



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

AMANDA MONTEIRO DA SILVA

CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS E QUÍMICO-BROMATOLÓGICAS
DO CAPIM-ARUANA ADUBADO COM FARELO DE MAMONA

FORTALEZA

2026

AMANDA MONTEIRO DA SILVA

CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS E QUÍMICO-BROMATOLÓGICAS DO
CAPIM-ARUANA ADUBADO COM FARELO DE MAMONA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Graduação em Zootecnia do Centro
de Ciências Agrárias da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de Bacharelado em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Magno José Duarte
Cândido.

Coorientador: Dr. Francisco Gleyson da
Silveira Alves.

FORTALEZA

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S578c Silva, Amanda Monteiro da.
CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS E QUÍMICO-BROMATOLÓGICAS DO CAPIM-
ARUANA ADUBADO COM FARELO DE MAMONA / Amanda Monteiro da Silva. – 2026.
33 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências
Agrárias, Curso de Zootecnia, Fortaleza, 2026.

Orientação: Prof. Dr. Magno José Duarte Cândido.

Coorientação: Prof. Dr. Francisco Gleyson da Silveira Alves.

1. adubo orgânico. 2. características estruturais. 3. *Megathyrus maximus*. 4. *Ricinus communis*. 5.
produção de forragem. I. Título.

CDD 636.08

AMANDA MONTEIRO DA SILVA

CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS E QUÍMICO-BROMATOLÓGICAS DO
CAPIM-ARUANA ADUBADO COM FARELO DE MAMONA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Graduação em Zootecnia do Centro
de Ciências Agrárias da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de Bacharelado em Zootecnia.

Aprovada em 19/01/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Magno José Duarte Cândido (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Francisco Gleyson da Silveira Alves (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ma. Bruna Ferreira Vasconcelos
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Lorena Maués Moraes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar minha imensa gratidão a Deus, cuja luz, amor e sabedoria me guiaram e me fizeram permanecer forte e motivada durante todo este percurso, apesar das muitas dificuldades que surgiram ao longo do caminho.

Gratidão à Universidade Federal do Ceará por toda a estrutura e oportunidades concedidas nesses cinco anos, tornando possível minha trajetória até aqui. Ao CNPq, pelo apoio financeiro e pela oportunidade de seguir na área de pesquisas, pela qual descobri uma paixão e fonte de motivação.

Agradeço ao meu orientador, Magno José Duarte Cândido, pela orientação valiosa, e aprendizado constante. Suas sugestões e críticas foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Francisco Gleyson da Silveira Alves, à Bruna Ferreira Vasconcelos e à Lorena Maués Moraes por aceitarem e se disponibilizarem a compor a banca avaliadora, pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Agradeço aos colegas e amigos que estiveram ao meu lado ao longo da construção deste trabalho. Sou sinceramente grata à Bruna, Helen, Silvio, Roberta Freitas, Pedro Hugo, Pedro Alves, Mirelio, que me auxiliaram nas análises laboratoriais, coleta de dados e avaliações, dedicando tempo, conhecimento e, às vezes, permanecendo comigo até a noite para que as atividades fossem concluídas. Esse apoio foi fundamental. Tornou possível a execução deste trabalho, permitindo que todas as etapas fossem realizadas com segurança e confiança.

Também agradeço, em especial, aos amigos que se dispuseram a ajudar em momentos particularmente difíceis, quando os trabalhos se estenderam até de madrugada, especialmente quando nem todos demonstraram sensibilidade ou disponibilidade para oferecer apoio. Em dias assim, a colaboração e a empatia daqueles que estenderam a mão fizeram toda a diferença.

Ressalto minha profunda gratidão a Gleyson, Sarah, Lyara e Flávia, que me acompanharam desde o início desta trajetória, oferecendo não apenas suporte técnico ao trabalho, mas também apoio emocional constante. A presença, o incentivo e a parceria de vocês foram essenciais para que eu superasse desafios e chegasse até aqui.

Um agradecimento especial à minha família. À minha mãe Ana Keidy, agradeço pelo apoio ao longo dessa trajetória e por sua importância em minha formação pessoal e acadêmica. Em especial, agradeço ao meu pai, José Carlos, pelo amor incondicional e apoio inestimável. Sempre que precisei, estava disposto a ajudar no que fosse possível, sendo minha maior motivação.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O Brasil apresenta elevado potencial pecuário baseado em pastagens, cuja produtividade depende do manejo adequado, especialmente da adubação. Nesse contexto, subprodutos da mamona destacam-se como alternativa sustentável, embora ainda pouco estudada como fertilização orgânica em pastagens tropicais. Objetivou-se avaliar o uso do farelo de mamona como adubo orgânico no capim-aruaana (*Megathyrsus maximus* cv. Aruana) sob as características morfofisiológicas e químico-bromatológicas. Adotou-se um delineamento inteiramente casualizado, onde os tratamentos foram diferentes doses de farelo de mamona (0, 25, 50, 75 e 100 g por vaso), com cinco repetições (vasos de 10 dm³). Foram conduzidos dois ciclos produtivos de 30 dias. Os dados foram submetidos a testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e de homocedasticidade (Levene) para verificar as prerrogativas básicas para análise de variância. Os resultados foram submetidos à análise de variância e análise de regressão. Na análise de regressão, a escolha dos modelos baseou-se na significância dos coeficientes linear e quadrático pelo teste “t” de Student ($P < 0,05$) utilizando-se como ferramenta de auxílio às análises estatísticas o programa SAS (SAS Institute, 2015). No primeiro ciclo, foi observado um comportamento linear positivo para a taxa de alongamento foliar (TAIF), taxa de senescência foliar total (TSFt), altura do dossel, número de novas folhas (NNFP), biomassa de forragem total colhível (BFTc), de lâmina verde colhível (BLVc), de colmo verde colhível (BCVc) e de forragem morta colhível (BFMc) e proteína bruta (PB), conforme o aumento das doses. A densidade populacional de perfilhos (DPP) e o índice relativo de clorofila (IRC), atingindo valores máximos de 46,34 perfilhos e 38,18 unidades SPAD nas doses de 71,58 g e 83,31 g, respectivamente. O teor de matéria mineral (MM) também apresentou comportamento quadrático, porém negativo, tendo valor mínimo de 8,65% na dose de 59,75 g. Observou-se redução nos teores de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA). No segundo ciclo, houve mudança no comportamento da planta: embora as biomassas de forragem total, de lâmina verde, de colmo verde, de forragem morta e a altura tenham mantido crescimento linear positivo, a relação lâmina/colmo (LF/C) e a MM apresentaram efeito linear negativo. O teor de matéria seca (MS) e a PB apresentaram efeito quadrático positivo com valor máximo de 25,58 na dose de 51,71 g e negativo com valor mínimo de 5,98 na dose de 36,75 g respectivamente. Já a FDA e a taxa de alongamento de colmo (TAIC) apresentaram comportamento linear positivo. Conclui-se que o farelo de mamona é um fertilizante orgânico eficiente, sendo recomendada a dose de 11.587,10 kg ha⁻¹ que foi encontrada a partir das médias dos valores máximos observados nas variáveis DPP e

IRC, que tiveram resposta quadráticas positivas. Essa pode otimizar as características produtivas, porém destaca-se a importância de manejo adequado quanto à frequência de aplicação para manter a estabilidade da produção e a qualidade da pastagem ao longo do tempo.

Palavras-chave: adubo orgânico; características estruturais; *Megathyrus maximus*; *Ricinus communis*; produção de forragem; resíduo agroindustrial.

ABSTRACT

Brazil has a high livestock production potential based on pastures, whose productivity depends on proper management, mainly fertilization. In this context, castor bean by-products stand out as a sustainable alternative, although they are still little studied as organic fertilizers in tropical pastures. This study aimed to evaluate the use of castor bean meal as an organic fertilizer on Aruana grass (*Megathyrsus maximus* cv. Aruana), focusing on its morphophysiological and chemical-bromatological characteristics. A completely randomized design was adopted, with different doses of castor bean meal (0, 25, 50, 75, and 100 g per pot) and five replications (10 dm³ pots). Two 30-day production cycles were evaluated. Data were subjected to normality (Shapiro–Wilk) and homoscedasticity (Levene) tests to verify the basic assumptions for analysis of variance. Subsequently, the results were analysed using analysis of variance and regression analysis. In the regression analysis, model selection was based on the significance of linear and quadratic coefficients using Student's *t* test ($P < 0.05$), with the SAS software as a statistical analysis tool (SAS Institute, 2015). In the first cycle, a positive linear response was observed for leaf elongation rate (LER), total leaf senescence rate (TLSR), canopy height, number of new leaves (NNL), total harvestable forage biomass (THFB), harvestable green leaf biomass (HGLB), harvestable green stem biomass (HGSB), harvestable dead forage biomass (HDFB), and crude protein (CP) as castor bean meal doses increased. Tiller population density (TPD) and relative chlorophyll index (RCI) showed quadratic responses, reaching maximum values of 46.34 tillers and 38.18 SPAD units at doses of 71.58 g and 83.31 g, respectively. Mineral matter (MM) content also showed a quadratic response, but negative, with a minimum value of 8.65% at the dose of 59.75 g. Reductions were observed in neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) contents. In the second cycle, changes in plant response were observed: although total forage biomass, green leaf biomass, green stem biomass, dead forage biomass, and canopy height maintained a positive linear increase, the leaf-to-stem ratio (L/S) and mineral matter content showed a negative linear effect. Dry matter (DM) and crude protein (CP) exhibited positive and negative quadratic effects, with maximum and minimum values of 25.58% at 51.71 g and 5.98% at 36.75 g, respectively. Acid detergent fiber (ADF) and stem elongation rate (SER) showed positive linear behavior. It is concluded that castor bean meal is an efficient organic fertilizer, and a dose of 11.587,10 kg ha⁻¹ is recommended, determined from the average of the maximum values observed for TPD, and RCI, which showed positive quadratic responses. This dose optimizes productive characteristics; however, appropriate management regarding

application frequency is essential to maintain production stability and pasture quality over time.

Keywords: organic fertilizer; structural characteristics; *Ricinus communis*, forage production; agro-industrial residue.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Avaliação das características morfogênicas e índice relativo de clorofila

2.2 Determinação das características estruturais

2.3 Mensuração da biomassa total de forragem e de seus componentes

2.4 Análises química-bromatológicas

2.5 Análise estatística

3 RESULTADOS

3.1 Resultados do 1º ciclo de avaliação

3.2 Resultados do 2º ciclo de avaliação

4 DISCUSSÃO

5 CONCLUSÕES

REFERÊNCIAS

1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta elevado potencial para a produção pecuária, em virtude de suas condições edafoclimáticas favoráveis, caracterizadas pela elevada radiação solar, clima predominantemente quente e úmido e vasta extensão territorial, fatores que contribuem para a alta capacidade produtiva das pastagens (Vasconcelos, 2018). Nesse contexto, cerca de 90% do rebanho bovino brasileiro é criado em sistemas de pastejo, nos quais as pastagens desempenham papel fundamental ao proporcionar menores custos de produção quando comparados a sistemas intensivos baseados em alimentação concentrada (Vargas, 2023).

Entretanto, para que as pastagens expressem seu máximo potencial produtivo, torna-se indispensável a adoção de práticas adequadas de manejo, dentre as quais se destaca a adubação nitrogenada. A ausência ou inadequação dessa prática compromete a persistência e reduz a produtividade das pastagens ao longo do tempo, podendo levar até o processo de degradação da pastagem (Lima et al., 2020).

A ureia é a principal fonte de nitrogênio utilizada no Brasil, em razão de seu menor custo por unidade de nutriente e de sua elevada concentração de nitrogênio em comparação a outras fontes. Entretanto, por ser rapidamente hidrolisada no solo, essa fonte favorece perdas de nitrogênio por volatilização na forma de amônia (NH_3), o que reduz a eficiência de seu aproveitamento pelas culturas (Tasca et al., 2011). Diante disso, e considerando o crescente enfoque da agricultura contemporânea na sustentabilidade dos sistemas produtivos, observa-se uma ampliação na busca por fontes de adubação mais acessíveis, eficientes e ambientalmente sustentáveis.

Nesse cenário, a mamoneira (*Ricinus communis*) desponta como uma cultura de relevância, sobretudo na região Nordeste, que se destaca como a maior produtora nacional. Na safra de 2025, a produção brasileira alcançou 33.294 toneladas, sendo aproximadamente 94% desse total oriundo do Nordeste (LSPA/IBGE, 2025). Os subprodutos resultantes do processamento da mamona, como a torta e o farelo, apresentam elevado potencial de uso como adubos orgânicos, em razão de seus altos teores de nitrogênio ($93,0 \text{ g kg}^{-1}$), cálcio ($3,0 \text{ g kg}^{-1}$), fósforo ($10,2 \text{ g kg}^{-1}$) e micronutrientes, além de elevada taxa de mineralização, o que favorece a disponibilidade desses nutrientes para as plantas (Severino et al., 2020).

Estudos conduzidos por Maranguape (2020) e Meneses (2022) evidenciaram o potencial da torta de mamona como fertilizante orgânico em pastagens tropicais, demonstrando efeitos positivos sobre o crescimento e a produtividade das forrageiras.

A hipótese do trabalho é que o farelo de mamona pode ser utilizado como adubo orgânico, proporcionando melhorias na produção de forragem, nas características morfofisiológicas e química-bromatológicas do capim-aruaana. Apesar disso, os estudos que avaliam a utilização desse insumo alternativo como adubo orgânico em sistemas de produção de pastagens tropicais ainda são poucos. Diante dessa lacuna, objetivou-se avaliar o uso do farelo de mamona como fertilizante orgânico no capim-aruaana, investigando seus efeitos sobre características morfogênicas, estruturais, produtivas e químico-bromatológicas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola (DENA/UFC) da Universidade Federal do Ceará (UFC), localizada no município de Fortaleza, CE. A cidade situa-se à latitude de 03° 45' 47'' S, longitude de 38° 31' 23'' O, e altitude de 21 metros. A região apresenta clima do tipo Aw, classificado como tropical com inverno seco, conforme a classificação de Köppen (Muniz et al., 2022).

Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, tendo como tratamento o farelo de mamona (FM) aplicado em cinco níveis de adubação (0; 25; 50; 75 e 100 g de FM), com cinco repetições (vasos). O FM utilizado tinha 5,30% de nitrogênio. O FM utilizado no experimento foi obtido a partir do processamento da semente de mamoneira (*Ricinus communis*), proveniente de uma filial da indústria Oleon Brasil S.A., localizada no município de Itupeva, SP.

Antes da implantação do experimento, amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0–20 cm, peneiradas, e encaminhadas ao laboratório para a realização de análises químicas, obtendo-se os seguintes resultados: pH em água na proporção 1:25= 5,2; P = 31,3 mg dm⁻³; K = 47 mg dm⁻³; H + Al = 2,20 cmolc dm⁻³; Ca = 0,98 cmolc dm⁻³; Mg 0,40 cmolc dm⁻³; saturação por base = 40%. Com base nos resultados obtidos, procedeu-se à adubação de correção do solo já acondicionado nos vasos, conforme recomendações. Para a adubação potássica, utilizou-se cloreto de potássio na dose de 60 kg ha⁻¹, correspondendo a 0,37 g por vaso, sendo a aplicação parcelada em duas etapas: metade no momento do plantio e a outra metade no corte de uniformização. Adicionalmente, foi aplicado FTE BR-10 (Fritted Trace Elements) na dose de 30 kg ha⁻¹, equivalente a 0,19 g por vaso, em dose única, no momento do plantio, para suprir necessidades de micronutrientes, de acordo com a recomendação do CFSMG (1999), para níveis de fertilidade sugeridos para gramíneas de alto potencial produtivo e com alto nível de produção.

Foram utilizados vasos plásticos com capacidade volumétrica de 10 dm³ preenchidos com o solo previamente peneirado, distribuídos aleatoriamente dentro da casa de vegetação. A semeadura do capim-arua (*Megathyrsus maximus* cv. Aruana) foi realizada utilizando-se 50 sementes por vaso. O pré-desbaste foi efetuado oito dias após a emergência das plântulas, mantendo-se doze plantas por vaso. Posteriormente, realizou-se o desbaste final aos treze dias após a emergência, permanecendo três plantas por vaso. O corte de uniformização foi realizado aos 45 dias após a emergência, respeitando-se a altura residual de

15 cm, conforme recomendado por Zanini et al. (2012). Imediatamente após o corte de uniformização, procedeu-se à aplicação dos tratamentos.

Foram realizados dois cortes: o primeiro aos 30 dias após o corte de uniformização, representando o primeiro ciclo produtivo, respeitando-se a altura residual de 15 cm; e o segundo após 30 dias do primeiro corte, sendo este realizado com corte rente ao solo, representando o segundo ciclo produtivo

2.1 Avaliação das características morfogênicas e índice relativo de clorofila

Para a mensuração das características morfogênicas, foram marcados três perfilhos por vaso, utilizando-se anéis de fios coloridos, a fim de facilitar sua identificação. Foram registrados o aparecimento, o alongamento e a senescência das lâminas foliares e dos colmos, com o objetivo de estimar as respectivas taxas morfogênicas.

As avaliações iniciaram três dias após o corte e foram realizadas a cada três dias, utilizando-se régua graduada em centímetros. O comprimento da lâmina foliar expandida foi determinado pela distância entre a lígula e o ápice da folha, enquanto o comprimento das lâminas emergentes foi mensurado a partir do ápice da lâmina foliar emergente até a última lígula exposta naquele perfilho. O comprimento da porção senescente foi obtido pela diferença entre o comprimento total da lâmina foliar e a sua porção ainda verde. O alongamento do colmo foi determinado diferença entre as distâncias da lígula da última folha expandida até a base do perfilho do primeiro até o último dia de medição em cada ciclo. A partir dos dados obtidos foram calculadas as seguintes taxas: taxa de alongamento foliar (TAIF, $\text{cm perfilho}^{-1} \text{dia}^{-1}$), taxa de alongamento do colmo (TAIC, $\text{cm perfilho}^{-1} \text{dia}^{-1}$) e taxa de senescência foliar total (TSFt, $\text{cm perfilho}^{-1} \text{dia}^{-1}$).

Adicionalmente, foi mensurado o índice relativo de clorofila (IRC) por meio de um clorofilômetro portátil (*Chlorophyll Meter SPAD 502*®), realizando-se a leitura em uma folha por vaso, com seis pontos de medição, sendo o valor final obtido pela média dessas leituras.

2.2 Determinação das características estruturais

As medições da estrutura do dossel e do índice relativo de clorofila ocorreram antes da realização de cada corte. Para a determinação das características estruturais, foram realizadas as seguintes avaliações: altura do dossel, mensurada com auxílio de uma trena graduada em centímetros; densidade populacional de perfilhos por vaso, sendo determinada por meio da contagem do número de perfilhos vivos totais presentes em cada vaso; e número

de novas folhas por perfilho, atribuindo-se o valor de 1,0 às folhas com lígula exposta (folhas expandidas) e 0,5 às folhas cuja lígula ainda não se encontrava exposta (folhas emergentes), sendo amostrados quatro perfilhos por vaso.

2.3 Mensuração da biomassa total de forragem e de seus componentes

Para a mensuração da biomassa total de forragem e de seus componentes, as plantas foram cortadas, respeitando a altura de corte residual preconizada. Em seguida, foram colhidas e pesadas, sendo posteriormente encaminhadas ao laboratório para a separação dos componentes morfológicos: lâmina foliar verde, colmo verde (inclui colmo verdadeiro, pseudocolmo e bainhas) e material morto. Após a separação, o material foi acondicionado em estufa de ventilação forçada a 55 °C por 72 horas, visando à determinação da biomassa de forragem total colhível para o 1º ciclo (BFTc, $\text{g}\cdot\text{vaso}^{-1}$) e de seus componentes: biomassa de lâmina verde colhível (BLVc, $\text{g}\cdot\text{vaso}^{-1}$); biomassa de colmo verde colhível (BCVc, $\text{g}\cdot\text{vaso}^{-1}$); biomassa de forragem morta colhível (BFMc, $\text{g}\cdot\text{vaso}^{-1}$). E a biomassa de forragem total (BFT, $\text{g}\cdot\text{vaso}^{-1}$) para o 2º ciclo e de seus componentes: biomassa de lâmina verde total (BLVt, $\text{g}\cdot\text{vaso}^{-1}$); biomassa de colmo verde total (BCVt, $\text{g}\cdot\text{vaso}^{-1}$); biomassa de forragem morta total (BFMt, $\text{g}\cdot\text{vaso}^{-1}$). Assim como o cálculo da relação lâmina foliar/colmo (LF/C).

2.4 Análises química-bromatológicas

As amostras, após secas em estufa de 55°C por 72 horas, foram moídas em moinho do tipo Willey, utilizando-se peneira de 1 mm. Foram determinados os teores de matéria seca (MS; método G-003/1), matéria mineral (MM; método M-001/2), fibra em detergente neutro (FDN; método F-002/2), fibra em detergente ácido (FDA; método F-004/2) e nitrogênio total (método N-001/2), de acordo com a metodologia descrita em Detmann (2021). O teor de proteína bruta (PB) foi obtido pela multiplicação do teor de nitrogênio total pelo fator 6,25. As análises foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal da Universidade Federal do Ceará.

2.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos a testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e de homocedasticidade (Levene) para verificar as prerrogativas básicas para análise de variância. Os resultados foram submetidos à análise de variância e análise de regressão. Na análise de regressão, a escolha dos modelos baseou-se na significância dos coeficientes linear e

quadrático pelo teste “t” de Student ($P < 0,05$) utilizando-se como ferramenta de auxílio às análises estatísticas o programa SAS (SAS Institute, 2015).

3 RESULTADOS

3.1 Resultados do 1º ciclo de avaliação

Para as características morfológicas e índice relativo de clorofila (IRC) observou-se que a taxa de alongamento foliar (TAIF) apresentou efeito linear positivo entre os tratamentos, onde para cada grama de adubo houve incremento de $0,0506 \text{ cm perfilho}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Para taxa de alongamento do colmo (TAIC), não houve diferença entre os tratamentos, com média de $0,6034 \text{ cm perfilho}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. A variável taxa de senescência foliar total (TSFt), também apresentou efeito linear positivo, onde para cada grama de adubo, cada perfilho morreu $0,0183 \text{ cm dia}^{-1}$. O índice relativo de clorofila (IRC) apresentou efeito quadrático das doses de farelo de mamona, sendo estimado valor máximo de 38,18 unidades SPAD na dose de 83,31 g por vaso (Tabela 1).

Tabela 1 – Equações de regressão para as características morfológicas e índice relativo de clorofila do capim-aruaana cortado a 15 cm do solo e adubado com diferentes doses do farelo de mamona

Variável	Equação	P-Valor	
		Linear	Quadrático
TAIF	$Y=7,19 + 0,0506x; R^2=0,54$	<0,0001	0,5064
TAIC	$Y=0,6034$	0,1175	0,0943
TSFt	$Y= 0,4768 + 0,0183x; R^2=0,47$	0,0393	0,1001
IRC	$Y = 23,60 + 0,3499x - 0,0021x^2; R^2 = 0,71$	0,0314	<0,0001

Taxa de alongamento foliar (TAIF $\text{cm perfilho}^{-1} \text{ dia}^{-1}$); Taxa de alongamento de colmo (TAIC; $\text{cm perfilho}^{-1} \text{ dia}^{-1}$); Taxa de senescência foliar total (TSFt; $\text{cm perfilho}^{-1} \text{ dia}^{-1}$); Índice relativo de clorofila (IRC). Fonte: Elaborado pela autora.

Para as características estruturais, observou-se efeito dos tratamentos ($P<0,05$) sobre todas as variáveis, altura do dossel, densidade populacional de perfilhos (DPP), número de novas folhas por perfilho (NNFP). (Tabela 2).

A altura do dossel apresentou comportamento linear positivo, indicando incremento de 0,2004 cm na altura das plantas para cada grama de farelo de mamona aplicada. Comportamento semelhante foi observado para o NNFP, que apresentou ajuste linear crescente, com aumento de 0,0070 folhas por perfilho a cada grama de farelo de mamona adicionada.

Para a densidade populacional de perfilhos (DPP), verificou-se efeito quadrático das doses de farelo de mamona, com valor máximo estimado de 46,34 perfilhos por vaso na dose de 69,52 g.

Tabela 2 – Equações de regressão para características estruturais de capim-aruana cortado a 15 cm do solo e adubado com diferentes doses do farelo de mamona

Variável	Equação	P-Valor	
		Linear	Quadrático
Altura	$Y = 37,42 + 0,2004x$; $R^2 = 0,46$	0,0012	0,0647
DPP	$Y = 18,79 + 0,7925x - 0,0057x^2$; $R^2 = 0,76$	0,0672	0,0145
NNFP	$Y = 2,28 + 0,0070x$; $R^2 = 0,25$	0,0408	0,0598

Densidade populacional de perfilhos (DPP; perfilho vaso⁻¹); Número de novas folhas por perfilho (NNFP; folha perfilho⁻¹). Fonte: Elaborado pela autora.

Para a produção de biomassa de forragem total colhível (BFTc; g vaso⁻¹), a biomassa de lâmina verde colhível (BLVc; g vaso⁻¹), biomassa de colmo verde colhível (BCVc; g vaso⁻¹) e biomassa de forragem morta colhível (BFMc; g vaso⁻¹) observou-se efeito ($P < 0,05$) para os tratamentos, sendo observado que para cada grama de farelo de mamona aplicado aumentou-se 0,2469 g, 0,3571 g, 0,1420 g e 0,04275 g de biomassa por vaso, respectivamente. Já a relação lâmina foliar/colmo (LF/C) não foi influenciada ($P > 0,05$) pelos tratamentos, com valor médio de 4,07 (Tabela 3).

Tabela 3 – Equações de regressão para biomassa e relação lâmina foliar/colmo do capim-aruana cortado a 15 cm do solo e adubado com diferentes doses do farelo de mamona

Variável	Equação	P-Valor	
		Linear	Quadrático
BFTc	$Y = 14,48 + 0,2469x$; $R^2 = 0,58$	<0,0001	0,0612
BLVc	$Y = 7,30 + 0,3571x$; $R^2 = 0,84$	<0,0001	0,0634
BCVc	$Y = 1,21 + 0,1420x$; $R^2 = 0,56$	0,0100	0,1011
BFMc	$Y = 0,12 + 0,04275x$; $R^2 = 0,32$	0,0279	0,0752
LF/C	$Y = 4,07$	0,1350	0,1163

Biomassa de forragem total colhível (BFTc; g vaso⁻¹); Biomassa de lâmina verde (BLVc; g vaso⁻¹); Biomassa de colmo verde colhível (BCVc; g vaso⁻¹); Biomassa de forragem morta colhível (BFMc; g vaso⁻¹) e a Relação lâmina foliar/colmo (LF/C). Fonte: Elaborado pela autora.

Para a composição químico-bromatológico observou-se efeito ($P < 0,05$) sobre os teores de matéria mineral (MM), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e proteína bruta (PB). Já o teor de matéria seca (MS) não foi influenciado pelas doses de farelo de mamona ($P > 0,05$), apresentando valor médio de 24,96% (Tabela 4).

O teor de matéria mineral apresentou comportamento quadrático em função das doses de farelo de mamona, com valor mínimo estimado de 8,65% na dose de 59,75 g por vaso. A proteína bruta (PB) apresentou comportamento linear positivo, indicando incremento de 0,0825% para cada grama de farelo de mamona aplicada. Os teores de FDN e FDA apresentaram comportamento linear negativo, evidenciando redução dessas frações fibrosas à medida que se elevaram as doses de farelo de mamona, com decréscimo de 0,0815% e de 0,0459% para FDN e FDA, respectivamente, para cada grama de farelo de mamona adicionada.

Tabela 4 – Equações de regressão para a composição químico-bromatológico do capim-aruaa cortado a 15 cm do solo e adubado com diferentes doses do farelo de mamona

Variável	Equação	P-Valor	
		Linear	Quadrático
MS	$Y=24,96$	0,8262	0,7125
MM	$Y=10,79-0,0717x+0,0006x^2$; $R^2=0,64$	0,0487	<0,0001
PB	$Y=11,19+0,0825x$; $R^2=0,72$	<0,0001	0,3214
FDN	$Y=72,96-0,0815X$; $R^2=0,55$	<0,0001	0,1203
FDA	$Y=32,45-0,0459x$; $R^2=0,57$	<0,0001	0,0712

Teores de Matéria seca (MS, %); Matéria Mineral (MM, %); Fibra em Detergente Neutro (FDN, %); Fibra em Detergente Ácido (FDA, %); Proteína Bruta (PB, %). Fonte: Elaborado pela autora.

3.2 Resultados do 2º ciclo de avaliação

Para a avaliação das características morfogênicas e IRC observou-se que a TAIF não apresentou diferença entre os tratamentos ($P > 0,05$), registrando valor médio de 7,96 cm perfilho⁻¹ dia⁻¹. A TAIC e a TSFt apresentaram efeito linear positivo em resposta às doses de farelo de mamona, indicando que para cada grama de adubo aplicada, houve incremento de 0,0086 e 0,0148 cm perfilho⁻¹ dia⁻¹ respectivamente. O índice relativo de clorofila (IRC) exibiu comportamento semelhante, com aumento de 0,1918 unidades SPAD por grama de farelo aplicada. (Tabela 5).

Tabela 5 – Equações de regressão para as características morfogênicas e índice relativo de clorofila do capim-aruaana cortado rente ao solo e adubado com diferentes doses do farelo de mamona

Variável	Equação	P-Valor	
		Linear	Quadrático
TAlF	$Y = 7,96$	0,4675	0,5223
TAlC	$Y = 0,3374 + 0,0086x$; $R^2 = 0,46$	0,0101	0,1303
TSFt	$Y = 0,1472 + 0,0148x$; $R^2 = 0,57$	0,019	0,1568
IRC	$Y = 18,19 + 0,1918x$; $R^2 = 0,55$	0,0261	0,0812

Taxa de alongamento foliar (TAlF; $\text{cm perfilho}^{-1} \text{ dia}^{-1}$); Taxa de alongamento de colmo (TAlC; $\text{cm perfilho}^{-1} \text{ dia}^{-1}$); Taxa de senescência foliar total (TSFt; $\text{cm perfilho}^{-1} \text{ dia}^{-1}$); Índice relativo de clorofila (IRC). Fonte: Elaborado pela autora.

Para as características estruturais avaliadas, observou-se efeito dos tratamentos ($P < 0,05$) para a altura do dossel e a DPP. O NNFP não foi influenciado pelas doses de farelo de mamona ($P > 0,05$), apresentando média de 3,81 novas folhas por perfilho, respectivamente (Tabela 6). A altura do dossel apresentou relação linear positiva, indicando incremento de 0,3136 cm para cada grama de farelo de mamona aplicada. Para a DPP, verificou-se efeito quadrático das doses de farelo de mamona, com valor máximo estimado de 42,92 perfilhos por vaso na dose de 62,71 g.

Tabela 6 – Equações de regressão para as características estruturais do capim-aruaana cortado rente ao solo e adubado com diferentes doses do farelo de mamona

Variável	Equação	P-Valor	
		Linear	Quadrático
Altura	$Y = 46,32 + 0,3136x$; $R^2 = 0,59$	$< 0,0001$	0,0741
DPP	$Y = 24,83 + 0,5769x - 0,0046x^2$; $R^2 = 0,59$	0,0731	0,0385
NNFP	$Y = 3,81$	0,2340	0,4705

Densidade populacional de perfilhos (DPP; $\text{perfilho vaso}^{-1}$); Número de novas folhas por perfilho (NNFP; $\text{folha perfilho}^{-1}$). Fonte: Elaborado pela autora.

Para a produção de biomassa de forragem total (BFT; g vaso^{-1}), a biomassa de lâmina verde total (BLVt; g vaso^{-1}), de colmo verde total (BCVt; g vaso^{-1}) e a biomassa de forragem morta total (BFMt; g vaso^{-1}) apresentaram efeito linear positivo em função das doses de farelo de mamona indicando aumento dessas variáveis à medida que se elevaram os

níveis de adubação orgânica, com incremento de 0,38; 0,5063; 0,2462 e 0,1892 g vaso⁻¹, respectivamente, para cada grama de farelo de mamona aplicado. Já a relação lâmina foliar/colmo, observou-se efeitos linear negativo evidenciando redução de 0,0062 com o aumento das doses de farelo de mamona (Tabela 7).

Tabela 7 – Equações de regressão para produção de biomassa e relação lâmina foliar/colmo de capim-aruaana cortado rente ao solo e adubado com diferentes doses do farelo de mamona

Variável	Equação	P-Valor	
		Linear	Quadrático
BFT	$Y=20,75 + 0,38x$, $R^2=0,89$	<0,0001	0,1201
BLVt	$Y=8,11+0,1817x$ $R^2=0,67$	0,0017	0,0954
BCVt	$Y=6,83+0,2462x$; $R^2=0,87$	<0,0001	0,6311
BFMt	$Y=4,95+0,1892x$; $R^2=0,74$	0,0286	0,8093
LF/C	$Y=1,29 - 0,0062x$; $R^2=0,39$	0,0008	0,0974

Biomassa de forragem total (BFT; g vaso⁻¹); Biomassa de lâmina verde total (BLVt; g vaso⁻¹); Biomassa de colmo verde total (BCVt; g vaso⁻¹); Biomassa de forragem morta total (BFMt; g vaso⁻¹) e a Relação lâmina foliar/colmo (LF/C). Fonte: Elaborado pela autora.

Para a composição químico-bromatológico, a matéria seca (MS) e a proteína bruta (PB) apresentaram comportamento quadrático em função das doses de farelo de mamona, com valor máximo estimado de 25,58% na dose de 51,71 g por vaso para MS, e valor mínimo estimado de 5,98% na dose de 36,75 g por vaso para PB (Tabela 8).

Os teores de fibra em detergente neutro (FDN) e matéria mineral (MM) apresentaram comportamento linear negativo, evidenciando redução dessas variáveis à medida que se elevaram as doses de farelo de mamona. Observou-se redução de 0,0346% e 0,0175% de FDN e MM, respectivamente, para cada grama de farelo aplicada. Já a fibra em detergente ácido (FDA) apresentou comportamento linear positivo, indicando incremento de 0,0147% para cada grama de farelo de mamona aplicada.

Tabela 8 – Equações de regressão para composição químico-bromatológico do capim-aruaana cortado rente ao solo e adubado com diferentes doses do farelo de mamona

Variável	Equação	P-Valor	
		Linear	Quadrático
MS	$Y=23,71+0,0724x-0,0007x^2$; $R^2=0,30$	0,2053	0,0067
MM	$Y=11,05-0,0175x$; $R^2=0,31$	0,0038	0,1103

PB	$Y=6,25-0,0147x+0,0002x^2$; $R^2=0,29$	0,3015	<0,0001
FDN	$Y=76,44-0,0346X$; $R^2=0,39$	0,0009	0,0615
FDA	$Y=37,19+0,0147x$; $R^2=0,28$	<0,0001	0,163

Teores de Matéria seca (MS, %); Matéria Mineral (MM, %); Fibra em Detergente Neutro (FDN, %); Fibra em Detergente Ácido (FDA, %); Proteína Bruta (PB, %). Fonte: Elaborado pela autora.

4 DISCUSSÃO

A resposta observada no primeiro ciclo para a taxa de alongamento foliar (TAIF) pode estar relacionada à maior disponibilidade de nutrientes oriundos da aplicação do farelo de mamona, tendo em vista que com aumento da dose houve maior quantidade de nutrientes disponíveis, dentre eles o nitrogênio, favorecendo o crescimento. Além do mais, a maior disponibilidade do nitrogênio pode ter favorecido a divisão celular (Skinner e Nelson, 1995).

Essa maior disponibilidade de nitrogênio desempenha papel fundamental no crescimento vegetal, uma vez que o nitrogênio participa da constituição estrutural de moléculas e enzimas essenciais aos processos fisiológicos responsáveis pelo desenvolvimento das plantas (Malavolta et al., 2006).

A eficiência do farelo de mamona como fonte nutricional está relacionada à sua composição química e às características físicas do material. Conforme destacado por Severino et al. (2020), o farelo de mamona apresenta características favoráveis para seu uso na adubação de plantas, apresentando elevados teores de nitrogênio ($93,0 \text{ g kg}^{-1}$), cálcio ($3,0 \text{ g kg}^{-1}$), fósforo ($10,2 \text{ g kg}^{-1}$), potássio ($13,5 \text{ g kg}^{-1}$) e magnésio ($6,0 \text{ g kg}^{-1}$), além disso, possui baixa relação C:N, favorecendo a mineralização da matéria orgânica e a liberação de nitrogênio em ritmo relativamente rápido. O que pode explicar o fato de no segundo ciclo não ter sido observado efeito entre as doses.

A TAIF é considerada uma medida importante no estudo de morfogênese por estar diretamente correlacionada com maior produção de forragem, sendo que elevação na TAIF possibilita incremento na produção de folhas e maior área fotossinteticamente ativa, proporcionando maior acúmulo de biomassa (Martuscello et al., 2006).

Embora o nitrogênio atue como importante promotor do crescimento vegetal, a aplicação de doses elevadas pode acelerar o processo de maturação das plantas (Alves et al., 2018). No primeiro ciclo, as maiores doses de adubação favoreceram uma intensificação do metabolismo vegetal, antecipando o desenvolvimento fenológico. De acordo com Dantas Neto et al. (2000), sob condições de estresse, as plantas tendem a priorizar o alongamento dos tecidos já formados em detrimento da emissão de novos tecidos.

Nesse contexto, no segundo ciclo, a redução na disponibilidade de nutrientes associado a possíveis fatores de estresse ambiental ou nutricional pode ter caracterizado uma condição geral de estresse, induzindo as plantas a transitar mais rapidamente para o estágio reprodutivo. Nessa fase, o alongamento do colmo constitui um processo fisiológico natural, necessário para sustentar a emissão da inflorescência (Reis et al., 2022).

O efeito positivo dos níveis de adubação sobre a TAlF pode ter influenciado a taxa de senescência foliar total (TSFt), uma vez que o maior crescimento do dossel promoveu o sombreamento das folhas mais velhas, acelerando o processo de senescência (Alves et al., 2018). Adicionalmente, quando as plantas são submetidas à ausência ou à baixa disponibilidade de nutrientes, tendem a apresentar menores taxas de senescência como estratégia de sobrevivência (Martuscello et al., 2006).

No segundo ciclo, em um possível contexto de maior estresse fisiológico, as plantas podem ter mobilizado reservas nutricionais acumuladas no sistema radicular para sustentar a aceleração do metabolismo e o crescimento. Dessa forma, parcelas que receberam maiores doses iniciais de farelo de mamona, por apresentarem possível maior acúmulo de reservas, exibiram maior aceleração metabólica, o que se refletiu em taxas mais elevadas de senescência foliar nas doses superiores (Costa et al., 2025; Martuscello, 2006; Vargas 2023)

No primeiro ciclo, o comportamento quadrático do índice relativo de clorofila (IRC) pode ser possivelmente atribuído à rápida mineralização do farelo de mamona, o que favorece a liberação intensa de nitrogênio logo após a aplicação (Meneses, 2022). Em doses mais elevadas, a planta pode atingir um ponto de saturação fisiológica, no qual o excesso de nitrogênio disponível no solo deixa de ser convertido proporcionalmente em clorofila, resultando em estabilização ou leve redução do IRC (Faria et al., 2018; Vasconcelos, 2018). Além do mais, concentrações elevadas de nitrogênio em curto período podem provocar efeitos fisiológicos transitórios que limitam o incremento do IRC nas maiores doses (Severino et al., 2020).

No segundo ciclo, a resposta linear positiva observada para o IRC pode ser explicada pela ausência de efeito residual do farelo de mamona, cujos constituintes são quase totalmente mineralizados em menos de 30 dias (Severino et al., 2020). Como não houve reaplicação do fertilizante, os níveis de nitrogênio no solo podem ter reduzido, e conduzido o sistema a uma condição de maior limitação nutricional (Faria et al., 2018). Nessas condições, as plantas tornam-se mais responsivas às pequenas diferenças no suprimento de nitrogênio remanescente (Faria et al., 2018; Costa et al., 2025; Severino et al., 2020), o que pode explicar o incremento proporcional do IRC nas parcelas que receberam maiores doses iniciais.

O incremento linear na altura das plantas observado neste estudo pode evidenciar um potencial do farelo de mamona como fertilizante orgânico para pastagens de capim-aruana, refletindo positivamente no desenvolvimento vegetal. Esse padrão de resposta pode ser novamente atribuído a um possível aumento da disponibilidade de nutrientes no solo à

medida que se elevam as doses aplicadas, criando condições favoráveis ao crescimento das plantas (Maranguape et al., 2020).

Destaca-se, ainda, que a altura do dossel é considerada uma das variáveis mais indicativas da produção de forragem e do desempenho animal, além de apresentar facilidade de mensuração, sendo amplamente utilizada como critério confiável para a avaliação de pastagens (Hodgson, 1990).

O perfilho constitui a unidade fundamental de crescimento das plantas forrageiras, uma vez que o desenvolvimento das gramíneas ocorre predominantemente por meio do perfilhamento, processo diretamente relacionado ao aumento da produtividade e à persistência das pastagens (Hodgson, 1990; Fialho et al., 2012).

O comportamento observado para a densidade populacional de perfilhos (DPP) no presente estudo pode ser explicado pelo aumento da biomassa do dossel em resposta às maiores doses de farelo de mamona. À medida que o dossel se torna mais denso, condição frequentemente associada à elevada disponibilidade de nitrogênio, ocorre redução tanto na quantidade quanto na qualidade da luz que atinge a base das plantas. Essa alteração no ambiente luminoso atua como sinal fisiológico para a manutenção da dormência das gemas basais, inibindo a emissão de novos perfilhos próximos ao solo (Zanini et al., 2012).

Dessa forma, a resposta da DPP às doses de farelo de mamona pode indicar que níveis moderados de adubação favorecem a renovação de perfilhos, enquanto doses elevadas podem intensificar o sombreamento no dossel e limitar a emissão de novos perfilhos.

O número de novas folhas por perfilho (NNFP) constitui um importante indicador do potencial de perfilhamento, uma vez que cada folha formada apresenta, em sua base, uma gema com capacidade de originar um novo perfilho. Essa variável tende a apresentar comportamento relativamente estável na ausência de restrições nutricionais, alcançando um ponto de equilíbrio quando as taxas de aparecimento e senescência foliar se igualam (Alves et al., 2018; Fernandes, 2017).

No primeiro ciclo de avaliação, a adubação com farelo de mamona pode ter contribuído para que esse equilíbrio fosse alcançado mais rapidamente, explicando o comportamento linear observado para o NNFP. Entretanto, estudos indicam que o farelo de mamona apresenta mineralização quase completa em período inferior a 30 dias, não promovendo efeito residual significativo nos ciclos subsequentes (Severino et al., 2020).

Dessa forma, a estabilização do NNFP pode ser um indicativo do esgotamento desse aporte nutricional inicial. Assim, o surgimento de novas folhas deixa de ser estimulado e a planta passa focar na distribuição de fotoassimilados para o alongamento do colmo e para

a emissão de inflorescência (Vasconcelos, 2018). Tal comportamento confere a essa variável elevada relevância prática, pois auxilia na definição do momento adequado para interrupção do período de descanso e realização da colheita da forragem (Gomide et al., 2006).

A resposta observada para as biomassas de forragem, total colhível e total (BFTc e BFT) podem estar relacionadas ao comportamento encontrado para a altura do dossel, uma vez que esta se associa positivamente à produção de biomassa (Maranguape et al., 2020). Com aumento da dose de adubo houve maior disponibilidade de nutrientes para as plantas, dentre eles o nitrogênio, que favoreceu o processo de formação de tecidos, estimulando o desenvolvimento de primórdios foliares, aumento do número de folhas emergentes e vivas por perfilho e estimula o perfilhamento, influenciando diretamente no aumento da produção de forragem (Paciullo et al., 1998).

A biomassa de lâmina foliar verde é importante para o crescimento das plantas forrageiras, pois a lâmina foliar é o componente mais fotossinteticamente ativo. Vale salientar que o componente foliar é de grande importância para a nutrição animal, já que apresenta relação direta com a qualidade nutricional da planta e apresenta maior digestibilidade (Capstaff e Miller, 2018).

O incremento linear da biomassa de lâmina verde observado nos ciclos avaliados pode estar relacionado ao fornecimento de nitrogênio pelo farelo de mamona, nutriente essencial ao desenvolvimento vegetal, que estimula o perfilhamento, o surgimento de folhas e a expansão dos tecidos (Alves et al., 2018; Faria et al., 2018). No segundo ciclo, a permanência desse comportamento pode ser atribuída ao desenvolvimento de um sistema radicular nas maiores doses de adubação, permitindo maior acúmulo de reservas orgânicas nas raízes, fundamentais para sustentar a rebrotação após o corte, mesmo após a redução do efeito devido a mineralização do farelo (Faria et al., 2018; Vasconcelos, 2018).

O aumento da biomassa de colmo reflete uma resposta adaptativa da planta para garantir a sustentação física e a manutenção da arquitetura do dossel à medida que a produção total se eleva, uma vez que o nitrogênio participa da constituição estrutural de moléculas e enzimas envolvidas no crescimento vegetal (Alves et al., 2018; Pompeu et al., 2010). Em doses mais elevadas, o crescimento vigoroso da parte aérea favorece o adensamento do dossel, intensificando o auto sombreamento das folhas basais, o que acelera os processos de senescência e resulta em maior acúmulo de material morto (Alves et al., 2018; Fontinele, 2018).

No primeiro ciclo, a estabilidade da relação lâmina foliar/colmo indica uma partição equilibrada de nutrientes entre estruturas de captação de luz e suporte. Contudo, no

segundo ciclo, a redução dessa relação pode evidenciar que, sob maiores doses de nitrogênio, o incremento proporcional da biomassa de colmo supera o de lâminas foliares, assegurando a sustentação do dossel (Alves et al., 2018; Pompeu et al., 2010).

Associado a isso, a redução da disponibilidade de nutrientes e possíveis estresses ambientais ou nutricionais no segundo ciclo podem ter induzido a antecipação do estágio reprodutivo, no qual o alongamento do colmo se intensifica (Gomide et al., 2006; Meneses, 2022). Esse comportamento pode explicar o aumento linear da biomassa de inflorescência observado com o incremento das doses de adubação, uma vez que não houve produção de inflorescências no tratamento sem adubação, enquanto na dose de 100 g de farelo de mamona foi registrada biomassa de inflorescência de $3,0 \text{ g vaso}^{-1}$.

Para as características químicas-bromatológicas, o aumento da proteína bruta pode estar diretamente relacionado ao papel do nitrogênio como constituinte essencial das proteínas, dos aminoácidos e da molécula de clorofila (Taiz et al., 2017). A aplicação de doses crescentes de farelo de mamona deve ter promovido maior disponibilidade de nitrogênio no sistema, resultando em elevação da concentração desse nutriente nas lâminas foliares (Faria et al., 2018). Esse maior aporte nutricional pode favorecer a síntese de compostos nitrogenados orgânicos, refletindo diretamente na melhoria do valor nutritivo da forragem.

O comportamento quadrático da proteína bruta, pode ser explicado pelo balanço entre a expansão da biomassa e a disponibilidade interna de nitrogênio. Em doses baixas e intermediárias, ocorre um efeito de diluição do nitrogênio, uma vez que a planta utiliza reservas limitadas de nitrogênio para expandir rapidamente seus tecidos, resultando em redução do teor percentual de proteína (Vasconcelos, 2018). Em contrapartida, as maiores doses aplicadas no primeiro ciclo favoreceram o acúmulo de reservas nitrogenadas no sistema radicular e na base do colmo, criando um efeito residual interno (Lima, 2018; Vargas, 2023).

No segundo ciclo, esse acúmulo de reservas nutricionais pode ter possibilitado uma maior translocação de nitrogênio para os novos tecidos, superando o crescimento da biomassa e promovendo a elevação do teor de proteína nas doses mais altas (Lima, 2018; Vasconcelos, 2018). Adicionalmente, com o avanço da maturidade fisiológica, a redução da emissão de novas folhas pode favorecer a concentração do nitrogênio nos tecidos já formados, contribuindo para o incremento final da proteína bruta (Fontinele, 2018).

No primeiro ciclo de avaliação os teores de PB encontrados ficaram acima do valor considerado mínimo necessário (PB de 7%) para adequada atividade microbiana do rúmen, já no segundo ciclo os valores ficaram abaixo ou próximo desse valor. Vale ressaltar

que teor PB abaixo de 7% reduz o aproveitamento do alimento pelo animal, por causa do suprimento inadequado de nitrogênio para os microrganismos ruminais, afetando a digestibilidade e ingestão de matéria seca (Van Soest, 1964).

O comportamento quadrático do teor de matéria seca, pode indicar a ocorrência de uma saturação da resposta produtiva da planta. Esse padrão pode refletir uma concentração de máxima eficiência física, na qual o incremento de biomassa deixa de ser proporcional ao aumento da dose de adubo (Deminicis et al., 2022). Além disso, a possível ausência de efeito residual do farelo de mamona, pode ter feito com que as plantas dependessem das reservas internas de nitrogênio no ciclo subsequente (Severino et al., 2020).

Com essa redução da disponibilidade de nitrogênio e o avanço do estágio de desenvolvimento, pode ter ocorrido a diminuição das taxas de crescimento, com maior direcionamento do metabolismo para a respiração de manutenção, o que contribui para a estabilização e posterior redução do acúmulo de matéria seca em doses superiores ao ponto de equilíbrio (Fontinele, 2018; Vasconcelos, 2018).

A redução dos teores de fibra em detergente neutro (FDN) pode ser atribuída ao efeito do nitrogênio no estímulo à formação de tecidos jovens, os quais apresentam menor concentração de carboidratos estruturais. O aumento da disponibilidade de N favorece o crescimento vegetativo, levando a planta a priorizar o acúmulo de conteúdo celular (protoplasma) em detrimento do espessamento da parede celular, o que resulta em menores valores de FDN (Alves et al., 2018; Faria et al., 2018).

O incremento linear dos teores de fibra em detergente ácido (FDA) pode estar associado ao maior alongamento do colmo observado no presente estudo. Esse comportamento reflete uma estratégia da planta para sustentar o pseudocolmo e tornar possível a emissão da inflorescência, resultando em maior participação de tecidos estruturais mais lignificados (Fontinele, 2018; Meneses, 2022; Tomazello et al., 2023). Dessa forma, o aumento da produção de colmo pode ter contribuído para a elevação da FDA, uma vez que esses tecidos apresentam maior concentração de componentes menos digestíveis da parede celular (Pompeu et al., 2010).

A variação nos teores de matéria mineral observada em função das doses de farelo de mamona pode ser explicada pela interação entre o ritmo de crescimento vegetal e a capacidade de absorção de nutrientes pelas plantas. O fornecimento inicial de nitrogênio promove intenso estímulo ao crescimento vegetativo, resultando em rápido aumento da biomassa, que pode ocorrer em velocidade superior à absorção de minerais, caracterizando o chamado efeito de diluição dos nutrientes nos tecidos vegetais (Alves et al., 2018).

Em doses mais elevadas, entretanto, o nitrogênio também estimula o desenvolvimento do sistema radicular, aumentando a eficiência de exploração do solo e a absorção de nutrientes, o que contribui para a estabilização ou incremento dos teores de matéria mineral nas plantas (Faria et al., 2018).

5 CONCLUSÕES

Conclui-se que o farelo de mamona mostrou-se eficiente como fertilizante orgânico para o capim-aruaana, promovendo incrementos nas características estruturais, fisiológicas e produtivas da forrageira. A dose recomendada sendo de $71,84 \text{ g vaso}^{-1}$, equivalente a $11.587,10 \text{ kg ha}^{-1}$, definida a partir das médias dos valores máximos observados para a densidade populacional de perfilhos (DPP) e índice relativo de clorofila (IRC), que apresentaram respostas quadráticas com ponto de máximo. Entretanto, a ausência de reaplicação do fertilizante pode ter resultado em uma redução da disponibilidade nutricional, podendo ocasionar um estresse fisiológico e alterações na composição morfológica da planta. Dessa forma, embora o farelo de mamona se apresenta como uma alternativa promissora para a adubação orgânica do capim-aruaana, torna-se necessário o ajuste das doses e da frequência de aplicação para garantir a estabilidade produtiva e a qualidade da forragem ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS

- ALVES, F. G. S.; CARNEIRO, M. S. S.; EDVAN, R. L. CÂNDIDO, M. J. D.; FURTADO, R. N.; PEREIRA, E. S.; MORAIS NETO, L. B.; MOTA, R. R. M.; NASCIMENTO, K. S. Agronomic and nutritional responses of Carajas elephant grass fertilized with protected and non-protected urea. **Semina: Ciências agrárias**, v. 39, p. 2181-2194, 2018.
- CAPSTAFF, N. M; MILLER, A. J. Improving the yield and nutritional quality of forage crops. **Frontiers in Plant Science**, v.9, 535, 2018.
- COSTA, N. L.; JANK, L.; MAGALHÃES, J.A.; RODRIGUES, B, H. N.; SANTOS, F. J.S. Produtividade de forragem e morfogênese de *Megathyrsus maximus* cv. BRS Zuri sob adubação nitrogenada. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, v. 18, n. 2, p. e15176, 4 fev. 2025.
- DANTAS NETO, J.; SILVA, F. A. S.; FURTADO, D. A.; MATOS, J. A. Influência da precipitação e idade da planta na produção e composição química do capim-buffel. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 9, p. 1867–1874, set. 2000.
- DETMANN, E.; COSTA E SILVA, L.F.; ROCHA, G.C.; PALMA, M.N.N.; RODRIGUES, J.P.P. **Métodos para análise de alimentos. Métodos para análise de alimentos-INCT-Ciência Animal**, 2ª ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2021. 350p.
- DEMINICIS, B. B.; DEMINICIS, R. G. S.; DOBBSS, L. B. LISTA, F. N. Content of Gross Protein, Fiber in Neutral Detergent, Production of Aerial and Root Dry Matter of Marandu Grass and Mombaça Grass Under The Effect of Different Doses of Humic Substances. **Scientia Agraria Paranaensis**, p. 237–243, 29 set. 2022.
- FARIA, B. M.; MORENZ, M. J. F.; PACIULLO, D. S. C.; LOPES, F. C. F.; GOMIDE, C. A. M. Growth and bromatological characteristics of *Brachiaria decumbens* and *Brachiaria ruziziensis* under shading and nitrogen. **Ciência Agronômica**, v. 49, n. 3, 1 jan. 2018.
- FERNANDES, J. S. P.; LUNA, A. A.; CARVALHO, F.C.; DUTRA, L. A.; RAMALHO, R, C.; FERNANDES, J.A.B. Características estruturais do capim-arua em quatro alturas de resíduos. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 19, n. 2, 1 jan. 2017.
- FIALHO, C.A.; SILVA, S.C.; GIMENES, F.M.A.; GOMES, M.B.; BERNDT, A.; GERDES, L. Tiller population density and tillering dynamics in marandu palisade grass subjected to strategies of rotational stocking management and nitrogen fertilization. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.34, p.137139, 2012.
- FONTINELE, R. G. **Morfofisiologia e composição químico-bromatológica dos cultivares BRS massai e BRS tamani sob épocas de vedação e idades de utilização**. 2018. 57f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- HODGSON, J. **Grazing management: Science into practice**. New York: John Wiley & Sons, 1990. 203p.
- Levantamento Sistemático da Produção Agrícola | IBGE**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistemico-da-producao-agricola.html?edicao=43941>>. Acesso em: 04 jan. 2026.

LIMA, G. C. **Acúmulo de nutrientes na parte aérea e raízes, produção e composição química bromatológica do *Megathyrus maximus* cv. BRS zuri inoculado com bactérias promotoras do crescimento.** 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Animal) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2018.

LIMA, G. C.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; FILHO, M. C. M. T.; MOREIRA, A.; HEINRICH, R.; FILHO, C. V. S.; Yield, yield components and nutrients uptake in Zuri Guinea grass inoculated with plant growth-promoting bacteria. **International Journal for Innovation Education and Research**, v. 8, n. 4, p. 103–124, 1 abr. 2020.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Ceres, 638 p. 2006.

MARANGUAPE, J. S.; POMPEU, R. C. F. F.; VIEIRA, L.S.; SOUZA, H. A. S.; OLIVEIRA, E. L.; SOUSA, A. M. P.; COSTA, C. S.; SANTOS, M. A.; PEREIRA, P. L. SALLES, H. O. Castor cake as organic fertilizer to control gastrointestinal nematodes in pasture-raised sheep. **Braslian Journal of Veterinary Parasitology**, v. 29, p. e021420, 2020.

MARTUSCELLO, J.A.; FONSECA, D.M.; NASCIMENTO, J. D.; SANTOS, P.M.; CUNHA, D.N.F.V.; MOREIRA, L.M. Características morfogênicas e estruturais de capim-massai submetido à adubação nitrogenada e desfolhação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.3, p.665-671, 2006.

MENESES, A. J. G. **Desempenho bioeconômico e controle parasitário em ovinos terminados intensivamente a pasto utilizando a torta de mamona como insumo alternativo.** 2022. 133 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

MUNIZ, L. F.; PEREIRA, J. M. R.; XIMENES JÚNIOR, C. L.; STUDART, T. M. C. Classificação climática para o Estado do Ceará utilizando distintos sistemas de caracterização. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - SBRH, XXII.**Anais [...] Florianópolis, Santa Catarina, 2017. Tema: “Ciência e tecnologia da água: inovação e oportunidades para o desenvolvimento sustentável”, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. 26 nov. a 01 dez. 2017

PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, J.A.; RIBEIRO, K.G. Adubação nitrogenada do capim-elefante cv. Mott. 1. Rendimento forrageiro e características morfofisiológicas ao atingir 80 e 120 cm de altura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.27, p.1069-1075, 1998.

POMPEU, R. C. F. F.; CÂNDIDO, M. J. D.; LOPES, M.N.; GOMES, F. H. T.; LACERDA, C. F.; AQUINO, B.F.; MAGALHÃES, J. A. Características morfofisiológicas do capim-aruaana sob diferentes doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 11, n. 4, p. 1187–1210, 20 dez. 2010.

REIS, R. A.; SILVA, W. L.; BARBERO, R. P.; CARDOSO, A. S. Principais espécies de *Brachiaria* In: SANTOS, M. V. F.; NEIVA, J. N. M. **Culturas Forrageiras no Brasil: uso e perspectivas.**Visconde do Rio Branco, MG: suprema gráfica, 2022. p.35-60

GOMIDE, C. A. de M.; GOMIDE, J. A.; PACIULLO, D. S. C. Morfogênese como ferramenta para o manejo de pastagens. Revista Brasileira de Zootecnia. REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43, 2006, João Pessoa. **Anais: Produção animal em biomas tropicais.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2006. p. 457-478.

SEVERINO, L. S.; MENDES, B.S.S; SABOYA, R.C.C; BARROS, L.A; MARINHO, D.R.F. Nutrient content of solvent-extracted castor meal separated in granulometric fractions by dry sieving and applied as organic fertilizer. **Industrial Crops and Products**, v. 161, p. 113178–113178, 22 dez. 2020.

SKINNER, R.H.; NELSON, C.J. Elongation of the grass leaf and its relationship to the phyllochron. **Crop Science**, v.35, n.1, p.4-10, 1995.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Plant Physiology and Development**, 6th edn. Sinauer Associates Inc. Sunderland, Massachusetts. 2017.

TASCA, F, A.; ERNANI, P. R.; ROGERI, D A. GATIBONI, L. C.; CASSOL, P. C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de uréase. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 35:493-502, 2011.

TOMAZELLO, D. A.; MELO, E. M. F.; SANTOS, A. J. M.; BACKES, C.; TEODORO, A. G.; RIBON, A. A. ADUBAÇÃO ORGÂNICA EM PASTAGENS. **Ciências Agrárias: limites e potencialidades em pesquisa - Volume 3**, p. 199–216, 2023.

VAN SOEST, P.J. **Nutricional ecology of the ruminant**. 2.ed. Ithaca, NY: Cornell University Press. 1994.

VARGAS, K. C. **Contribuição de perfilhos aéreos e basais nos componentes do acúmulo de matéria seca em pastos de capim-elefante cv. BRS kurumi (*Pennisetum purpureum*, schum.)**. 2023. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2023.

VASCONCELOS, E. C. G. **Morfofisiologia do capim-tamani irrigado sob doses de nitrogênio** 2018. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

ZANINI, G. D.; SANTOS, G. T.; SBRISSIA, A. F. Frequencies and intensities of defoliation in Aruana guineagrass swards: morphogenetic and structural characteristics. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 8, p. 1848–1857, ago. 2012.