

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

PEDRO HENRIQUE BORDIGNON MOCELIN

**ÉPOCAS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA COMO ESTRATÉGIA PARA  
MAXIMIZAR A PRODUTIVIDADE DO SORGHUM BICOLOR L. EM  
SUCESSÃO A CULTURA DA SOJA**

CHAPADÃO DO SUL-MS

2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

PEDRO HENRIQUE BORDIGNON MOCELIN

**ÉPOCAS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA COMO ESTRATÉGIA PARA  
MAXIMIZAR A PRODUTIVIDADE DO SORGHUM BICOLOR L. EM  
SUCESSÃO A CULTURA DA SOJA**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à  
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul,  
como parte dos requisitos para obtenção do  
título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Cid Naudi Campos

CHAPADÃO DO SUL-MS

2025



Serviço Público Federal  
Ministério da Educação  
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

AUTOR: **Pedro Henrique Bordignon Mocelin.**

ORIENTADOR: **Prof. Dr. Cid Naudi Silva Campos.**

Aprovado pela Banca Examinadora como parte das exigências do Componente Curricular Não Disciplinar TCC, para obtenção do grau de BACHAREL EM AGRONOMIA, pelo curso de Bacharelado em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Chapadão do Sul.

**Prof. Dr. Cid Naudi Silva Campos**  
Presidente da Banca Examinadora e Orientador

**Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque**  
Membro da Banca Examinadora

**Bióloga Ma. Márcia Leticia Monteiro Gomes**  
Membro da Banca Examinadora

Chapadão do Sul, 09 de julho de 2025.

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

UFMS  
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Cid Naudi Silva Campos, Professor do Magisterio Superior**, em 09/07/2025, às 15:34, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

UFMS  
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Marcia Leticia Monteiro Gomes, Técnico de Laboratorio Area**, em 09/07/2025, às 16:24, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

UFMS  
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Cassiano Garcia Roque, Professor do Magisterio Superior**, em 09/07/2025, às 16:46, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufms.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5732936** e o código CRC **003A9D5B**.

### COORDENAÇÃO DE GESTÃO ACADÊMICA DO CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

Avenida Engenheiro Douglas Ribeiro Pantaleão, nº 5167

Fone:

CEP 79580-000 - Chapadão do Sul - MS

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, com profunda gratidão, primeiramente à Deus, à minha família, por todo o apoio, paciência e amor ao longo desta caminhada. O incentivo constante, a compreensão nos momentos difíceis e a confiança inabalável em meu potencial foram fundamentais para que eu pudesse chegar até aqui.

Estendo também meus sinceros agradecimentos aos amigos que fizeram parte desta jornada. A presença, as palavras de encorajamento e a parceria nos desafios acadêmicos tornaram este percurso mais leve e significativo.

Ao professor Cid Naudi Silva Campos, meu orientador, registro um agradecimento especial pela confiança depositada em mim na condução do experimento, bem como pela orientação atenta, pela dedicação e pela presença constante ao longo de todo o processo. Sua orientação foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho e para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

Ao grupo de Estudos do Cerrado em Nutrição de plantas (GECENP), meu sincero agradecimento por todo apoio fornecido durante todos os anos na faculdade

À Marcia Letícia, um agradecimento especial, por toda ajuda fornecida durante todo desenvolvimento desse trabalho.

A todos vocês, minha eterna gratidão.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. temperatura máxima, mínima e média ( $^{\circ}\text{C}$ ), e precipitação (mm) durante a condução do experimento com a cultura do sorgo.....9
- Figura 2. Teor de clorofila total ( $\text{mg g}^{-1}$  de massa fresca) em plantas de sorgo submetidas a diferentes manejos de cobertura. T1: sem cobertura (controle); T2: cobertura aplicada no plantio; T3: cobertura aplicada no plantio + uma cobertura; T4: cobertura aplicada no plantio + duas coberturas; T5: uma cobertura; T6: duas coberturas.....13
- Figura 3. Produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de plantas de sorgo submetidas a diferentes manejos de cobertura. T1: sem cobertura (controle); T2: cobertura no plantio; T3: cobertura no plantio + uma cobertura; T4: cobertura no plantio + duas coberturas; T5: uma cobertura; T6: duas coberturas.....14
- Figura 4. Teor de nitrogênio foliar ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em plantas de sorgo submetidas a diferentes manejos de cobertura. T1: sem cobertura (controle); T2: cobertura no plantio; T3: cobertura no plantio + uma cobertura; T4: cobertura no plantio + duas coberturas; T5: uma cobertura; T6: duas coberturas.....14
- Figura 5. Análise de variáveis canônicas para as variáveis Clorofila Total, Carotenoides, produtividade (PROD) e nitrogênio foliar (Nfoliar) em plantas de sorgo submetidas a diferentes manejos de cobertura. T1: sem cobertura (controle); T2: cobertura no plantio; T3: cobertura no plantio + uma cobertura; T4: cobertura no plantio + duas coberturas; T5: uma cobertura; T6: duas coberturas.....16

**SUMÁRIO**

RESUMO .....	7
PALAVRAS CHAVE.....	7
ABSTRACT .....	8
KEYWORDS .....	8
INTRODUÇÃO .....	9
MATERIAL E MÉTODOS .....	10
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	12
CONCLUSÃO .....	17
REFERÊNCIAS .....	17
APÊNDICE .....	20

**RESUMO:**

A adubação nitrogenada, seja no plantio ou em cobertura, é essencial para elevar o teor foliar de N e de clorofila, o que está diretamente ligado à eficiência fotossintética e à produtividade. Diante do exposto, o estudo teve como objetivo avaliar a resposta do sorgo a diferentes estratégias de adubação, com parcelamento e sem parcelamento de adubação nitrogenada, por meio de variáveis fisiológicas e produtivas. O experimento foi realizado na segunda safra, no campo experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, no município de Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados (DBC), com quatro repetições e seis tratamentos, totalizando 24 parcelas, sendo eles: T1 (controle – sem adubação nitrogenada), T2 (plantio), T3 (plantio + 1 cobertura), T4 (plantio + 2 coberturas), T5 (1 cobertura) e T6 (2 coberturas). As variáveis avaliadas foram: clorofila total, nitrogênio foliar e produtividade. Os resultados demonstraram que os tratamentos com adubação, tanto no plantio quanto em cobertura, promoveram melhorias significativas nos teores de clorofila total, nitrogênio foliar e produtividade do sorgo. O tratamento controle (T1), sem adubação nitrogenada, apresentou o menor desempenho, evidenciando a importância da adubação para o desenvolvimento fisiológico e produtivo da cultura. A adubação nitrogenada foi essencial para o desempenho fisiológico e produtivo do sorgo, independentemente de ser aplicada de forma fracionada ou única, destacando que a presença da adubação teve maior influência que a estratégia de aplicação.

**Palavras-chave:** Eficiência de absorção. Pigmentos fotossintéticos. Parcelamento de adubação

**ABSTRACT:**

Nitrogen fertilization, whether applied at planting or as topdressing, is essential for increasing nitrogen content and leaf chlorophyll, which are directly associated with photosynthetic efficiency and crop productivity. In this context, the objective of this study was to evaluate the response of sorghum to different nitrogen fertilization strategies, with and without splitting, through physiological and productive variables. The experiment was conducted during the second growing season at the experimental field of the Federal University of Mato Grosso do Sul, located in the municipality of Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul, Brazil. A randomized block design (RBD) was used, with four replications and six treatments, totaling 24 plots, as follows: T1 (control – without nitrogen fertilizer), T2 (planting), T3 (planting + 1 topdressing), T4 (planting + 2 topdressings), T5 (1 topdressing), and T6 (2 topdressings). The evaluated variables were total chlorophyll, leaf nitrogen content, and productivity. The results showed that the fertilized treatments, whether at planting or as topdressing, significantly improved total chlorophyll, leaf nitrogen content and sorghum productivity. The control treatment (T1), which received no fertilization, showed the lowest performance, highlighting the importance of nitrogen fertilization for the physiological and productive development of the crop. Nitrogen fertilization was essential for the physiological and productive performance of sorghum, regardless of whether it was applied in split or single doses, indicating that the presence of fertilization had a greater impact than the application strategy.

**Keywords:** Absorption efficiency. Photosynthetic pigments. Fertilizer splitting.

## INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* L.) destaca-se como uma cultura resiliente em sistemas agrícolas tropicais, especialmente quando cultivado sob práticas conservacionistas como o uso de cobertura vegetal e a adubação nitrogenada fracionada (Bollam et al., 2021). A utilização de plantas de cobertura antes do cultivo do sorgo tem se mostrado uma estratégia eficaz para a ciclagem de nutrientes, promovendo a mineralização do nitrogênio (N), melhorando a estrutura física do solo e contribuindo para a conservação da umidade, fatores essenciais para o bom estabelecimento e desenvolvimento da cultura subsequente (Carvalho et al., 2024).

A adubação nitrogenada desempenha papel fundamental no crescimento e produtividade do sorgo, podendo ser realizada tanto no momento do plantio quanto em cobertura. No plantio, o fornecimento inicial de N favorece a emergência e o estabelecimento das plântulas, proporcionando um arranque inicial mais vigoroso. Já a adubação em cobertura, realizada em estágios vegetativos específicos, potencializa o acúmulo de biomassa, a expansão foliar e a síntese de clorofila, refletindo diretamente na eficiência fotossintética e no rendimento de grãos (Kubar et al., 2022).

Estudos com sorgo demonstram que a aplicação de N em cobertura, especialmente em doses moderadas a elevadas, proporciona incrementos significativos no teor foliar de clorofila, índice de área foliar e produtividade de grãos (Abaye et al., 2017). Essa abordagem permite maior flexibilidade de manejo, contribuindo para uma nutrição mais eficiente e sustentável da cultura.

Diante disso, o emprego de múltiplas adubações em cobertura (fracionamento) tem se mostrado uma prática agronomicamente eficaz, ao sincronizar a oferta de nitrogênio com as exigências fenológicas do sorgo, especialmente durante fases de intenso crescimento vegetativo e enchimento de grãos (Kumar et al., 2018).

Essa estratégia não apenas reduz perdas por lixiviação e volatilização, como também melhora a eficiência de uso do nutriente pela cultura. Além disso, o parcelamento da adubação favorece a manutenção de níveis adequados de nitrogênio foliar e de pigmentos fotossintéticos, como a clorofila, ao longo do ciclo, o que é determinante para a continuidade da fotossíntese e para o acúmulo de biomassa em estágios críticos, como a alongação do colmo e a emissão da panícula (Muir et al., 2025; Kubar et al., 2022). Estudos têm demonstrado que essa prática contribui para maior estabilidade fisiológica da planta e, conseqüentemente, para incrementos na produtividade de grãos, sobretudo

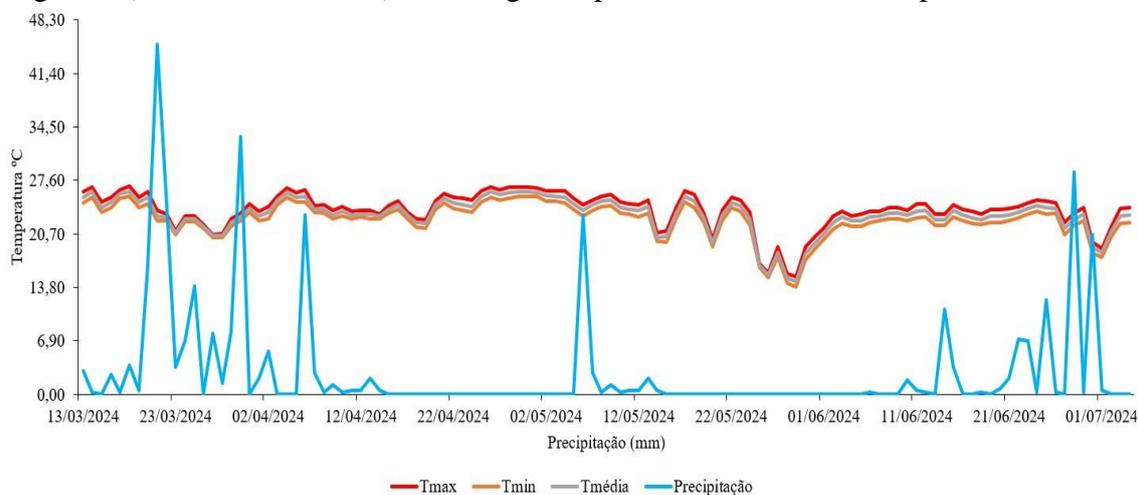
em ambientes de elevada variabilidade hídrica ou em solos com menor capacidade de retenção de nutrientes (Muir et al., 2025; Kubar et al., 2022).

Diante do exposto, o estudo teve como objetivo avaliar a resposta do sorgo a adubação nitrogenada, com e sem fracionamento, por meio de variáveis fisiológicas e produtivas.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área experimental

A condução do experimento com sorgo na segunda safra foi realizada no campo experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, no município de Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul (18,79128° S, 52,74724° O, com 810 m de altitude). Ao longo dos anos de cultivo nessa área, foi sendo feita a rotação de culturas com gramíneas e leguminosas. Anterior ao plantio do sorgo foi a cultura da soja e anterior a ela foi realizado adubação de cobertura com *crotalaria spectabilis*. O clima da região é classificado como Tropical de Savana (Aw), segundo a classificação de Köppen e Geiger, com inverno seco e verão chuvoso. O solo predominante da região é o Latossolo Vermelho distrófico Argiloso (Santos et al., 2025). Ao longo do período analisado, a temperatura máxima



**Figura 1.** temperatura máxima, mínima e média (°C), e precipitação (mm) durante a condução do experimento com a cultura do sorgo. Fonte: Ampasul (2024)

Para um bom desenvolvimento e produtividade, a cultura do sorgo granífero necessita, em média, de 450 a 650 mm de precipitação bem distribuída ao longo do ciclo (EMBRAPA, 2021). No entanto, sua capacidade de produzir grãos mesmo sob condições

de estresse hídrico o torna uma cultura estratégica frente às mudanças climáticas e à crescente limitação de recursos hídricos em áreas agrícolas.

Durante o experimento, a chuva acumulada foi de 250 mm, ficando abaixo do mínimo necessário para os melhores desempenhos produtivos da cultura.

### **Solo da área experimental e características químicas**

Antes da instalação do experimento, foi realizada a amostragem do solo na camada de 0 a 0,2 m de profundidade. Para tanto utilizou-se trado holandês, coletou-se 1 amostra simples em ponto aleatório da área experimental. Em seguida, procedeu-se à análise química para fins de fertilidade e granulométricas (areia, silte e argila), conforme metodologia descrita por Raij et al. (2001) e Donagema et al. (2011), respectivamente. Para a análise de granulometria, os resultados foram: 480, 25 e 495 g kg<sup>-1</sup> de argila, silte e areia, respectivamente, logo um solo com textura argilosa.

Os dados obtidos na análise química apresentaram os seguintes resultados: pH CaCl<sub>2</sub>= 5,29; Al= 0,1 cmolc dm<sup>-3</sup>. Macronutrientes: Ca= 4,23 cmolc dm<sup>-3</sup>; Mg= 1,07 cmolc dm<sup>-3</sup>; K= 0,24 cmolc dm<sup>-3</sup>; P (mel)= 24,75 mg dm<sup>-3</sup>; S= 15,1 mg dm<sup>-3</sup>. Micronutrientes: B= 0,60 mg dm<sup>-3</sup>; Cu= 1,2 mg dm<sup>-3</sup>, Fe= 39,03 mg dm<sup>-3</sup>, Mn= 15,56 mg dm<sup>-3</sup>, Zn= 6,25 mg dm<sup>-3</sup>; Matéria Orgânica (M.O) = 22,88 g dm<sup>-3</sup>; C.O.= 13,27 g dm<sup>-3</sup>; capacidade de troca catiônica (CTC) = 9,34 cmolc dm<sup>-3</sup>; Saturação por bases= 59,31%. Relação entre bases: Ca/Mg= 3,95; Ca/K= 17,63; Mg/K= 4,46.

### **Delineamento experimental**

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições e seis tratamentos, totalizando 24 parcelas sendo eles: T1 (controle), T2 (plantio, 130 kg de N ha<sup>-1</sup>), T3 (plantio, 20 kg de N ha<sup>-1</sup> + 1 cobertura, 110 kg de N ha<sup>-1</sup>), T4 (plantio, 20 kg de N ha<sup>-1</sup> + 2 coberturas de 55 kg de N ha<sup>-1</sup> cada), T5 (1 cobertura, 130 kg de N ha<sup>-1</sup>) e T6 (2 coberturas de 65 kg de N ha<sup>-1</sup>). A semeadura foi realizada no dia 13 de março de 2024, utilizando adubação de base com a aplicação de 275 kg/ha de fertilizante formulado 0-25-15; a colheita foi realizada no dia 4 de julho de 2024.

### **Manejo fitossanitário**

O manejo fitossanitário foi conduzido conforme o seguinte cronograma de aplicações: antes do plantio, foi aplicado glifosato na dose de 4 L/ha em pré-plantio. No dia 15 de março, dois dias após a semeadura, antes da emergência foram aplicados Zelone

(1,2 L/ha) e Engeo Pleno S (250 mL/ha). Após a emergência, aplicou-se Atrazina (4 L/ha) e nova aplicação de Engeo Pleno S (250 mL/ha). No dia 1º de abril, foi realizada uma nova aplicação de Atrazina (4 L/ha) e Engeo Pleno S (300 mL/ha). Ao longo do ciclo foram aplicados, Engeo Pleno S (300 mL/ha), Lanate (600 mL/ha) e Fipronil (100 g/ha) conforme a necessidade para o controle de pragas.

Além disso foram aplicados: Proclaim 50 (300 g/ha), Tagger (300 mL/ha), Boro 10 Plus (500 mL/ha) e Tônus (500 g/ha)), aplicação de Boroplex (840 mL/ha) e Kelat Mn25 Innova (0,5 kg/ha). A dessecação foi realizada após o enchimento de grãos utilizando Atumus (50 mL/ha), Cetegreen (120 mL/ha), Glifosato WG (2 kg/ha) e óleo mineral (500 mL/ha). As adubações de cobertura consistiram na aplicação de 30 kg/ha de KCl junto com o nitrogênio, foram aplicados 2 kg/ha de boro (na forma de tetraborato) e 15 kg/ha de KCl a fim de auxiliar na distribuição do boro no experimento.

### **Pigmentos fotossintéticos**

Para as análises dos pigmentos, como clorofila ( $a+b$ ), seguiram-se as metodologias descritas por (Lichtenthaler et al., 1987). Foram coletados discos foliares com massa 0,025 de material fresco, retirados do terço superior da quarta folha de plantas de sorgo. As amostras foram acondicionadas em tubos tipo Eppendorf, onde foram adicionados 1,5 mL de acetona a 80%, permanecendo resfriados por 72 horas. Após esse período, as leituras das amostras foram realizadas em espectrofotômetro de absorção, nos comprimentos de onda de 663 nm para clorofila  $a$  e 647 nm para clorofila  $b$ .

### **Nitrogênio foliar**

A determinação do teor de nitrogênio foliar foi realizada pelo método de Kjeldahl, conforme descrito por Tedesco et al. (1995). Amostras secas das folhas foram moídas em moinho tipo Wiley com peneira de 1 mm, e cerca de 0,1 g do material foi digerido com uma mistura sulfúrica contendo catalisador ( $K_2SO_4$ : $CuSO_4$ ) e ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ). Após digestão, a amostra foi submetida à destilação em sistema de destilador automático de nitrogênio, com adição de solução alcalina (NaOH 40%), e o amônio volatilizado foi capturado em solução de ácido bórico a 4%. A quantificação foi realizada por titulação com solução padrão de  $H_2SO_4$  0,025 mol L<sup>-1</sup>. Os resultados foram expressos em g kg<sup>-1</sup> de matéria seca.

## Colheita e avaliação da produtividade

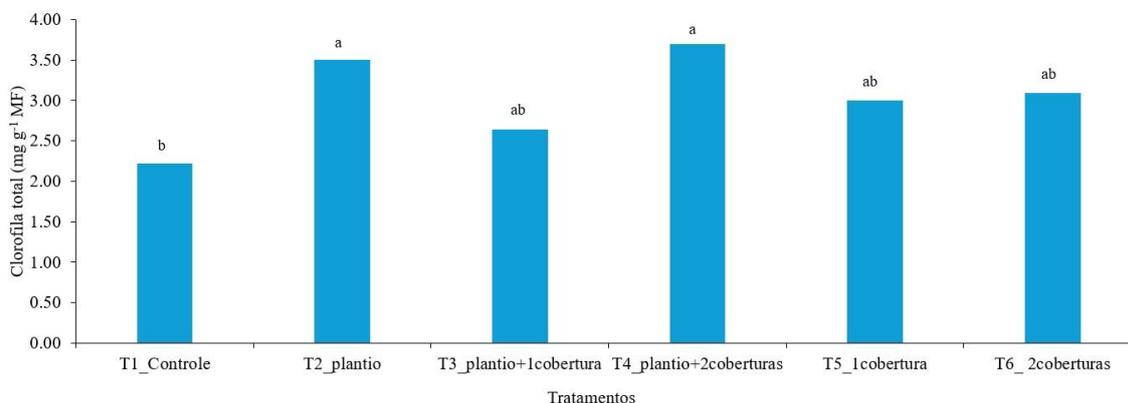
A produtividade de grãos foi determinada a partir da massa total de grãos colhida na área útil de cada parcela, corrigida para 13% de umidade, e os valores expressos em  $\text{kg ha}^{-1}$ .

## Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Além disso, foi realizada a análise de variáveis canônicas com o objetivo de avaliar a associação multivariada entre os tratamentos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os maiores teores de clorofila total foram observados nos tratamentos T4 (plantio + duas coberturas) e T2 (plantio), que não diferiram estatisticamente entre si (Figura 2).



**Figura 2.** Teor de clorofila total ( $\text{mg g}^{-1}$  de massa fresca) em plantas de sorgo submetidas a diferentes manejos de cobertura. T1: sem cobertura (controle); T2: cobertura aplicada no plantio; T3: cobertura aplicada no plantio + uma cobertura; T4: cobertura aplicada no plantio + duas coberturas; T5: uma cobertura; T6: duas coberturas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

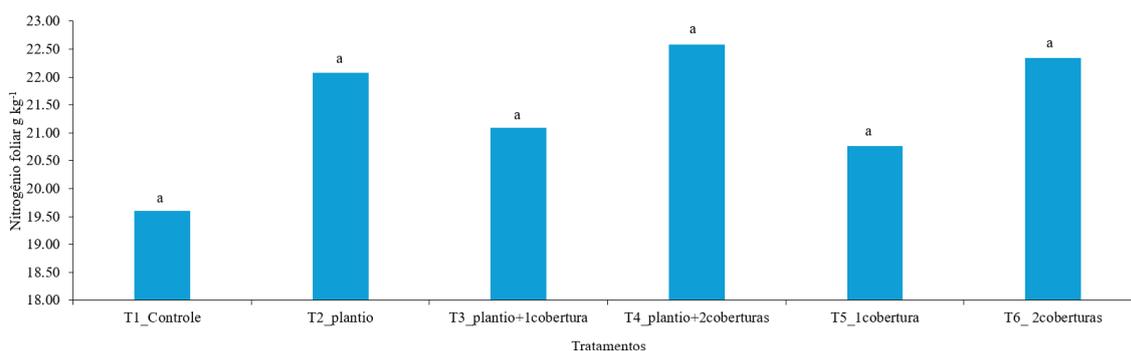
Ambos superaram significativamente o T1 (controle), que apresentou o menor teor de clorofila total. Os maiores teores de clorofila total nos tratamentos T2 (plantio), e T4 (cobertura aplicada no plantio + duas coberturas) indicam que o fornecimento adequado de nutrientes, especialmente nitrogênio (N), foi determinante para o aumento

da atividade fotossintética da cultura. A clorofila é uma molécula nitrogenada, portanto sua síntese e manutenção dependem diretamente da disponibilidade desse nutriente no solo (Taiz et al., 2017).

No tratamento T4 (cobertura aplicada no plantio + duas coberturas), assegurou o suprimento contínuo de N durante fases críticas do desenvolvimento do sorgo, promovendo maior acúmulo de clorofila nas folhas (Ostmeyer et al., 2022). Kaur et al. (2012), observaram aumentos significativos nos teores de clorofila em sorgo forrageiro com doses fracionadas de N em cobertura, associando esse efeito à maior longevidade foliar e maior eficiência no uso da radiação fotossintética.

O tratamento T2 (cobertura aplicada no plantio) plantio também apresentou elevados níveis de clorofila, o que pode ser explicado pela aplicação inicial de adubo na semeadura, que forneceu N suficiente para o estabelecimento da cultura. No entanto, sem suplementações posteriores, é possível que o teor de clorofila tenha se mantido alto até certo ponto do ciclo, mas com menor estabilidade em fases fenológicas mais avançadas. Por outro lado, o controle (T1), sem qualquer adubação, apresentou o menor teor de clorofila total. Resultado esperado, já que a carência de nutrientes limita a síntese de compostos essenciais, como clorofilas, reduzindo a eficiência fotossintética e o vigor da planta (Ahanger et al., 2016).

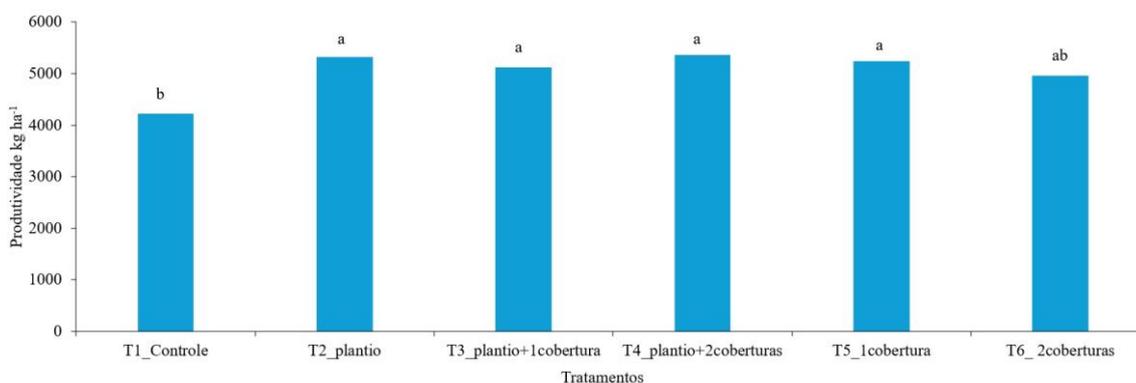
Não houve diferença significativa entre os tratamentos para o teor de nitrogênio foliar, indicando que todos os manejos de cobertura proporcionaram níveis semelhantes de acúmulo de nitrogênio nas plantas de sorgo (Figura 4).



**Figura 3.** Teor de nitrogênio foliar ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em plantas de sorgo submetidas a diferentes manejos de cobertura. T1: sem cobertura (controle); T2: cobertura no plantio; T3: cobertura no plantio + uma cobertura; T4: cobertura no plantio + duas coberturas; T5: uma cobertura; T6: duas coberturas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

A ausência de diferença significativa entre os tratamentos avaliados para o teor de nitrogênio foliar sugere que todos os manejos adotados, incluindo diferentes estratégias de adubação e cobertura, foram capazes de suprir de forma semelhante a demanda da cultura por esse nutriente (Valenzuela e al., 2024). Esse comportamento pode estar relacionado à eficiência de absorção do nitrogênio pelo sorgo, espécie reconhecida por sua rusticidade e capacidade de aproveitamento dos nutrientes disponíveis no solo, mesmo sob condições adversas (Hossain et al., 2022).

Os maiores valores de produtividade foram observados nos tratamentos T4 (plantio + duas coberturas), T2 (plantio), T5 (uma cobertura) e T3 (plantio + uma cobertura), que não diferiram estatisticamente entre si (Figura 3). O menor desempenho foi registrado no controle (T1).

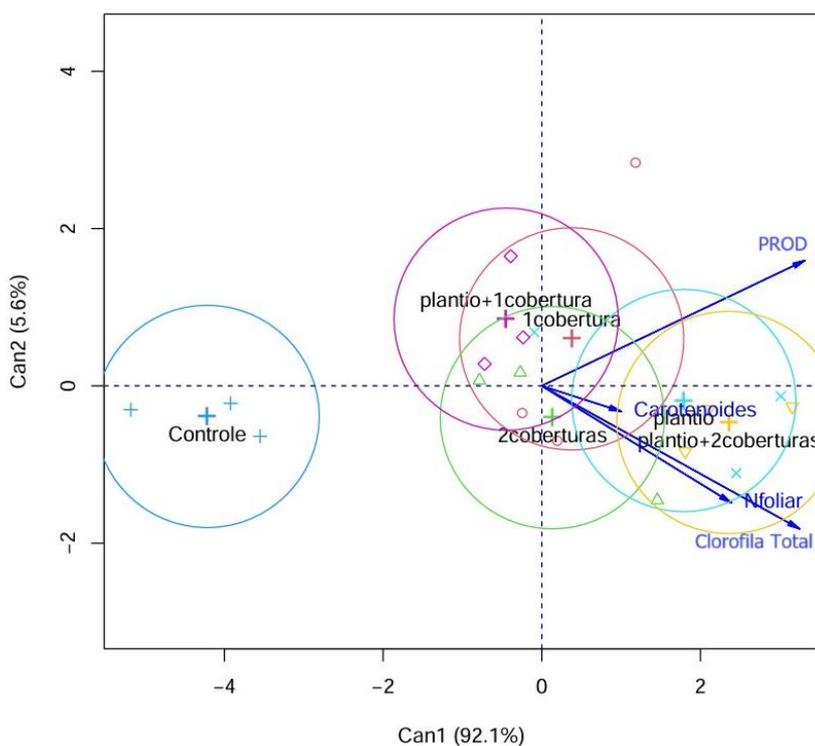


**Figura 4.** Produtividade (kg ha<sup>-1</sup>) de plantas de sorgo submetidas a diferentes manejos de cobertura. T1: sem cobertura (controle); T2: cobertura no plantio; T3: cobertura no plantio + uma cobertura; T4: cobertura no plantio + duas coberturas; T5: uma cobertura; T6: duas coberturas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Os tratamentos T4 (plantio + duas coberturas), T2 (plantio), T5 (uma cobertura) e T3 (plantio + uma cobertura) apresentaram os maiores valores de produtividade, sem diferença estatística entre si, o que indica que todos esses manejos forneceram níveis adequados de nutrientes para o desenvolvimento do sorgo ao longo de seu ciclo. Esse desempenho está diretamente relacionado à disponibilidade de nitrogênio em momentos chave do crescimento, promovendo maior acúmulo de biomassa, aumento na área foliar e maior taxa fotossintética (Taiz et al., 2017). O fracionamento da adubação, como em T4 (plantio + duas coberturas) e T3 (plantio + uma cobertura), favorece a sincronização da oferta de N com a demanda da planta, especialmente durante os estágios de

alongamento do colmo e enchimento de grãos (Zhai et al., 2022), o que maximiza a eficiência de uso dos nutrientes e reduz perdas por lixiviação.

Enquanto T2 (plantio) demonstrou que uma boa adubação inicial pode sustentar a cultura até fases intermediárias com boa produtividade, desde que as condições climáticas e edáficas sejam favoráveis. O T5 (uma cobertura) e T3 (plantio + uma cobertura) mostraram que mesmo uma única aplicação suplementar de nutrientes, em cobertura, é suficiente para garantir bom desempenho produtivo. Por outro lado, o controle (T1), sem adubação, apresentou o menor desempenho produtivo, o que reforça o papel essencial dos nutrientes, especialmente do N, na promoção do crescimento vegetativo e reprodutivo do sorgo (Wodaje et al., 2024). A realização da adubação nitrogenada realizada em momentos antes da chuva foram cruciais para obter o bom aproveitamento do nitrogênio aplicado. A análise canônica (Figura 5) evidenciou que o tratamento controle foi claramente discriminado dos demais, localizando-se à esquerda do eixo Can1.



**Figura 5.** Análise de variáveis canônicas para as variáveis Clorofila Total, Carotenoides, produtividade (PROD) e nitrogênio foliar (Nfoliar) em plantas de sorgo submetidas a diferentes manejos de cobertura. T1: sem cobertura (controle); T2: cobertura no plantio; T3: cobertura no plantio + uma cobertura; T4: cobertura no plantio + duas coberturas; T5: uma cobertura; T6: duas coberturas.

Os tratamentos com coberturas vegetais, especialmente plantio + 1 cobertura e 1 cobertura, agruparam-se à direita, próximos às variáveis relacionadas à produtividade (PROD), clorofila total, carotenoides e nitrogênio foliar (Nfoliar), indicando associação positiva com essas variáveis. A disposição vetorial das variáveis sugere que essas características foram determinantes na discriminação dos tratamentos, com maior contribuição da produtividade para o eixo Can1.

A análise de variáveis canônicas evidenciou uma separação nítida do tratamento T1 (controle) em relação aos demais, refletindo seu desempenho agrônomo inferior, em concordância com os resultados previamente observados. Sua posição isolada no gráfico de dispersão da função canônica (Figura 5) indica baixa contribuição das variáveis clorofila total, nitrogênio foliar e produtividade, o que se justifica pela ausência de adubação e, conseqüentemente, pela limitação nutricional imposta às plantas. Esses achados reforçam a importância fundamental da adubação para o crescimento e metabolismo vegetal, destacando especialmente o papel do nitrogênio (Fathi et al., 2017).

Em contraste, os demais tratamentos agruparam-se no quadrante positivo da função Can1, demonstrando uma associação direta com os maiores valores das variáveis fisiológicas e produtivas. A proximidade entre eles sugere que os diferentes manejos de adubação adotados foram eficazes em favorecer o acúmulo de compostos fotossintéticos, resultando em maior produtividade da cultura (Yang et al., 2021). A eficiência no uso do nitrogênio está diretamente relacionada à sua absorção e subsequente alocação em estruturas funcionais, como as folhas, promovendo maiores concentrações de clorofilas, o que potencializa a eficiência da fotossíntese (Zhang et al., 2022).

## **CONCLUSÃO**

A adubação nitrogenada foi essencial para o desempenho fisiológico e produtivo do sorgo, independentemente de ser aplicada de forma fracionada ou única, destacando que a presença da adubação teve maior influência que a estratégia de aplicação no cenário onde foi realizado o experimento, evidenciando a importância da boa distribuição de chuvas e a presença de um solo bem estruturado.

## REFERÊNCIAS

Abaye, A. O., Balota, M., Bombarely Gomez, A., Clark, S. F., Evanylo, G. K., Fox, T. R., ... & Zhao, B. Smart Plants and Smart Farms for Global Food, Feed, and Fiber Security, 2017.

Ahanger, M. A., Morad-Talab, N., Abd-Allah, E. F., Ahmad, P., & Hajiboland, R. Plant growth under drought stress: Significance of mineral nutrients. Water stress and crop plants: a sustainable approach, 2, 649-668, 2016.

Bollam, S., Romana, K. K., Rayaprolu, L., Vemula, A., Das, R. R., Rathore, A., ... & Gupta, R. Nitrogen use efficiency in Sorghum: exploring native variability for traits under variable N-Regimes. *Frontiers in Plant Science*, 12, 643192, 2021.

Carvalho, A. M. D., Ramos, M. L. G., da Silva, V. G., de Sousa, T. R., Malaquias, J. V., Ribeiro, F. P., ... & Dantas, R. D. A. Cover Crops Affect Soil Mineral Nitrogen and N Fertilizer Use Efficiency of Maize No-Tillage System in the Brazilian Cerrado. *Land*, 13(5), 693, 2024.

Fathi, A. Role of nitrogen (N) in plant growth, photosynthesis pigments, and N use efficiency: *A. Agrisost*, 28, 1-8, 2022.

Hossain, M. S., Islam, M. N., Rahman, M. M., Mostofa, M. G., & Khan, M. A. R. Sorghum: A prospective crop for climatic vulnerability, food and nutritional security. *Journal of Agriculture and Food Research*, 8, 100300, 2022.

Kaur, A., Bedi, S., Gill, G., & Kumar, M. Effect of nitrogen fertilizers on radiation use efficiency, crop growth and yield in some maize (*Zea mays* L) genotypes. *Maydica*, 57(1), 75-82, 2012.

Kubar, M. S., Alshallash, K. S., Asghar, M. A., Feng, M., Raza, A., Wang, C., ... & Alshamrani, S. M. Improving winter wheat photosynthesis, nitrogen use efficiency, and yield by optimizing nitrogen fertilization. *Life*, 12(10), 1478, 2022.

Kumar, V., Naresh, R. K., Kumar, S., Kumar, S., Kumar, A., Gupta, R. K., ... & Mahajan, N. C. Efficient nutrient management practices for sustaining soil health and improving rice-wheat productivity: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(1), 585-597, 2018.

Lichtenthaler, H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: Packer, L., Douce, R., ed. *Methods in enzymology*. London: Academic Press, 148, 350-382, 1987.

Muhammad, I., Yang, L., Ahmad, S., Farooq, S., Al-Ghamdi, A. A., Khan, A., ... & Zhou, X. B. Nitrogen fertilizer modulates plant growth, chlorophyll pigments and enzymatic activities under different irrigation regimes. *Agronomy*, 12(4), 845, 2022.

Muir, J. P., Batista Dubeux Junior, J. C., Santos, M. V. F. D., Foster, J. L., Caraciolo Ferreira, R. L., Lira Jr, M. D. A., ... & Brady, J. A.. Sustainable Warm-Climate Forage Legumes: Versatile Products and Services. *Grasses*, 4(2), 16, 2025.

Ostmeyer, T. J., Bahuguna, R. N., Kirkham, M. B., Bean, S., & Jagadish, S. K. Enhancing sorghum yield through efficient use of nitrogen—challenges and opportunities. *Frontiers in plant science*, 13, 845443, 2022.

Peng, J., Feng, Y., Wang, X., Li, J., Xu, G., Phonenasay, S., ... & Lu, W. Effects of nitrogen application rate on the photosynthetic pigment, leaf fluorescence characteristics, and yield of indica hybrid rice and their interrelations. *Scientific Reports*, 11(1), 7485, 2021.

Taiz, L., Zeiger, E., & Moller, I. M. e Murphy, A. 2017. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. ARTMED, Porto Alegre, Brasil, 2019.

Valenzuela, H. Optimizing the nitrogen use efficiency in vegetable crops. *Nitrogen*, 5(1), 106-143, 2024.

Wodaje, M., Fekadu, E., Abiye, W., Scopa, A., AE AbdelRahman, M., & Moursy, A. R. Optimizing Sorghum (*Sorghum bicolor*) Yields in Northwestern Ethiopia: A Comprehensive Study of Key Soil Nutrient Deficiencies. *Egyptian Journal of Soil Science*, 64(4), 2024.

Yang, G. D., Hu, Z. Y., Zhou, Y. F., Hao, Z. Y., Li, J. H., Wang, Q., ... & Huang, R. D. Effects of nitrogen application strategy and planting density optimization on sorghum yield and quality. *Agronomy Journal*, 113(2), 1803-1815, 2021.

Zhai, J., Zhang, Y., Zhang, G., Tian, M., Xie, R., Ming, B., ... & Li, S. Effects of nitrogen fertilizer management on stalk lodging resistance traits in summer maize. *Agriculture*, 12(2), 162, 2022.

Zhang, Z., Cao, B., Chen, Z., & Xu, K. Grafting enhances the photosynthesis and nitrogen absorption of tomato plants under low-nitrogen stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41(4), 1714-1725, 2022.

## APÊNDICE

