0,33	0	5,83±0,33	1,08±0,50	2,50±0,69	5,70±0,44
40	5,88±0,63	0	5,88±0,63	1±0,47	2,41±1,03	6,17±0,57
80	5,58±1,73	0	5,58±1,73	0,75±0,69	2,16±0,79	6,38±0,86
160	5,75±0,17	0	5,75±0,17	0,91±0,17	1,83±0,43	6,36±0,39
320	6,00±1,61	0	6,00±1,61	1,33±0,86	1,58±0,57	6,35±0,32
Valor-p	0,31	0	0,31	0,51	0,48	0,25

Becerra (2006) encontra em seus estudos uma maior área foliar, como também um maior desenvolvimento da raiz com a utilização de *Trichoderma harzianun*, na cultura do sorgo e milho. Menores valores de AFT estão relacionados a menores valores de largura e comprimento da folha, autores como Taiz *et al.* (2017) citaram que a redução na área foliar é um mecanismo de adaptação de plantas cultivadas sob excesso de sais e estresse hídrico, visto que, sob tais condições, deve haver a redução na transpiração.

O gráfico representado na Figura 6 A ilustra a relação entre DC e as doses de nitrogênio após 68 DAS. A curva ajustada sugere uma relação não linear entre esses parâmetros, inicialmente, observa-se que à medida que as doses vão aumentando o diâmetro também tende a aumentar, isso indica que aplicação do nitrogênio é benéfica para o crescimento da planta, promovendo um efeito significativo. No entanto, após certo ponto máximo de 140,5 kg/ha⁻¹, o aumento das doses de nitrogênio não é mais benéfico e pode reduzir o diâmetro do colmo. Sugerindo que há uma quantidade ótima de nitrogênio para maximizar o diâmetro do colmo, e as doses mais elevadas podem ser prejudiciais ao desenvolvimento da planta. Além disso o coeficiente de determinação $R^2=0,92$, nos indica que 92 % da variação no diâmetro do colmo pode ser explicada pelas doses de nitrogênio, onde esse valor sugere um bom ajuste do modelo aos dados, porém indicam que outros fatores podem ter influenciado o crescimento do colmo.

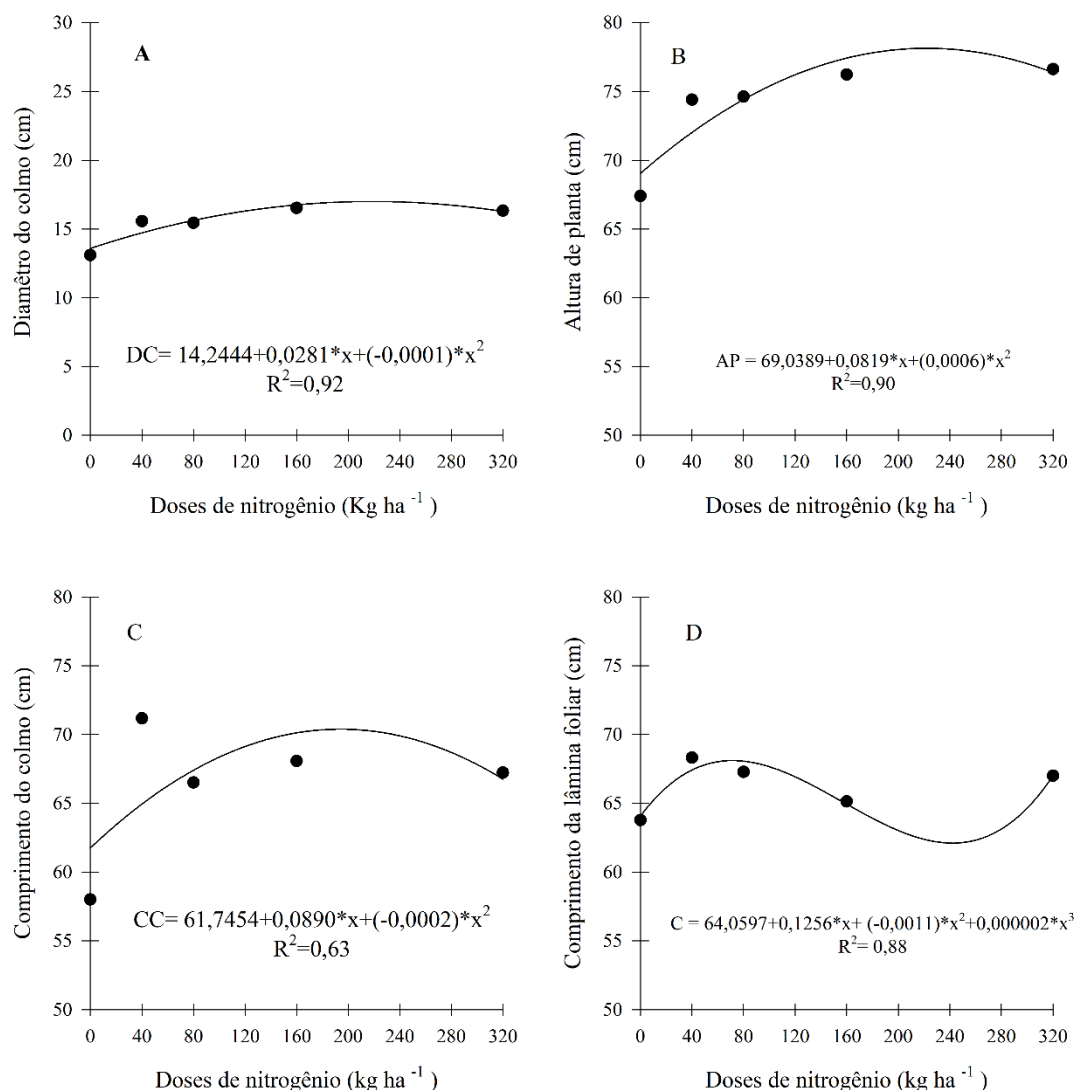


Figura 6: Gráfico de regressão para diâmetro do colmo (DC) (A), para altura de planta (AP) (B), comprimento do colmo (CC) (C), e comprimento da lâmina foliar (C) (D) aos 68 DAS, da cultura de sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio.

O aumento do diâmetro do colmo resulta no N absorvido pelas plantas, que combinado com esqueletos carbônicos para produção de aminoácidos, os quais resultam em proteínas que ficam armazenada no tecido vegetais (Freitas *et al.*, 2011).

O gráfico da Figura 6 B estar representando análise de regressão quadrática da variável altura de planta sobre efeito das doses de nitrogênio. Podendo observar que inicialmente, à medida que as doses aumentam, a altura também aumentava, indicando que aplicação é benéfica até um certo um ponto, tendo um limite ideal para a aplicação. O comportamento de altura de planta é bem parecido com o DC, porém o valor de $R^2 = 0,94$,

indica que a variação na altura das plantas pode explicada pelas doses aplicadas, além de que o valor indica um excelente ajuste aos dados, onde as previsões feitas com base nesse modelo são bastante confiáveis. Resultados semelhantes foram encontrados por Maia *et al.* (2017) onde citaram que as maiores doses de nitrogênio promoveram maiores valores de altura de planta. Em estudos realizados por Souza, Carvalho e Viana (2017) foram encontrados resultados em que altura de planta foi afetada pela adubação nitrogenada e lâmina de irrigação, e que a maior dose e lâmina estudada e quando comparadas a menor proporcionaram aumento na altura da planta.

Para os gráficos representados na Figura 6 C e D estão relacionando as variáveis comprimento do colmo e comprimento da lâmina foliar, após 68 DAS. Em termos de significância, o ajuste do modelo quadrático para a variável comprimento do colmo e cúbico para comprimento da lâmina foliar também está relacionado ao valor de R^2 . Que para o gráfico de comprimento de colmo e comprimento da lâmina foliar foi de 0,63 e 0,88 respectivamente, esses dados indicam uma boa correlação entre as doses de nitrogênio aplicada. O comprimento do colmo atingi a sua dose de máxima eficiência de 222,5 kg/ha⁻¹ de nitrogênio.

Os gráficos dispostos da Figura 7, faz uma relação entre as variáveis DC, AP, CC e C, após 75 dias a aplicação do nitrogênio. Neste período geralmente é esperado um efeito expressivo no crescimento inicial das plantas, promovendo maior vigor e robustez. Para o gráfico da Figura 7 A estar relacionando o diâmetro do colmo com doses de nitrogênio, onde essa variável tende, mostrar claramente uma resposta das plantas á nutrição nitrogenada. O gráfico mostra que o diâmetro aumenta de forma acentuada próximo a dose de 160, onde a planta conseguiu utilizar de forma eficiente o nitrogênio para aumentar a robustez do colmo, resultando em maior diâmetro, porém ela atingi seu ponto de máxima eficiência com 63 kg/ha⁻¹. No entanto após essa dose, observar uma leve queda, indicando que doses maiores começam a perder a eficiência ou até impactar de forma negativa o crescimento, onde essas doses mais altas podem ter causado toxicidade ou saturação de nutrientes.

A equação que melhor se adequou para esse gráfico foi a quadrática, onde mostra que houve apenas uma dose com máxima eficiência, seguindo de uma queda. O valor de $R^2=0,79$, indica que 79 % da variação no diâmetro do colmo é explicada pelas doses de nitrogênio. Estes resultados se assemelham aos de Fernandes *et al.* (1991), que em sua pesquisa com sorgo em solução nutritiva de nitrogênio, tiveram uma resposta da cultura ao incremento da

concentração de nitrogênio na solução e que a aplicação de 120 mg de nitrogênio por litro proporcionou maior de diâmetro do colmo na cultivar EA 116. Já Goes *et al.* (2011) não obtiveram resultados significativos para esta variável, onde as doses e fontes não mostrou efeito significativo. Oresca (2018) constatou que de acordo que aumentava o fornecimento de água e de nitrogênio, houve um acréscimo no diâmetro do colmo, onde a cultura do sorgo apresentou diâmetro igual a 2,15 com a maior dose de nitrogênio.

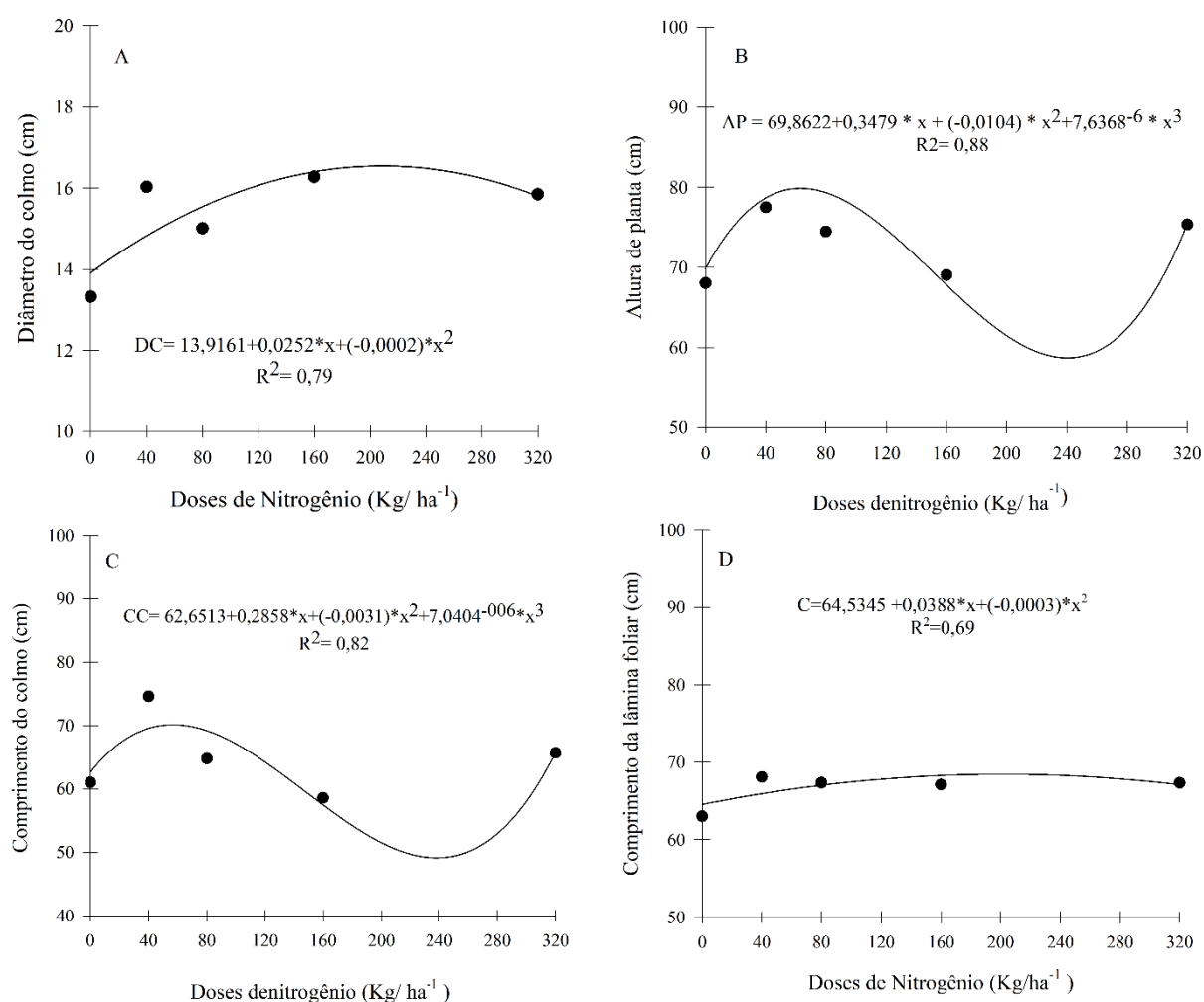


Figura 7: Gráfico de regressão para diâmetro do colmo (DC) (A), para altura de planta (AP) (B), comprimento do colmo (CC) (C), e comprimento da lâmina foliar (C) (D) aos 75 DAS, da cultura de sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio.

A variável altura de planta (Figura 7 B) os dados se adequaram melhor a equação cúbica. Quando esta altura atinge a dose 40, ocorre uma redução significativa com as doses

intermediarias de nitrogênio, onde logo em seguida volta a ter um novo aumento. Esta variação pode ser explicada por uma resposta inicial vigorosa das plantas a adubação nitrogenada, porém ao longo dos 75 dias, com doses intermediárias (80 e 160), o excesso de nitrogênio pode ter causado um desequilíbrio hormonal, reduzindo o crescimento vertical. Porém na maior dose (320) ocorre um pequeno aumento na altura devido á maior disponibilidade de nitrogênio, mas sem a eficiência inicial. Santos *et al.* (2016) encontraram em seus estudos cultivares de sorgo granífero com altura entre 1 m e 1,5 m. Já Pinho; Borges; Rezende; Vasconcelos (2006) diz que altura das plantas é influenciada pela constituição genética da cultivares o que proporcionou uma grande variação observada.

O comprimento do colmo após 75 dias aplicação de nitrogênio está disposto na Figura 7 C, em que a regressão cúbica foi a que melhor se adequou aos dados. O comprimento aumenta nas doses de iniciais de 0 e 40, porém tem decréscimo nas doses intermediarias de 80 e 160, e logo em seguida, apresenta um leve aumento com a dose mais elevada. Assim sendo esta variável tende a ter o comportamento parecido com AP, tendo uma utilização eficiente do nutriente durante a fase inicial de crescimento, com a redução deste comprimento nas doses intermediarias pode ter ocorrido o efeito negativo do excesso de nitrogênio, onde causa influencia na planta para alocar recursos para alongamento do colmo, e já o aumento da dose mais alta (320), está uma resposta tardia da planta, tentando compensar o excesso de nitrogênio absorvido.

Após 75 dias da aplicação do nitrogênio, o comprimento da lâmina foliar (Figura 7 D), nos mostra uma curva com comportamento quadrático, onde o comprimento da lâmina foliar aumenta á medida que as doses de nitrogênio aumentam, ate atingir seu ponto de máxima eficiência com 64,67 kg/ha⁻¹. Após essa dose, o comprimento da lâmina começa a diminuir, onde doses mais altas de nitrogênio não interferem mais no comprimento. O valor de $R^2 = 0,86$, nos indica que o ocorre uma variação no comprimento da lâmina foliar de 86 % pelas doses de nitrogênio.

Os dados coletados 82 dias após aplicação das doses de nitrogênio, mostram algumas variações nos parâmetros avaliados (Tabela 7). O número de folhas expandidas (NFVE) permaneceu constante em todas as doses de nitrogênio (variando de 5 a 5,66 folhas), sem diferença estatística significativas (valor-p=0,68) indicando que as dose de nitrogênio não impactou nesta varial, o valor de do número de folhas vivas continuo contante igual ao NFVE. A variável NFM variou entre 1,75 e 2,66, embora pareça haver uma tendencia de

menor mortalidade com o aumento das doses, o valor-p de 0,93 indica que as diferenças não são significativas. Já a largura da lâmina foliar (L) aumentou levemente com o aumento das doses de nitrogênio de 5,16 cm para 6,48 cm nas doses mais altas, no entanto o valor-p de 0,29 mostra que essas variações não são estatisticamente significativas.

Tabela 7. Valores médios da avaliação biométrica e seu desvio padrão aos 82 DAS; número de folhas vivas expandidas (NFVE), número de folhas em expansão (NFVEE), número total de folhas vivas (NFV), número de folhas mortas (NFM), largura de lâmina foliar (L), em função das diferentes doses de nitrogênio.

Doses	82 DAS				
	NFVE	NFVEE	NFV	NFM	L(cm)
0	5,00±0,72	0	5,00±0,72	2±0,27	5,16±1,01
40	5,44±0,79	0	5,44±0,79	2,66±0,86	6,12±0,56
80	5,58±1,37	0	5,58±1,37	1,91±0,92	6,48±0,85
160	5,66±1,19	0	5,66±1,19	1,83±0,69	6,4±0,56
320	5,66±1,15	0	5,66±1,15	1,75±0,57	6,41±0,64
Valor-p	0,68	0	0,68	0,93	0,29

Os dados de diâmetro do colmo aos 82 dias após a aplicação do nitrogênio (Figura 8 A) se ajustou a regressão cubica, onde o coeficiente de determinação ($R^2 = 0,99$), indica que 99% dos dados se ajustaram perfeitamente as doses de nitrogênio, sugerindo que o modelo descreve que essa relação é altamente eficaz. É possível observar que ocorreu um aumento deste diâmetro nas doses iniciais, onde na dose 80 teve o pico de máxima eficiência da dose tendo um diâmetro do colmo de 16,37 cm a curva ascendente até esse ponto sugere que as plantas estão respondendo de forma positiva a adubação, teve uma leve reduzida na dose de 160 e voltando a aumentar na última dose (320), tal diminuição pode ter ocorrido devido ao efeito de toxicidade que doses mais altas de nutrientes podem causar na cultura.

Para altura de planta (AP) observamos que com o aumento da dose nitrogênio, altura tende a aumentar (Figura 8 B). Pelo o gráfico notasse que para essa variável ela alcança um pico na dose de 153,75 kg/ha⁻¹ e logo após começa a diminuir, onde a equação que melhor se ajustou a esses dados foi a quadrática tendo um valor do coeficiente de determinação de $R^2 = 0,54$, sugerindo que a relação entre doses e AP é moderadamente forte, indicando que outros fatores também podem influenciar o crescimento das plantas.

Para a variável CC (Figura 8 C) aos 82 dias tem o mesmo comportamento de AP onde atingi um ponto máximo de $192,5 \text{ kg/ha}^{-1}$ de nitrogênio e logo após começa a diminuir com doses maiores, e o seu valor de $R^2 = 0,81$, ou seja, 81 % dos dados obtidos tem uma variação sob influência das doses de nitrogênio. Resultados semelhantes foram encontrados por Matos (2019), onde a altura da planta, juntamente com o diâmetro e o número de folhas vivas, teve associações significativas com lâmina de irrigação, tendo uma correlação positiva. A correlação negativa da variável número de folhas mortas e altura de planta e o diâmetro de colmo se justifica pelo fato de plantas mais altas e com maior diâmetro apresentam menor quantidade de folhas senescentes. Já Silva *et al.* (2022) citaram que o diâmetro do colmo apresentou diferença significativa apenas aos 38 DAS, em que foi observado aumento linear desta variável com aplicação de fosforo. Ferreira *et al.* (2019) observaram que o diâmetro do caule teve um aumento com a utilização de diferentes doses de bioestimulante e adubação nitrogenada, Porém AP na ausência de adubação respondeu de forma quadrática aos efeitos das doses de bioestimulante, tendo a melhor dose de 5,54 mL, que correspondeu a altura de planta de 82,78 cm.

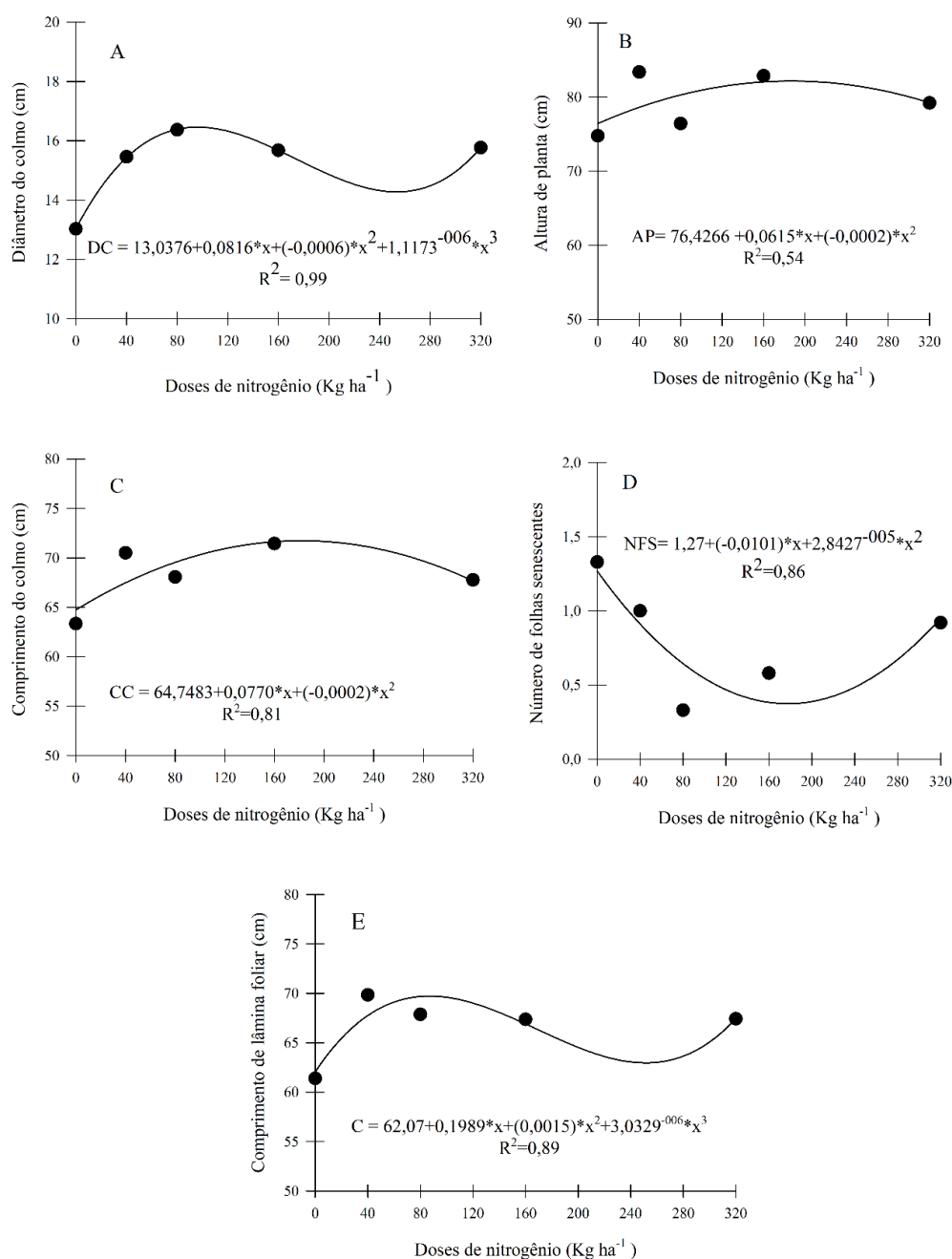


Figura 8: Gráfico de regressão para diâmetro do colmo (DC) (A), para altura de planta (AP) (B), comprimento do colmo (CC) (C), número de folhas senescentes (NFS) (D) e comprimento da lâmina foliar (C) (E) aos 82 DAS, da cultura de sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio.

Para o número de folhas senescentes (NFS) aos 82 dias após aplicação do nitrogênio, revela um padrão inverso, onde o aumento das doses de nitrogênio está associado a uma diminuição no número de folhas senescentes. Inicialmente, observa-se que nas doses mais

baixas, o NFS é mais alto em torno de 1,5, onde a falta do nitrogênio pode levar a um envelhecimento prematuro, resultando em maior número de senescência (Figura 8 D). À medida que as doses aumentaram, o valor de NFS diminuiu, tendo um ponto mínimo na dose 177,6 kg/ha⁻¹ de nitrogênio, indicando que esta dose é adequada, retardando o processo de senescência foliar. O coeficiente de determinação $R^2 = 0,86$ indica uma forte relação entre a variável e as doses, reforçando a ideia que a aplicação nitrogenada tem um grande impacto na saúde das folhas. Silva *et al.* (2004) em seu trabalho sobre o comportamento de sorgo granífero em função do manejo de nitrogênio citaram que à medida que aumentavam a dose, diminuía o número de folhas.

O comprimento da lâmina foliar disposto na Figura 8 E tem uma correlação com os dados anteriores, podendo observar um aumento nas doses iniciais, em que na dose 40 teve maior comprimento com 69,83 cm, após esta dose os dados tendem a diminuir e tendo um pequeno aumento na dose de 320, a relação entre as doses de nitrogênio e o comprimento da lâmina foliar sugere uma regressão cubica, onde seu coeficiente de determinação $R^2 = 0,89$, indica uma forte correlação entre as variáveis.

A produção de matéria seca do sorgo granífero demonstrado na Figura 9 A, nos indica que para a produção de matéria de massa seca do colmo houve um efeito significativo das doses de nitrogênio, onde podemos ver que a melhor equação de regressão que se adequou foi a quadrática, indicando um aumento inicial da matéria seca do colmo em função ao aumento das doses de nitrogênio, até alcançar um pico, logo após começa a diminuir em doses mais elevadas. É possível observar que a matéria seca atingiu o seu ponto de máxima eficiência na dose de 144,5 kg/ha⁻¹ de nitrogênio, podemos observar também que o valor de $R^2 = 0,99$, indicando melhor o efeito das doses na matéria seca do colmo. Khalili; Akbari; Chaichi (2008) obtiveram uma produtividade de 5,8 T/ha no tratamento sem estresse hídrico utilizando as doses de 45 kg/ha⁻¹ de N e 100 kg/ha⁻¹ de P₂O₅. Já Gabriel *et al.* (2023) tiveram em seus estudos diferença significativa para as características massa seca do colmo, onde observou os níveis de desfolha, independente do estágio realizado, sendo possível notar que à medida que se aumentava os níveis de desfolha, a massa seca reduzida.

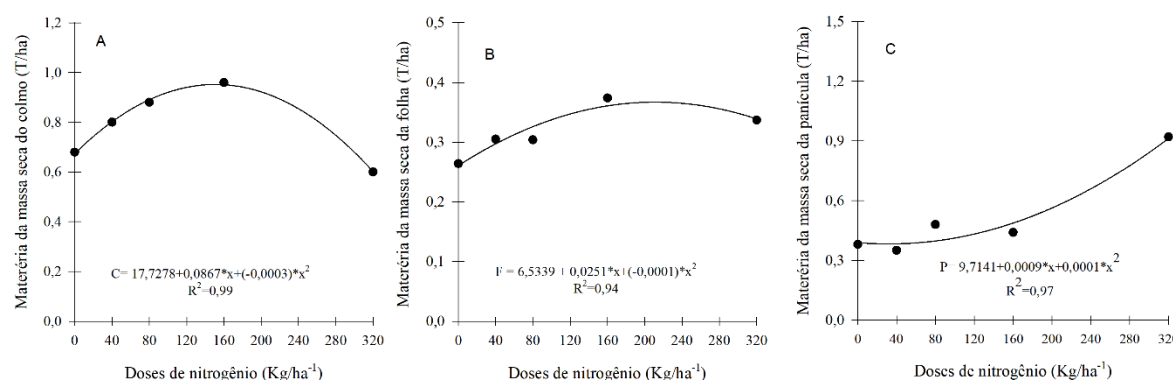


Figura 9: Gráfico de regressão para massa da matéria seca do colmo (A), folha(B) e panícula(C), de sorgo granífero submetido a doses de nitrogênio.

Para a matéria de massa seca das folhas (Figura 9-B) a aplicação de nitrogênio teve um impacto positivo no acúmulo de matéria seca nas folhas, onde a planta maximizou a alocação de biomassa nas folhas, notando-se que na dose mais alta (320), teve um leve decréscimo, indicando que o limite ótimo para o crescimento foliar seria até a dose de 125,5 kg/ha⁻¹ de nitrogênio, o aumento de doses mais elevadas pode causar essa diminuição em decorrência a fatores como estresse por excesso de nutrientes. Resultados como este foram encontrados por Nakao (2018), que estava avaliando a massa seca de sorgo em dois ciclos, teve como resultado que a produtividade de massa seca sorgo granífero diferiram significativamente ($P < 0,05$), tendo valores médios para a massa seca das folhas foram obtidos no 2º ano de cultivo.

Para a massa seca da panícula (Figura 9 C), notasse que a equação tem um padrão crescente, principalmente nas doses maiores, onde a aplicação de N tem um impacto maior na panícula conforme as doses aumentam. Para esta variável a curva é ascendente e não apresenta um máximo dentro do intervalo analisado, indicando que a matéria seca da panícula continua a aumentar com doses crescentes de nitrogênio. Isso ocorre devido aos coeficientes quando derivados nunca se iguala a zero ($0,0002 x$ é sempre positivo). Gabriel *et al.* (2023) encontraram em plantas que realizaram a desfolha, uma maior média de massa seca de panícula com 25,57 g, tendo um decréscimo conforme esse nível fosse aumentando. Tang *et al.* (2018) avaliando a biomassa e qualidade do sorgo no semiárido, observaram que a dose de N, tem maior valor tanto de matéria verde quanto de matéria seca, diante disto, à medida que ia se aumentando as doses de nitrogênio ia aumentando a produtividade de biomassa.

O gráfico da Figura 10, nos mostra a relação entre a dose de nitrogênio aplicada e produtividade (T/ha). A curva inicialmente aumenta onde atinge um ponto de máxima eficiência de 281,5 Kg/ha⁻¹ de nitrogênio, e logo após começa a diminuir, isso indica que até certo ponto, a adição de nitrogênio aumenta a produtividade, mas além dessa dose ótima, a produtividade tende a diminuir ou a estabilizar. O valor de $R^2 = 0,96$ sugere que a representação dos dados experimentais, indicando uma forte relação entre as doses de nitrogênio e a produtividade. Schmidt e Osaki (2007) em sua pesquisa com adubação nitrogenada em cobertura no trigo, tiveram produtividade de 1445 Kg/ha⁻¹ com a dose ótima de 250 Kg/ha⁻¹ de N, e que doses mais elevadas não proporcionou incrementos de produtividade na cultura.

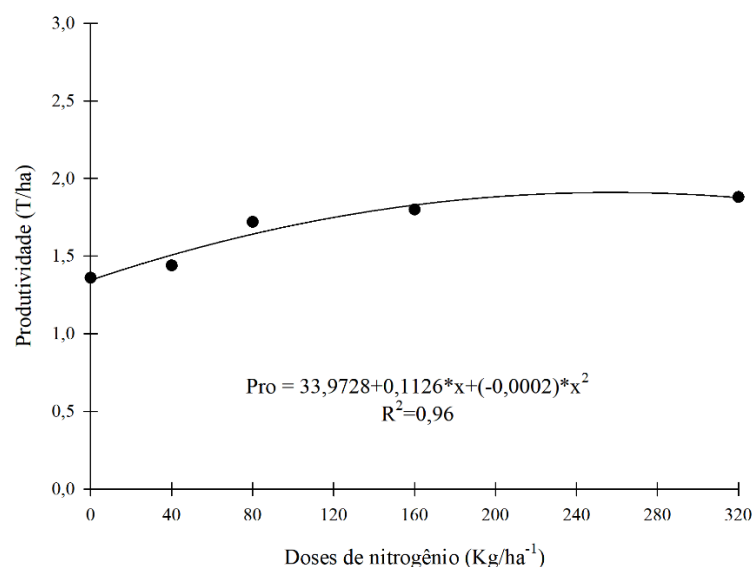


Figura 10: Produtividade do sorgo granífero em função de diferentes doses de nitrogênio. Serra Talhada-PE, 2024

No que refere ao dano de membrana (DM) (Figura 11), a equação revela que a reposta desta variável ao nitrogênio não é linear, o modelo indica que a fases distintas, onde começa com decréscimo inicial, seguido por um leve aumento, depois, uma queda em doses mais elevadas, além disto o coeficiente de determinação ($R^2 = 0,62$), aponta que outros fatores podem influenciar. Ao analisarmos os dados referente a dose 0, percebemos que cerca de 20%, o maior valor, notamos que a falta de nitrogênio pode causar estresse as células da

planta, tendo uma maior fragilidade, essa porcentagem indica que sem aplicação do nutriente a planta está sobre estresse nutricional, afetando a sua estrutura celular.

Nas doses de 40 o DM cai significativamente para cerca de 15 %, onde está dose tem efeito positivo na integridade celular, sabendo-se que o nitrogênio é crucial para a síntese de proteínas e outros compostos celulares importantes. Nas doses intermediárias de 80 e 160 tem um leve aumento em que a planta passa a ter um equilíbrio delicado, já na última dose (320) esse valor cai, aproximadamente 15 %, valor similar a dose 40, onde doses altas de nitrogênio podem compensar o estresse nas membranas celulares, fornecendo nutrientes suficientes para melhorar o metabolismo e a estrutura celular. Freitas (2018) estudando plantas de sorgo submetidas à salinidade, observou que para danos de membrana e TRA não houve alteração mediada pela aspersão de prolina nas plantas, porém para dano de membrana foi mais pronunciado nos tratamentos salinos independentes.

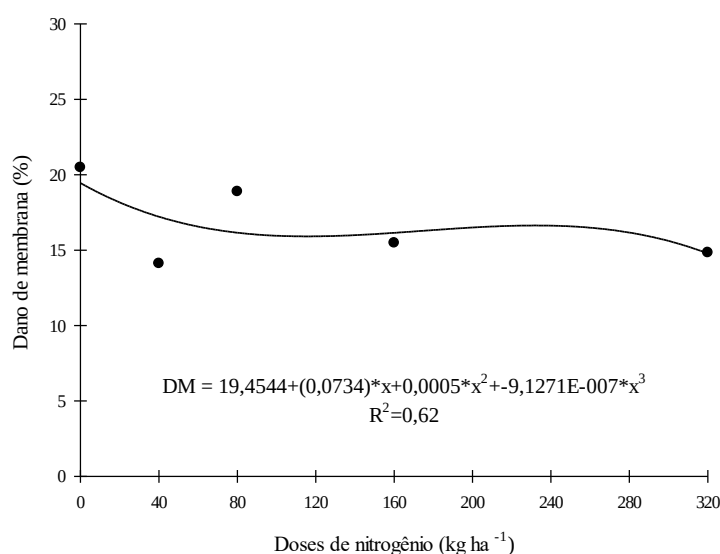


Figura 11: Gráfico de regressão para dano de membrana (%) em função de diferentes doses crescentes de nitrogênio, Serra Talhada – PE.

De acordo com os resultados obtidos neste estudo observou-se que o fornecimento de nitrogênio no solo não influenciou na absorção do K^+ , Na^+ e a interação entre os dois para a cultura do sorgo (Tabela 8). A concentração de sódio tem uma leve variação ao longo das diferentes doses de nitrogênio, no entanto, não há uma tendência de aumento ou diminuição linear com o incremento das doses. Já para o potássio tem uma resposta um pouco mais claro

ao incremento das doses de nitrogênio, onde se observa um aumento nas doses de 40 e 160, com uma queda nas concentrações de 80 e 320. Oresca (2018) cita em seu trabalho que devido ao nitrogênio disponibilizar em quantidade considerável, próximo a zona radicular, íons essenciais como NH_4^{4+} e NO_3^{3-} , inibem a absorção de elementos não essenciais e prejudicam ao metabolismo da maioria das plantas cultivadas.

Tabela 8. Conteúdo de sódio (Na^+) e potássio (K^+) e a interação (Na^+ / K^+) de folhas de sorgo granífero sob diferentes doses de nitrogênio

Dose (kg ha^{-1})	Na^+	K^+	Na^+ / K^+
	($\mu\text{mol g}^{-1} \text{MS}$)		
0	33,03	467,18	0,07
40	34,24	508,20	0,068
80	29,37	489,45	0,060
160	30,59	512,89	0,060
320	31,81	474,21	0,067
CV (%)	28,05	19,21	27,12

A aplicação do nitrogênio afetou de forma significativa o índice de clorofila *a*, *b*, clorofila totais e carotenoides, para clorofila *b* a equação que melhor se adequou foi a linear apresentando coeficiente de variação de $R^2 = 0,94$ (Figura 12 B), é possível notar que teve um efeito crescente com o aumento das doses, onde o nitrogênio promove uma acumulação constante de Chl *b*. Na Figura 12 A a melhor regressão que adequou aos dados foi a quadrática, porém não é possível achar o ponto da dose de máxima eficiência pela equação, pois os coeficientes nunca se igualam a zero devido o valor positivo de 0,0002.

Já na Figura 12 C e D os valores aumentam à medida que doses de nitrogênio aumentam, até um ponto de inflexão em que esse crescimento desacelera e começa a cair, para os carotenoides também aumentam inicialmente com o aumento das doses de nitrogênio, sugerindo que a disponibilidade favoreça a síntese destes pigmentos, porém assim como as clorofilas em doses excessivas podem não ser benéficas, resultando em uma queda nos teores de carotenoides. Vários trabalhos falam que os níveis de clorofila permitem a avaliação indireta do estado de N nas plantas (Uddling *et al.*, 2007; Coelho *et al.*, 2010; Samborski *et al.*, 2009), uma vez que este nutriente está envolvido na síntese de aminoácidos, que está associados com os cloroplastos (Rambo *et al.*, 2004). Resultados semelhantes foram

encontrados por Xavier (2021) onde o ajuste quadrático da equação revela que a aplicação de 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura foi o suficiente para manter este nutriente.

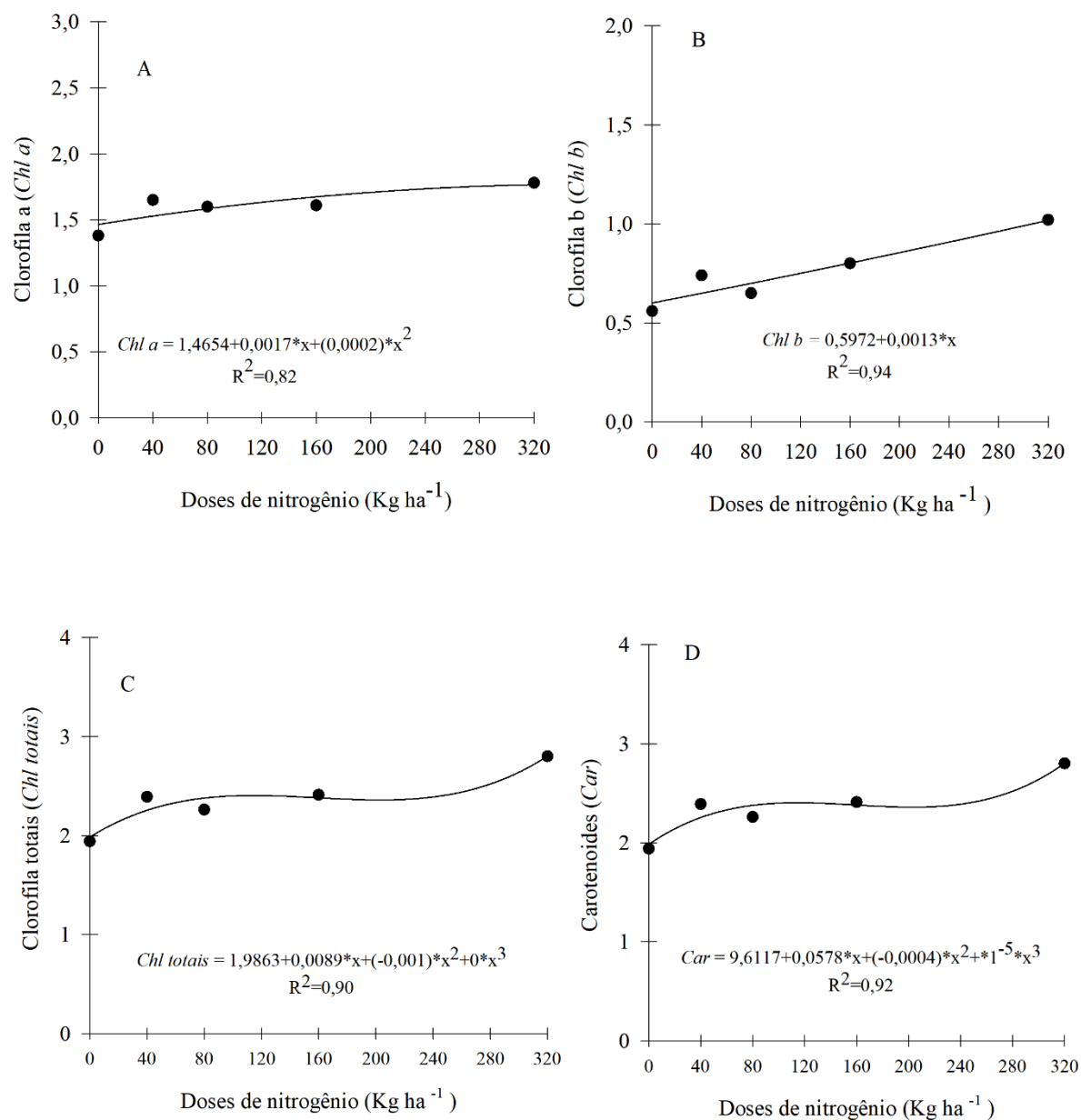


Figura 12: Variação do conteúdo de pigmentos fotossintéticos (clorofila a (*Chl a*), b (*Chl b*), totais (*Chl totais*) e carotenoides (*Car*)) em plantas de sorgo granífero cultivadas sob adubação nitrogenada.

Vemos os resultados da análise de variância (ANOVA) para as variáveis dependentes (TApF, TAF e TAC) ao longo das análises feitas semanalmente. Para a variável TApF não apresentou resultado significativo ($P>0,05$) em nenhuma semana de avaliação, onde o nitrogênio não teve um efeito significativo para essa variável. Porém para o TAF foi obtido resultado significativo apenas para as doses na primeira semana avaliada, com um coeficiente de variação de 51,8 %. Para a variável TAC apresentou mais significância durante o período de avaliação, em que aos 68,75 e 82 DAS teve diferença estatística a 5% de probabilidade.

Tabela 9. Análise de variância das taxas de aparecimento foliar, TApF (N° folhas dia^{-1}), alongamento foliar, TAF (mm folha $^{-1}$ dia^{-1}), alongamento de colmo, TAC (cm dia^{-1}) de Sorgo granífero em função do nitrogênio. Serra Talhada-2024.

CV	GL	Quadrados médios					
		TApF/DAS					
		40	47	54	61	68	75
Doses	4	0,002 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,0007 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,0012 ^{ns}
Bloco	3	0,004 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	0,0013 ^{ns}	0,0003 ^{ns}	0,0007 ^{ns}
Resíduo	12	0,0045	0,0058	0,002	0,0017	0,0012	0,0008
Total	19						
CV (%)		5,79	6,62	4,71	3,76	3,31	2,71
CV	GL	TAF/DAS					
		40	47	54	61	68	75
		40	47	54	61	68	75
Doses	4	0,082 [*]	0,04 ^{ns}	0,012 ^{ns}	0,014 ^{ns}	0,004 ^{ns}	0,05 ^{ns}
Bloco	3	0,012 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,0007 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,001 ^{ns}
Resíduo	12	0,01	0,043	0,12	0,028	0,009	0,022
Total	19						
CV (%)		8,44	17,11	9,91	13,65	8,28	12,62
CV	GL	TAC/DAS					
		40	47	54	61	68	75
		40	47	54	61	68	75
Doses	4	1,07 ^{ns}	0,148 [*]	0,099 ^{ns}	0,641 ^{**}	0,133 ^{**}	0,205 [*]
Bloco	3	1,35 ^{ns}	0,004 ^{ns}	0,013 ^{ns}	0,383 [*]	0,016 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Resíduo	12	1,19	0,03	0,02	0,07	0,014	0,04
Total	19						
CV (%)		28,5	30,13	12,46	36,43	9,69	15,89

Efeito significativo a 1% (**), a 5% (*) e efeito não significativo (ns); Coeficiente de variação (CV); Dias após o semeio (DAS).

Os dados obtidos na Tabela 11 ao longo dos dias da aplicação de nitrogênio, indicam uma variação entre as diferentes doses deste nutriente. No geral as médias de TApF mantiveram-se próximas entre as doses, especialmente nos primeiros estágios de avaliação (47 a 61 DAS), sem diferença estatisticamente significativas (valor-p >0,05).

No entanto, observou-se uma diferença significativa entre as doses aos 68 DAS com valor-p de 0,03, sugerindo que a aplicação de nitrogênio influenciou a TApF nesse estágio da cultura. Especificamente na dose de 320 teve uma leve tendência de maior acúmulo em comparação as demais, embora não tenha sido consistente ao longo do tempo. Nos últimos estágios de avaliação, as médias se aproximaram novamente, independentemente da dose aplicada, resultando em um valor-p não significativo (0,37). Estes resultados indicam que, o nitrogênio possa influenciar em determinados momentos. Costa *et al.* (2018) citaram que as variáveis, taxas de senescências foliar foi menor que as taxas de alongamento e aparecimento foliar, o que vai beneficiar o acúmulo de massa seca de forragem e uma melhor qualidade. Apesar de não se diferenciar entre as fontes de variação, a taxa de alongamento de colmo foi maior que as taxas de aparecimento foliar e alongamento foliar nas três épocas de avaliação, o que ressalta que a competição por luz promove o alongamento do colmo (Taiz *et al.*, 2017).

Tabela 10. Taxa de aparecimento foliar (TApF, folhas dia⁻¹), de sorgo granífero e seus respectivos desvios padrão em função dos dias de aplicação do nitrogênio (DAS).

Doses	TApF/DAS					
	40	47	54	61	68	75
0	1,182±0,053	1,15±0,026	1,15±0,045	1,10±0,021	1,05±0,020	1,08±0,037
40	1,167±0,067	1,18±0,059	1,13±0,044	1,107±0,035	1,09±0,026	1,07±0,022
80	1,150±0,080	1,14±0,101	1,09±0,036	1,11±0,067	1,06±0,048	1,05±0,023
160	1,145±0,040	1,12±0,039	1,10±0,052	1,12±0,036	1,07±0,021	1,10±0,031
320	1,192±0,088	1,167±0,108	1,11±0,064	1,13±0,033	1,09±0,035	1,06±0,025
Valor-p	0,49	0,16	0,93	0,98	0,03	0,37

Na análise TAF (Tabela 11), observa-se que aos 40 DAS houve uma maior tendência de acumulação na dose 0 (1,46), em que diferiu estatisticamente a 5 % de probabilidade das demais doses. No entanto, ao longo do tempo, as diferenças entre as doses foram minimizadas, com o valores-p variando entre 0,23 e 0,83 nos demais períodos, com ausência do efeito significativo do nitrogênio na TAF. Mesmo com essa variação é importante notar

que a dose de 160 teve uma leve tendência de aumento no final do ciclo (75 DAS), com o valor de 1,34, em comparação com as outras doses, porém não diferiu estatisticamente. Fagundes *et al.* (2006) descreveram que não houve significância para a interação de doses de nitrogênio x estação do ano, de modo que os efeitos se limitaram aos fatores isolados de N.

Tabela 11. Taxa de alongamento foliar (TAF cm dia⁻¹) de sorgo granífero e seus respectivos desvios padrão em função dos dias de aplicação do nitrogênio (DAS).

Doses	TAF/DAS					
	40	47	54	61	68	75
0	1,46 a	1,15±0,22	1,17±0,80	1,29± 0,25	1,17±0,46	1,25±0,48
40	1,10 b	1,41±0,34	1,18±0,01	1,25± 0,11	1,16±0,31	1,09±0,85
80	1,46 b	1,16±0,25	1,04±0,04	1,17± 0,55	1,11±0,30	1,08±0,33
160	1,17 b	1,17±0,32	1,13± 0,83	1,29± 0,04	1,20±0,31	1,34±0,56
320	1,16 b	1,19±0,66	1,13± 0,06	1,16± 0,07	1,18±0,44	1,17±0,45
Valor-p	0,19	0,23	0,45	0,43	0,83	0,14

Os valores de TAC (Tabela 12) aos 40 DAS variaram de 0,38 (dose 80) a 0,91 (dose 320), onde podemos observar que na dose de 320 se diferiu das demais doses, uma vez que as doses 0,40 e 160 podem ser consideradas iguais estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 %. Aos 47 DAS a dose de 80 apresentou um maior valor de TAC (1,41) sendo superior as demais, porém a dose de 0 não diferiu estatisticamente das demais.

No período de 54 DAS, a dose de 80 indica que resultou em um acúmulo de colmo significativo maior que a dose 40, sendo estatisticamente diferentes, para as demais não apresentam diferença significativas entre si. Com o passar do período aos 61 DAS a dose de 160 teve diferença significativa das demais, contudo a dose de 40 pode ser considerada igual a mesma, estatisticamente, o mesmo aconteceu para as doses 0, 80 e 320 que são estatisticamente iguais.

Tabela 12. Taxa de alongamento de colmo (TAC em dia^{-1}), de sorgo granífero e seus respectivos desvios padrão em função dos dias de aplicação do nitrogênio (DAS).

Doses	TAC/DAS					
	40	47	54	61	68	75
0	0,64 ab	1,1 ab	0,75 ab	1,14 b	1,14 b	1,15 b
40	0,60 ab	1,03 b	0,23 b	1,33 ab	1,33 ab	1,34 ab
80	0,38 b	1,09 b	1,31 a	1,15 b	1,15 b	1,21 ab
160	0,52 ab	1,41 a	0,52 b	1,53 a	1,53 a	1,68 a
320	0,91 a	1,05 b	0,82 ab	1,09 b	1,09 b	1,12 b
Valor-p	0,86	0,03	0,36	0,22	0,2	0,21

No período de 68 DAS a dose 40 foi estatisticamente igual as demais doses, porém a dose de 160 diferiu estatisticamente das doses 0,80 e 320 que são iguais pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Aos 75 DAS as doses de 40 e 80 são estatisticamente iguais as doses de 0, 160 e 320. Porém a dose de 160 diferiu das doses de 0 e 320, sendo superior as mesmas com valor de 1,68. Glaze-corcoram *et al.* (2020) citaram que o aparecimento de novas folhas em uma planta depende de fatores como disponibilidade água, nutriente e competitividade intra e interespecífica. Resultados semelhantes foram encontrados por Taiz *et al.* (2017) em que alguns resultados não difeririam entre as fontes, e que a taxa de alongamento de colmo mostrou-se maior que as taxas de aparecimento foliar, e o alongamento foliar nas três épocas de avaliação, o que ressalta que a competição por luz promove alongamento do colmo.

7 CONCLUSÃO

A adubação nitrogenada contribui para o crescimento e aumento da produção de fitomassa do sorgo granífero, e deve ser recomendada como estratégia de manejo desta planta forrageira.

O uso de adubação nitrogenada não influencia nos teores de sódio e potássio no sorgo granífero.

A dose de 160 kg/ha de nitrogênio apresenta o melhor desempenho geral, otimizando a produção, e garantindo tanto o desenvolvimento sustentável da cultura quanto a eficiência no uso do fertilizante nitrogenado.

Doses mais altas podem influenciar de forma negativa o desempenho desta cultura. Entretanto, ressalta-se a importância de novos estudos considerando outros fatores como a duração do experimento, fatores biológicos do solo e viabilidade econômica para consolidar a eficácia e melhor adequar estas práticas ao ambiente.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANTES, F. L.; KULCZYNSKI, S. M.; SORATTO, R. P.; BARBOSA, M. M. M. Nitrogênio em cobertura e qualidade fisiológica e sanitária de sementes de painço (*Panicum miliaceum* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n.3 p.106-115, 2010.

Aegro. Sorgo: tudo sobre a planta que pode ser a melhor alternativa para alimentação de gado. **Blog Aegro**.2024.

ALBUQUERQUE, C.J. B.; MENEZES, C. B.; FREITAS, R. S. **Origem, evolução e domesticação do sorgo; Melhoramento genético de sorgo**. Ed. Brasília: Embrapa, cap 2, p 61-73, 2022.

ALMEIDA, L. G. F. **Etanol de segunda geração utilizando sorgo biomassa (*Sorghum bicolor*)**. Diamantina: Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri, 2019. (Tese de doutorado)

ALMEIDA, M. C. R. **Morfofisiologia de milho e propriedades físico-hídricas do solo em função de sistemas de produção**. Serra Talhada: Unidade Acadêmica de Serra Talhada, 2021. (Dissertação de mestrado)

ALVES, D. F.; REBOUÇAS FILHO, P. J.; COSTA, P. V. M. Correlação entre a Inflação e a Exportação de carne bovina no Brasil de 2000 a 2015. **Revista brasileira de geografia econômica**, n 13, 1-15, 2018.

ANDRADE, A. C., D. M. *et al.* Produtividade e valor nutritivo do Capim-Elefante cv. Napier sob doses crescentes de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6, p.1589-1595, 2000

BARBOSA, M. P.F; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F. **Aplicação de nitrogênio em cobertura no feijoeiro irrigado**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, Arroz e Feijão, 2001. 8 p. (Circular Técnica, 49)

BARROS, D. M. A. *et al.* Perspectiva do manejo de pastagens nativas no bioma caatinga para produção de ruminantes. In: **Atualizações científicas do centro de ciências agrárias**. Fortaleza: Editora In Vivo, 2024. Cap 4, p 38-46.

BATISTA, V. A. P. **Revestimento de sementes de sorgo granífero com zinco e boro**. 2021. Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2021. (Tese de doutorado)

BECERRA, P. A. C. **Efeito da aplicação de *Trichoderma harzianum* na produtividade das culturas de milho e sorgo para silagem em Zamorano.** Honduras: Escola Agrícola Pan-americana Zamorano, 2016. (Dissertação de monografia)

BEZERRA, F. M. *et al.* Relatório de delimitação do semiárido. Recife: **SUDENE**, 2021. p.8 (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Relatório final).

BREDEMEIER, C. Desenvolvimento da planta e exigências edafoclimáticas. In: EICHOLZ, E. D. *et al.*, Informações técnicas para o cultivo do milho e sorgo na região subtropical do Brasil: safras 2019/20 e 2020/21. Ed. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, p. 62-91. 2020.

CARVALHO, F. H. **Aplicações de npk em sorgo granífero nas condições de cerrado.** 2020. Rio Verde: Instituto Federal Goiano, 2020. (Dissertação de mestrado)

CLAYTON, W. D.; RENVOIZE, S. A. Genera graminum: grasses of the world. **Kew: Royal Botanic Gardens, Kew, Reino Unido.** v 13.p 389.1986

COELHO, A. M. Nutrição e adubação. 3. ed. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). Cultivo do sorgo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de produção, 2).

COELHO, F. S. *et al.* Nitrogen rate associated with yield of potato and leaf nitrogen indices. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** v. 34, p. 1175-1183, 2010.

CORSI, M. Adubação nitrogenada em pastagens. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. (Ed.). **Pastagens: fundamentos da exploração racional.** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz. p.109-132,1986.

MANTOVANI, E. C.; RAMOS, M. M. Manejo da irrigação. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIEIRA, P. A. (Ed.). Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI; Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, p. 129-153, 1994.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. **Irrigation and drainage paper**, v. 33, p. 257, 1979.

DUARTE, N. L. **Cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench): uma revisão sobre sua versatilidade tecnológica, processamento e pós-colheita.** Mato Grosso do Sul: Universidade Federal da Grande Dourados, 2021. (Trabalho de conclusão de curso)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (3 ed., 353 p). Brasília: Embrapa Solos, 2013

FAGUNDES, J. L. *et al.* Características morfogênicas e estruturais do capim-braquiária em pastagem adubada com nitrogênio avaliadas nas quatro estações do ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 21-29, 2006.

FAQUIN, V. **Nutrição de plantas.** Lavras: UFLA / FAEPE, p. 183. 2005.

FÉLIX, A.S. *et al.* Análise exploratória dos impactos das mudanças climáticas na produção vegetal no Brasil. **Revista em Agronegócio de Meio Ambiente**, v. 13, n. 1, p. 397-400, 2020.

FERNANDES, V. L. B.; NUNES FILHO, M.; SOUZA, V. A.; FERNANDES, M. B. Absorção e utilização de nitrogênio em planta de sorgo cultivado em solução nutritiva. **Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 22, p. 89-96, 1991.

FERREIRA, L. L. *et al.* Bioestimulante e nitrogênio de liberação gradual no desempenho do sorgo. **Nativa**, v. 7, n. 4, p. 330, 2019.

FONSECA, I. M. *et al.* Crescimento e nutrição do sorgo (cv. BRS 304) em solução nutritiva. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n. 2, p. 113-124, 2008.

FREITAS, A. D.S. *et al.* Nodulação e fixação de nitrogênio por forrageiras da caatinga cultivadas em solos do semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 1856-1861, 2011.

FREITAS, P. A. F. **Elementos fisiológicos, bioquímicos e moleculares da aplicação exógena de prolina em plantas de sorgo submetidas à salinidade**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2018. (Tese de doutorado)

GABRIEL, L. A., *et al.* Desfolha artificial na cultura do sorgo granífero em diferentes estádios fenológicos. **Revista Inova Ciência & Tecnologia**, v. 9, n. 1, 2023.

GLAZE-CORCORAN, S. *et al.* Understanding intercropping to improve agricultural resiliency and environmental sustainability. **Advances in Agronomy**, v. 162, p. 199-256, 2020.

GOES, R. J. *et al.*, Fontes e doses de nitrogênio em cobertura no sorgo granífero na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 10, n. 2, p.121 129, 2011.

HART, R.H.; BURTON, G.W. Effect of row spacing seeding rate and nitrogen fertilization on forage yield and quality of Gahi-1 pearl millet. **Agronomy Journal**, , v.57, n.4, p.376- 378, 1965

HUMPHREYS, L. R; RIVEROS, F. **Produção de sementes de pastagens tropicais**.1986

INFORME AGROPECUÁRIO. Sorgo: uma opção agrícola. Epamig, Belo Horizonte, MG. Ano 12, n. 144, 1986.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção agropecuária: sorgo. *IBGE Explica*. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/sorgo/br>>. Acesso em: 13 set. 2024.

KHALILI, A.; AKBARI, N.; CHAICHI, M. R. Limited irrigation and phosphorus fertilizer effects on yield and yield components of grain sorghum (Sorghum bicolor L.var. Kimia). **American Eurasian Journal Agricultural & Environmental Science**. v. 3, n. 5, p. 697-702, 2008.

LARA, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de NNH_3 volatilizado para ureia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 345-352, 1990.

LEITE, M. L. M. V. *et al.* Leaf area estimate of *Pennisetum glaucum* by linear dimensions. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 41, e42808, 2019.

LEITE, M. L. M. V., *et al.* Caracterização da produção de palma forrageira no cariri paraibano. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 2, p.192-200, 2014.

LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**, v. 1, n. 1, p. F4.3.1-F4.3.8, 2001

LONGHI-WAGNER, H.M. Poaceae: um panorama com referência ao Brasil. **Rodriguesia**, v. 63, p. 89-100, 2012

LUCENA, R. L.; FERRER, E.; GUILHERMINO, M. M. Mitigando os riscos da seca através de ações de recuperação e preservação do bioma caatinga no semiárido brasileiro. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 36546–36557, 2021.

MACEDO, C.H.O. *et al.*, Produção e composição bromatológica do sorgo (*Sorghum bicolor*) cultivado sob doses de nitrogênio. **Archivos de Zootecnia**, v. 61, p.209-216. 2012.

MAGALHÃES, P. C., DURÃES, F. O. M., RODRIGUES, J. A. S. **Fisiologia da planta de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Comunicado técnico, 86. p.4, 2010.

MAGALHÃES, P. C.; DURAES, F. O. M.; SCHAFFERT, R. E. Fisiologia da planta de sorgo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica,3, p.46,2000.

MAIA, C. P. *et al.* Caracteres produtivos de sorgo híbrido SS-318 submetido a doses de nitrogênio. **Revista Agroecossistemas**, v. 9, n. 2, p. 53-65, 2017.

MARTHA J, G. B. *et al.* **Cenários exploratórios para o desenvolvimento tecnológico da agricultura brasileira: síntese**. Brasília, DF: Embrapa, p.26, 2016.

MARTINS, A. S. **Eficiência de adubação nitrogenada em diferentes estádios fenológicos da cultura do sorgo**. Ipameri: Universidade Estadual de Goiás,2019. (Dissertação de mestrado)

MATEUS, G. P. *et al.*, Adubação nitrogenada de sorgo granífero consorciado com capim em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1161-1169, 2011.

MATOS, N. A. **Aspectos agrônômicos e zootécnicos do sorgo forrageiro cultivado sob diferentes lâminas de precisão com água salina e adubação nitrogenada**. Serra Talhada :Universidade Acadêmica de Serra Talhada, 2019. (Dissertação de mestrado)

MAY, A. *et al.* **Cultivares de sorgo para o mercado brasileiro na safra 2011/2012**. Sete Lagoas, Embrapa Milho e Sorgo Documentos (INFOTEC AE), 2011.

MOURA, G. A. **Desempenho agrônômico de pornunça submetida a duas alturas de corte e consorciada com clones de palma forrageira**. Serra Talhada: Unidade Acadêmica de Serra Talhada,2019. (Trabalho de Conclusão de Curso)

MÜLLER, T. M. **Inoculação de Azospirillum brasilense associada a níveis crescentes de adubação nitrogenada e o uso de bioestimulante vegetal na cultura do milho.** Guarapuava: Universidade Estadual do Centro- Oeste, 2013. (Dissertação de mestrado)

NAKAO, A. H. **Consortiação de sorgo granífero ou de dupla aptidão com capim-paiaguás em função da inoculação com Azospirillum brasilense para produção de silagem.** São Paulo: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ilha Solteira, 2018. (Tese de doutorado)

NASCIMENTO, A. D. L. *et al.* A evolução genética do gênero sorghum e a importância do cereal para a economia mundial e a promoção da segurança alimentar a nível global: uma revisão integrativa. **Revista de Gestão e Secretariado**,v. 15,n.2 p.01-20, 2024.

NICOLAU SOBRINHO, W. N. *et al.* Fontes de adubação na cultura do milheto no semi-árido. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 4, p.48-54, 2008.

ORESCA, D. **Adubação nitrogenada como atenuador dos efeitos da salinidade da água de irrigação utilizada para produção de forragem no semiárido.** Serra Talhada: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada,2018. (Dissertação de mestrado)

PARISOTTO, D. C. *et al.* Características produtivas de sorgo forrageiro em cultivos de segunda safra. 2021. Resumos: II Simpósio de genética, melhoramento e conservação de plantas, 2021, Goiás.

PAULA, T.A.; FERREIRA, M.A.; VÉRAS, A.S.C. Utilização de pastagens em regiões semiáridas: aspectos agronômicos e valor nutricional – artigo de revisão. **Arquivos do Mudi**, v. 24, n. 2, p. 140-163, 2020.

PERAZZO, A.F. *et al.* Características agronômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semiárido. **Ciência Rural**, v.43, p.1771-1776, 2013

PEREIRA, F. J. M.; SILVA, A. M. D. A.; CÉZAR, M. F. Manejo da Caatinga para produção de caprinos e ovinos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.14, p.1, 2013.

PEREIRA, G.R. *et al.* Rendimento do sorgo granífero adubado com nitrogênio e fósforo no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.13, n.3, p. 285-299,2014b

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

PEREIRA, R. G. *et al.* Desempenho agronômico do sorgo granífero adubado com nitrogênio e fósforo no semiárido do rio grande do norte. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 2, p. 24-36, 2014a.

PINHO, R.G.V.; VASCONCELOS, R.C.; BORGES, I.D.; REZENDE, A.V. Influência da altura de corte das plantas nas características agronômicas e valor nutritivo das silagens de milho e de diferentes tipos de sorgo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, n.2, p.266-279. 2006.

- PINTO, O. R. *et al.*, Adubação nitrogenada na cultura do sorgo granífero pelo método convencional e por fertirrigação. **Agropecuária Técnica**, v. 32, n. 1, p. 132-140, 2011.
- PITTA, G.V.E; FRANCA, G. E.; COELHO, A. M. Calagem e adubação do sorgo forrageiro. In: MANEJO cultural do sorgo para forragem. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, p. 31-36, 1992.
- PRAVALIE, R. Drylands extent and environmental issues. A global approach. **Earth Science Reviews**, v. 161, p. 259–278, 2016
- RAMBO, L. *et al.* Soil nitrate tests as complementary indices for management of corn nitrogen application. **Ciência Rural**. v. 34, p. 1279-1287, 2004.
- REIS, H. S., *et al.* Plantas medicinais da caatinga: uma revisão integrativa dos saberes etnobotânicos no semiárido nordestino. **Arquivos de Ciências da Saúde da UNIPAR**, v.27, n.2, p.874-900, 2023
- RIBAS, P.M. **Sorgo: Introdução e Importância Econômica**. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, p.16, Documentos, 26, 2003.
- ROGÉRIO, M. C. P., *et al.* Potencial forrageiro da vegetação nativa da Caatinga para o pastejo de ovinos. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos. p .46.2020.
- SAMBORSKI, S.M., *et al.*, Strategies to make use of plant sensors-based diagnostic information for nitrogen recommendations. **Agronomy Journal**. v. 101, p. 800-816, 2009.
- SANTOS, L. P.; AVELAR, J. M. B.; SHIKIDA, P.; CARVALHO, M. A. Agronegócio brasileiro no comércio internacional. **Revista de Ciências Agrárias**, v.39, p.54-69, 2016.
- SCHMIDT; F. M. OSAKI, F. Parâmetros fitotécnicos de uma cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) com adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Acadêmica, Curitiba**, v. 5, n. 1, p. 63-69, 2007.
- SILVA, D. F. *et al.* Morphological characteristics, genetic improvement and planting density of sorghum and corn crops. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. e12310313172, 2021.
- SILVA, F. A. M. *et al.* Sorgo granífero cultivado sob diferentes doses de fósforo. **Recital-Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG**, v. 4, n. 3, p. 88-103, 2022.
- SILVA, N. **Quantificação de amido e proteínas totais em grãos de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench - Família: Poaceae] visando à alimentação humana**. Dissertação - (Mestrado em Botânica) - Universidade de Brasília. Brasília-DF,2015.
- SILVA, P. C. S.; LOVATO, C. Análise de crescimento e rendimento em sorgo granífero em diferentes manejos com nitrogênio. **Revista da FZVA**, v. 15, n. 1, p. 15-33, 2008.
- SILVA, P.C.S. **Comportamento do sorgo granífero em função do manejo de nitrogênio**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2004b (Tese de Doutorado)

SILVA, W. L. *et al.* Características morfogênicas e estruturais de híbridos de sorgo submetidos a adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 4, p. 691-696, 2012.

SOUSA, P. G. R.; VIANA, T. V. A.; CARVALHO, C. Efeito de diferentes lâminas de irrigação e cobertura do solo no crescimento da cultura do sorgo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 4, p. 1528-1537, 2017.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília, DF. Embrapa, p.129- 144,2004

STRINGHINI, J. H. *et al.* Desempenho de frangos de corte consumindo rações contendo sorgo e gérmen integral de milho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 12, p. 2435-2441, 2009.

TABOSA, J. N. *et al.* Importância do melhoramento genético de diferentes tipos de sorgo para as mesorregiões do Agreste, Sertão e afins do Semiárido Brasileiro. In: XIMENES, L. F.; SILVA, M. S. L.; BRITO, L. T. de L. (Ed). **Tecnologias de convivência com o Semiárido brasileiro**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2019. cap. 4, p. 515-569, 2019.

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

TANG, J.; CAMBERATO, J. J.; YU, X.; LUO, N. Growth response, carbohydrate and ion accumulation of diverse perennial ryegrass accessions to increasing salinity. **Scientia Horticulturae**, v. 154, p. 73-81, 2018.

TAVARES, V. C.; ARRUDA, I. R. P.; SILVA, D. G. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. **Geosul**, v. 34, n. 70, p. 385-405, 2019.

TAVIAN, A.F. *et al.* Efeito da adubação nitrogenada no acúmulo de biomassa de sorgo forrageiro. **Ciência e Tecnologia: Fatec-JB**, v. 6, n. 1, p. 28-32, 2014.

UDDLING, J., *et al.* Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. **Journal Photosynthesis Research**. v. 91, p. 37-46, 2007

VIÉGAS, R. A. *et al.* Effects of NaCl-salinity on growth and inorganic solute accumulation in young cashew plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 216-222, 2001.

VON PINHO, R. G. *et al.* Breeding sorghum for grain, forage and bioenergy in Brazil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 21, p. 1-35,2022

XAVIER, W. D. **Sensores para estimativa de nitrogênio e pigmentos fotossintetizantes em sorgo sacarino**. Rio Verde: Instituto Federal Goiano,2021. (Tese de doutorado)

ZANDONADI, C. H. S.*et al.* Macronutrients export and agronomic characteristics in grain sorghum hybrids in different sowing dates. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 1, p. 7-14, 2017.