

PRODUÇÃO DA BIOMASSA DE MILHETO SUBMETIDO A DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO EM RELAÇÃO A SOMA TÉRMICA

PRODUCTION OF PEARL MILLET BIOMASS SUBJECTED TO DIFFERENT NITROGEN DOSES IN RELATION TO THE THERMAL SUM

Miguelangelo Ziegler Arboitte¹ e Cássio Silveira Maggi²

RESUMO

A cultura do milheto pode ser usada para pastejo e cobertura de solo, sendo conhecida por ser uma planta que resiste a muitas condições desfavoráveis. O nitrogênio é um dos macronutrientes que proporciona altas produtividades quando aplicado em maiores dosagens, resultando em maior lotação animal e aumentando o ganho de peso diário do rebanho. No Brasil, o milheto é utilizado para recuperação de áreas, cobertura e pastejo. O experimento foi realizado em Três Cachoeiras (RS), na propriedade dos Maggi, em região de clima Cfa. Foram realizados quatro tratamentos: 50% da dose de nitrogênio recomendada, 100%, 150% e 200%, divididos em 4 blocos. Foram analisadas as produções de biomassa verde e de biomassa seca, nas diferentes doses de nitrogênio. Os dados foram analisados através da análise de variância e pelo teste de Tukey a 5%, além da análise de correlação de Pearson e de regressão, buscando determinar a quantidade de nitrogênio no cultivo de milheto que apresenta a maior produção de biomassa. Os resultados mostraram que doses superiores a 100% aumentaram a produção de biomassa, mas o excesso de nitrogênio reduziu a eficiência da cultura, especialmente na dose de 200%, que teve correlação negativa com a soma térmica. A precipitação elevada também prejudicou o desenvolvimento da cultura, indicando a sensibilidade do milheto a condições de encharcamento. Conclui-se que o manejo adequado da fertilização nitrogenada é essencial para otimizar a produtividade do milheto, e que estratégias de aplicação que minimizem as perdas de nitrogênio devem ser consideradas uma para maior sustentabilidade.

Palavras-chave: Fitomassa; Manejo; *Pennisetum glaucum*; Soma térmica.

ABSTRACT

The pearl millet crop can be used for grazing and soil cover, being known as a plant that resistent many unfavorable conditions. Nitrogen is one of the macronutrients that provides high yields when applied in higher doses, resulting in greater animal stocking rates and increasing the daily weight gain of the herd. In Brazil, pearl millet is used for area recovery, soil cover, and grazing. The experiment was conducted in Três Cachoeiras (RS), on the Maggi family's property, in region with a Cfa climate. Four treatments were carried out: 50% of the recommended nitrogen dose, 100%, 150%, and 200%, divided into 4 plots. The production of green biomass and dry biomass at the different nitrogen levels was analyzed. Data were analyzed using analysis of variance and Tukey's test at 5%, in addition to Pearson correlation and regression analysis, seeking to determine the amount of nitrogen in the pearl millet crop that presents the highest biomass production. The results showed that doses above 100% increased biomass production, but the excess nitrogen reduced the crop's efficiency, especially at the 200% dose, which had a negative correlation with

1 Instituto Federal Catarinense - IFC (Campus Santa Rosa do Sul). E-mail: miguelangelo.arboitte@ifc.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9174-0017>

2 Engenheiro Agrônomo. Instituto Federal Catarinense - IFC (Campus Santa Rosa do Sul) E-mail: cassio.maggi@hotmail.com

the thermal sum. High rainfall also hindered the crop's development, indicating the sensitivity of pearl millet to waterlogging conditions. It is concluded that the proper management of nitrogen fertilization is essential to optimize pearl millet productivity, and that application strategies that minimize nitrogen losses must be considered for greater sustainability.

Keywords: Biomass; Management; *Pennisetum glaucum*; Termal sum.

1 INTRODUÇÃO

A busca por sistemas de produção agropecuários mais eficientes e resilientes tem se tornado uma prioridade global, alinhando-se diretamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas. Nesse cenário, destacam-se em especial o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável) e o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), que preconizam o uso racional de recursos e a mitigação de impactos ambientais. Diante dessa demanda, o milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) desponta como alternativa de grande relevância. A espécie tem histórico de utilização no deserto do Saara datado de 5.000 anos antes da era atual e, posteriormente, foi levada para a Índia, onde se desenvolveram genótipos diferentes dos africanos. Essa planta é conhecida por ser uma gramínea vigorosa, utilizada na alimentação de herbívoros na forma de capineira ou pastejo (Pereira Filho, 2009). Além disso, pode ser empregada na produção de silagem e feno, e seus grãos servem como substitutos do milho (Ribeiro *et al.*, 2004; Pereira Filho, 2009). A cultura também tem destaque na produção de biomassa para cobertura de solo (Costa; Priesnitz, 2014) e como eventual substituto do milho na alimentação de aves, suínos (Pereira Filho, 2009) e para vacas leiteiras (Ribeiro *et al.*, 2004).

O milheto é uma gramínea anual de clima tropical (Teodoro *et al.*, 2015) com metabolismo C4 (Taiz; Zeiger, 2013), o que lhe confere alta adaptação ao déficit hídrico e a altas temperaturas, além de tolerância a solos ácidos, salinos e de baixa fertilidade. Trata-se de uma cultura de baixo custo de implantação (Cervelin *et al.*, 2016), com excelente produção de biomassa e sementes, e amplamente adaptada à mecanização (Teodoro *et al.*, 2015). A espécie apresenta resposta à adubação nitrogenada. O nitrogênio atua no metabolismo da planta na síntese de proteínas e clorofila, o que, aliado à sua alta eficiência fotossintética, eleva a produtividade de biomassa verde (Vilela *et al.*, 2012; Gomide; Paciullo; Martins, 2020) e a qualidade bromatológica da forragem. Consequentemente, permite o uso de taxas de lotação mais elevadas nas pastagens, sem prejudicar o ganho de peso médio diário dos animais (Moojen *et al.*, 1999).

Apesar das respostas positivas do milheto ao nitrogênio, as altas produtividades dependem de manejos fitossanitários e nutricionais adequados (Pereira Filho, 2009), além das condições climáticas e de solo. Assim como no sistema de produção pecuária, a viabilidade econômica deve ser buscada analisando-se o ponto de equilíbrio entre o custo e a produtividade. Além disso, elevadas

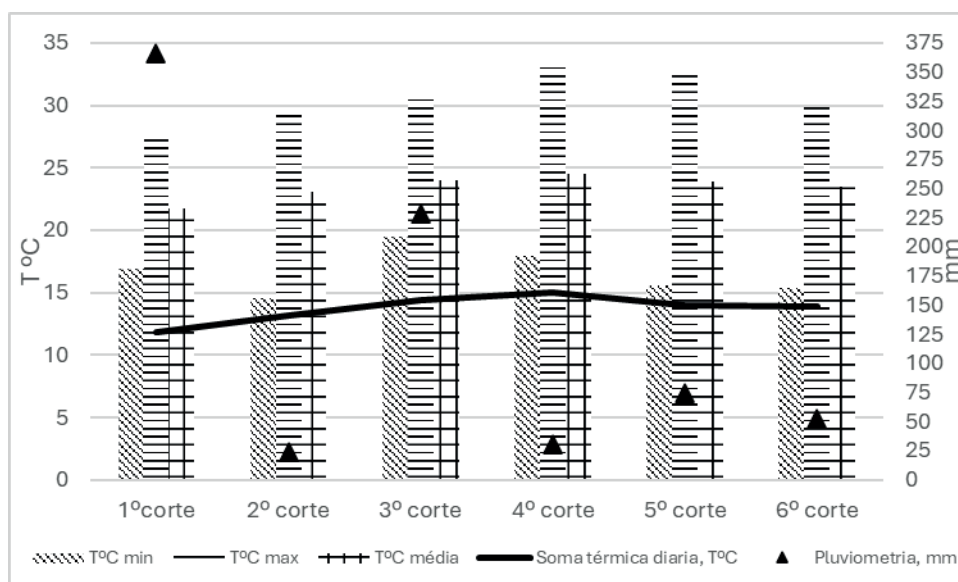
dosagens de nitrogênio podem afetar negativamente a qualidade do ambiente e promover o antagonismo desse elemento com outros nutrientes (Teodoro *et al.*, 2015), dentre eles o magnésio (Mg), o cálcio (Ca) e o potássio (K). Isso ocasiona uma inibição competitiva, o que implica menores produtividades (Correa, 2015).

O objetivo do trabalho é avaliar diferentes doses de nitrogênio e a interferência das somas térmicas na produção de biomassa verde e seca da cultura do milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R.br.).

2 METODOLOGIA

O experimento foi realizado no município de Três Cachoeiras- RS, nas coordenadas 29°28'17.2"S 49°55'59.1"W. O tipo de solo foi identificado como Neossolo Quartzarenico órtico, segundo GEOInfo (2023). O clima do local é classificado como subtropical úmido (Cfa), conforme Köppen e Geiger (1936) apud Lima *et al.* (2023), com temperatura média anual de 18,8°C e pluviosidade média anual de 2.294 mm. Os dados meteorológicos de temperatura mínima, máxima e média (em °C), pluviosidade (em mm), e de soma térmica (graus-dia) no decorrer do período experimental foram obtidos em CLIMATE DATA (2025) e estão representados na figura 1.

Figura 1 - Dados meteorológicos observados no período da implantação e determinação da produção de biomassa verde e seca da cultura do milheto.



Fonte: CLIMATE DATA, 2025

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, contendo quatro blocos, com quatro tratamentos e quatro repetições, totalizando 16 parcelas. Cada parcela possuía 6 m² e eram separadas por faixas de 0,5 m para evitar contaminação entre os tratamentos. Os tratamentos consistiram em diferentes proporções da dose de nitrogênio recomendada (NR), pela Comissão de

Química e Fertilidade do Solo (CQFS, 2016), em que o tratamento 50 NR representou 50% da dose recomendada, 100 NR representou 100%, 150 NR representou 150% e 200 NR representou 200% da dose recomendada para a cultura do milho.

A correção do solo com calcário de PRNT 75%, foi realizada conforme a recomendação do CQFS (2016), na dose de 3.200 kg.ha⁻¹, após a subsolagem. A implantação da cultura do milho ocorreu no mês de novembro, com a gradagem do solo e a utilização de 20 kg.ha⁻¹ de sementes da cultivar BRS 1501®, adicionando-se mais 10% para correção da pureza e germinação, o que totalizou 22 kg.ha⁻¹ (Sementes Renascer, 2018). O plantio foi realizado a lanço, com cobertura das sementes por meio de parcagem, utilizando 0,462 kg em uma área de 210 m². Essa área foi subdividida em quatro blocos, nos quais cada bloco abrigou uma parcela de cada tratamento. Entre os blocos, foi deixado um espaçamento de um metro, e entre os tratamentos, um espaçamento de 0,5 metros. Após a germinação, as parcelas de 6 m² foram determinadas aleatoriamente dentro de cada bloco.

Optou-se por seguir as recomendações do CQFS (2016) para gramíneas de estação quente, incluindo a cultura do milho BRS 1501®, devido à sua ampla aceitação para solos da região Sul do Brasil, sendo compatível com as condições observadas na área experimental. a exigência de nitrogênio para a cultura foi de 200 kg.ha⁻¹. A análise de solo da tabela 1 mostrou que os níveis de P e K foram classificados como altos, e as exigências para a cultura do milho foram de 80 kg.ha⁻¹ de P e 100 kg.ha⁻¹ de K. Para a adubação de base, foi utilizada a formulação 04-20-20 de N:P:K na quantidade de 400 kg.ha⁻¹, fornecendo 16 kg.ha⁻¹ de N, 80 kg.ha⁻¹ de P e 80 kg.ha⁻¹ de K. O restante do K necessário para o desenvolvimento da cultura foi aplicado na forma de cloreto de potássio, na quantidade de 33,35 kg.ha⁻¹, distribuído na área quando a cultura apresentou a 5ª ou 6ª folha, juntamente com a 1ª dose de nitrogênio.

Tabela 1 - Análise de solo da area experimental.

Argila %	pH SMP	pH H ₂ O	M.O. (%)	P mg.dm ⁻³	K mg.dm ⁻³	Al ---Cmolc.dm ⁻³ ---	Ca mg.dm ⁻³	Mg mg.dm ⁻³	CTC cmolc.dm ⁻³	%SAT V	m
14	6,0	5,5	2,3	67,7	84,0	40,6	9,0	31,1	9,0	51,4	11,5

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

A adubação nitrogenada de cobertura variou conforme os tratamentos, com a aplicação subdividida em quatro aplicações de ureia comum (46-00-00). No tratamento com 50% do nitrogênio recomendado (NR), a aplicação foi de 0,115 kg na parcela, perfazendo 0,028 kg por aplicação. No tratamento 100% do NR, a dose total foi de 0,250 kg na parcela, perfazendo 0,063 kg por aplicação. No tratamento 150% do NR, a aplicação foi de 0,387 kg por parcela, perfazendo 0,097 kg por aplicação. No tratamento 200% do NR, a aplicação foi de 0,523 kg na parcela, perfazendo 0,131 kg por aplicação.

Para a determinação das somas térmicas (ST) em cada ciclo de corte utilizou-se a fórmula:

$$ST = \sum (\text{temperatura média diária} - \text{temperatura base, em } ^\circ\text{C}), \text{ por dia.}$$

Onde as temperaturas de base utilizadas foram de 10 °C (Costa *et al.* 2005) e de 15,5°C (Costa; Priesnitz, 2014) verificando qual se ajustava melhor ao modelo de correlação com a produção da biomassa verde e seca e as doses de nitrogênio.

As produções de biomassa verde e de biomassa seca foram analisadas quando as plantas após 40 dias atingiram a altura de 80 cm. Foram realizados três cortes por parcela utilizando-se um quadrado de 0,25 m², sempre que as plantas atingiram a altura de 80 cm, deixando altura residual de 20 cm do solo. As amostras foram separadas em sacos de papel Kraft, identificando o tratamento e a subparcela do corte, para determinação da produção de biomassa verde. Para isso, foi utilizada uma balança digital com precisão de 1 g. Após a pesagem, foi realizada uma amostra composta da parcela, que foi colocada em uma Air Fryer a 105°C, entre 45 e 60 minutos, até a amostra apresentar peso constante, determinando a biomassa seca (Falchi; Ferreira, 2018).

Os resultados obtidos da produtividade de biomassa verde e biomassa seca, em kg.ha⁻¹, foram submetidos à análise de variância ao nível de 5% de significância, testando-se a interação entre os tratamentos e os períodos. Quando a variância foi significativa, as médias foram analisadas pelo teste de Tukey a 5%. Além disso, foram realizadas a correlação de Pearson e a análise de regressão entre a produção de biomassa verde e de biomassa seca em razão das doses de nitrogênio e das somas térmicas (em °C) para a cultura do milho.

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

O experimento foi conduzido no período de 12/11/2023 a 06/04/2024. Durante o desenvolvimento da cultura, foram realizadas seis coletas nas seguintes datas: 21/12/2023, 03/01/2024, 25/01/2024, 14/02/2024, 09/03/2024 e 06/04/2024. A precipitação total acumulada no período avaliado foi de 775,20 mm. A soma térmica registrada foi de 1.985,12 graus-dia (temperatura-base de 10 °C), conforme Costa *et al.* (2005), e de 1.193,14 graus-dia (temperatura-base de 15 °C), segundo Costa; Priesnitz (2014).

Os dados de precipitação, soma térmica e temperatura apresentam as médias correspondentes a cada corte realizado durante o experimento. Foi realizada a correlação entre os tratamentos e a soma térmica em °C (Tabela 2), na qual as correlações foram inversas e não significativas ($P > 0,05$) entre a produção de biomassa verde e biomassa seca em relação à soma térmica na base de 10 °C (Costa *et al.*, 2005) e 15 °C (Costa; Priesnitz, 2014). A exceção ocorreu quando a dosagem de nitrogênio aplicada foi de 200% da dose recomendada, demonstrando que a soma térmica não foi suficiente para melhorar a produtividade de biomassa verde e seca, apresentando correlação fortemente negativa de -0,9347 ($P = 0,0064$) considerando a base de 10 °C da soma térmica, e de -0,9483 ($P = 0,0039$) considerando a base de 15 °C.

Tabela 2 - Correlação da produção de biomassa verde (BMV) e biomassa seca (BMS) entre a recomendação da dose de nitrogênio de cobertura de 50%, 100%, 150% e 200% e a soma térmica em °C.

Tratamentos	50%		100%		150%		200%	
	BMV	BMS	BMV	BMS	BMV	BMS	BMV	BMS
Soma térmica 10°C								
r ²	-0,4878	-0,5284	-0,3708	-0,1761	-0,6538	-0,2951	-0,9347	-0,6291
P	0,3262	0,2812	0,4693	0,7386	0,1591	0,5702	0,0064	0,1809
Soma térmica 15,5°C								
r ²	-0,4821	-0,5492	-0,289	-0,1946	-0,5653	-0,2490	-0,9483	-0,6812
P	0,3329	0,2590	0,5785	0,7118	0,2424	0,6342	0,0039	0,1362

Fonte: Autores (2025).

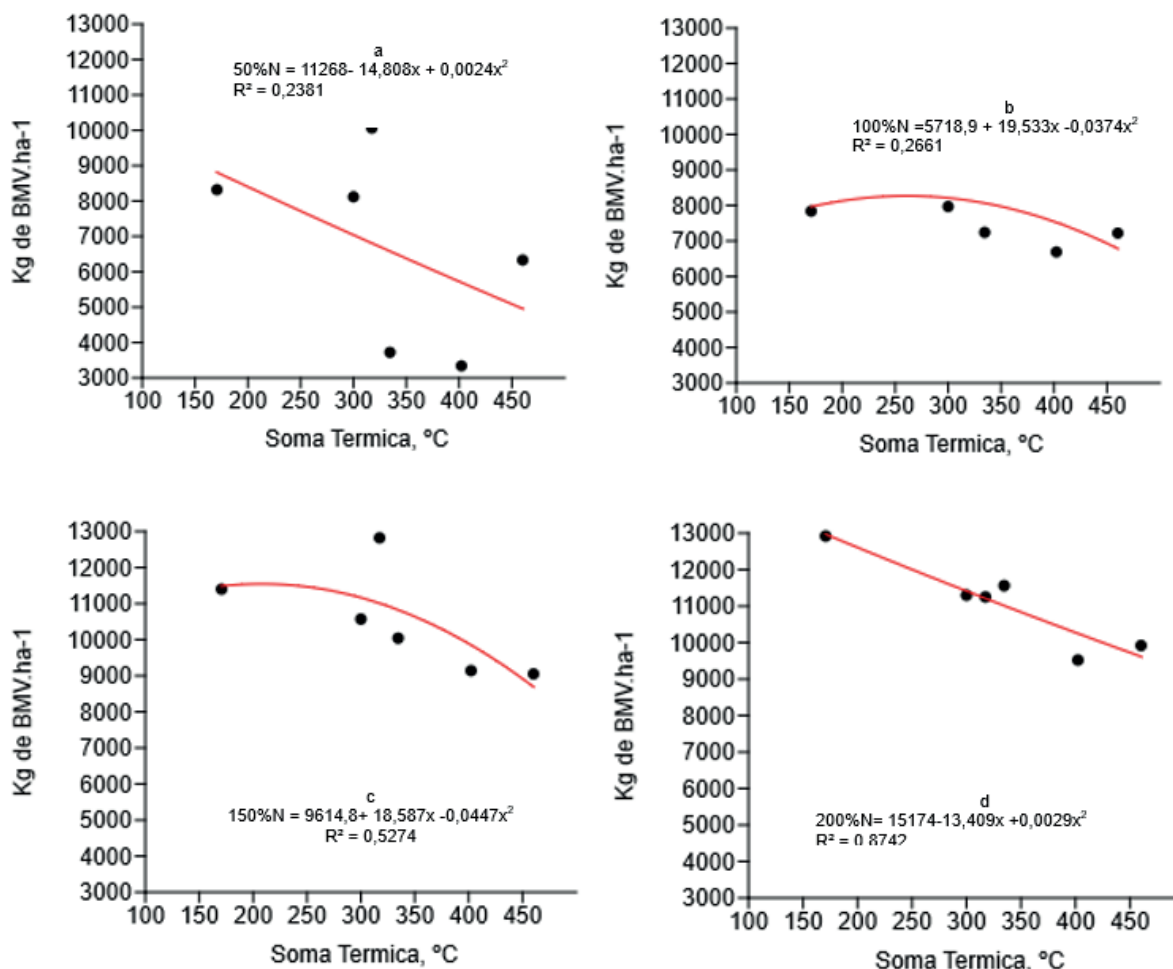
A aplicação de doses superiores a 150% e 200% e inferiores a 50% da recomendada resultou em correlações negativas mais acentuadas do que a dosagem padrão de 100% da recomendação de nitrogênio, indicando que tanto o excesso quanto a redução do nitrogênio prejudicam a produção de biomassa. Isso sugere que há um intervalo ótimo para a aplicação de nitrogênio para otimizar o rendimento sem prejudicá-lo, corroborando Heringer; Moojen (2002), Garrone *et al.* (2016) e De Faria Melo *et al.* (2025).

Segundo De Faria Melo *et al.* (2025), compreender a dinâmica da absorção e mobilidade do nitrogênio pela forrageira e os riscos de perdas relacionados à sua mobilidade em distintos solos é essencial para otimizar a produtividade, principalmente quando se utilizam doses fora das recomendadas. A nitrificação, por sua vez, é o processo pelo qual o nitrogênio presente no solo é convertido em nitrato, uma forma que as plantas conseguem absorver facilmente, mas que, se acumulada em excesso na planta forrageira, pode trazer riscos (De Faria Melo *et al.*, 2025).

Doses elevadas de nitrogênio podem favorecer o acúmulo de nitrato tanto no solo quanto nas plantas, levando à intoxicação dos animais que consomem essas forragens (Jönck *et al.*, 2013). A intoxicação por nitrato em animais pode causar sintomas graves, como dificuldade respiratória, fraqueza, redução do desempenho produtivo e, em casos extremos, até a morte. Por isso, é fundamental monitorar os níveis de nitrato nas plantas forrageiras para garantir a segurança animal (Medeiros *et al.*, 2003; Jönck *et al.*, 2013).

A correlação reflete-se no coeficiente de determinação das equações de regressão. Isso resulta em equações quadráticas negativas para a produção de biomassa verde (kg.ha⁻¹) nas das doses de nitrogênio em cobertura de 50%, 100%, 150% e 200%, da recomendação, em função da soma térmica em °C (Figura 1).

Figura 1 - Equações de regressão para a produção da biomassa verde em kg.ha-1 conforme a recomendação da dose de nitrogênio em cobertura de 50%(a); 100%(b); 150%(c) e 200%(d) e a soma térmica em °C.



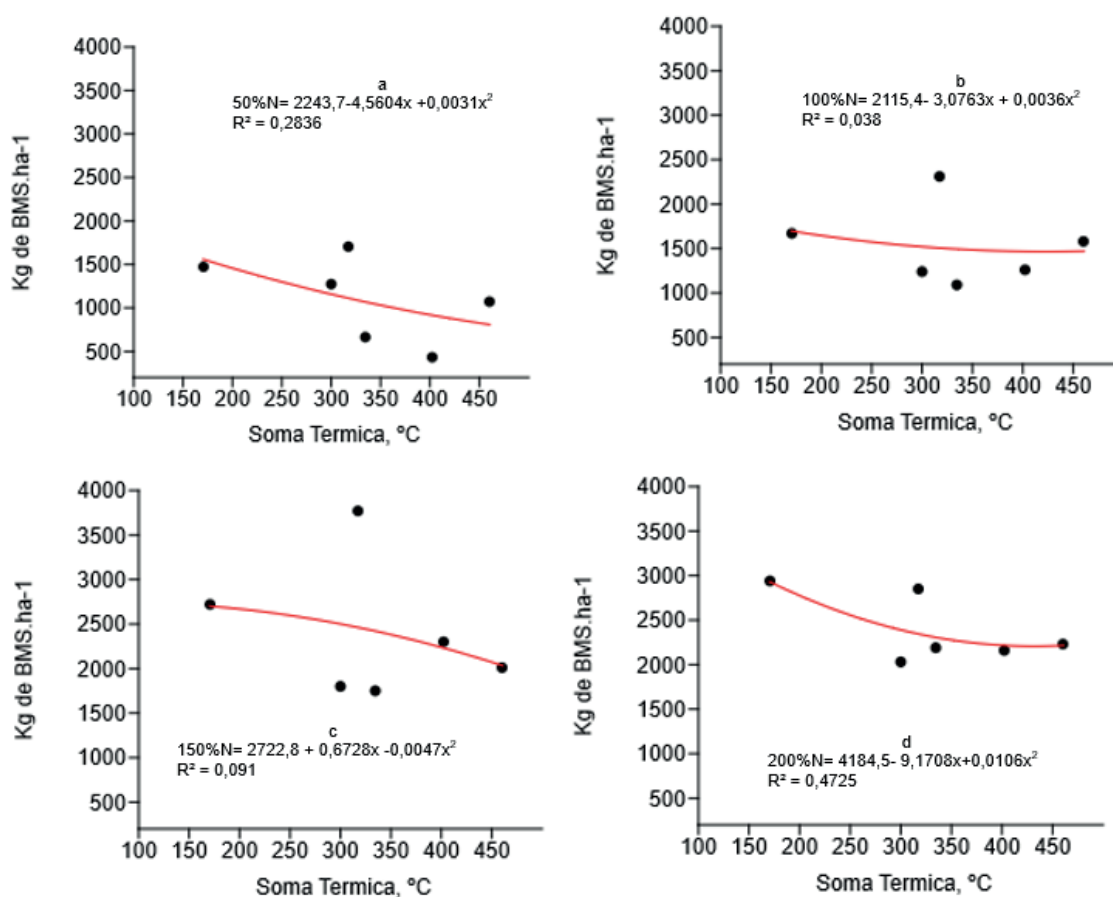
Fonte: Autores (2025).

Considerando a soma térmica, a equação de regressão com melhor ajuste para a produção de biomassa verde (BMV, em kg.ha⁻¹) na cultura do milho foi obtida na dose de 200% da recomendação de nitrogênio (Figura 2d). Esse tratamento apresentou um coeficiente de determinação R² de 0,8742, ajustando-se ao modelo %N = 15174 - 13,409x + 0,0029x². As demais doses de N avaliadas para a produção de BMV apresentaram baixos coeficientes de determinação: R² = 0,2381 para a dose de 50% (Figura 2a); R² = 0,2661 para 100% (Figura 2b); e R² = 0,5274 para 150% (Figura 2c).

Dados obtidos por Costa *et al.* (2005) mostram que o milho BRS 1501, quando plantado no mês de janeiro, teve desempenho inferior a outras variedades de milho, apresentando menor altura e ciclo vegetativo e de floração mais curtos, o que comprometeu a produção de biomassa verde e seca. Esse resultado pode estar relacionado ao excesso de água no solo durante o período de plantio em janeiro, uma vez que o milho é adaptado a ambientes mais secos e pode ter seu desenvolvimento prejudicado em condições de alta umidade, podendo vegetar em regiões com precipitações anuais menores que 300mm (Landau; Pereira Filho, 2009).

Na figura 2 estão representadas as equações de regressão para a produção de biomassa seca conforme a recomendação da dosagem de nitrogênio e a soma térmica, em que é observado baixo coeficiente de determinação em todas as dosagens. É possível observar que, em todas as dosagens avaliadas, os modelos apresentaram baixos coeficientes de determinação (R^2).

Figura 2 - Equações de regressão para a produção da biomassa seca em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ conforme a recomendação da dose de nitrogênio de cobertura de 50%(a); 100%(b); 150%(c) e 200%(d) e a soma térmica em $^{\circ}\text{C}$.

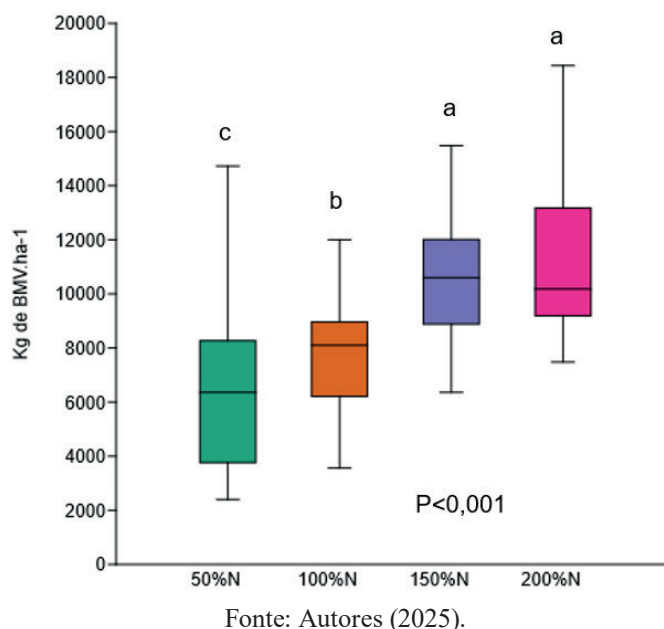


Fonte: Autores (2025).

Durante o ciclo do experimento, houve acúmulo total de 775,2 mm de precipitação. Desse total, 375 mm ocorreram entre a semeadura e o primeiro corte, representando 48,37% do volume total. O elevado índice pluviométrico resultou em significativo encharcamento do solo, prejudicando o desenvolvimento do milho e resultando em impacto negativo na produção de biomassa verde (Figura 1) e biomassa seca (Figura 2). Segundo Lee *et al.* (2004), solos encharcados diminuem o enraizamento das plantas, o que pode alterar negativamente os níveis de proteína no grão e os rendimentos de biomassa. Esses efeitos foram observados no presente experimento, onde o excesso hídrico prejudicou o desenvolvimento do milho.

A aplicação de diferentes doses de nitrogênio (50%, 100%, 150% e 200%) na cultura do milho resultou em variações significativas ($P < 0,001$) na produção de biomassa verde por hectare (Figura 3).

Figura 3 - Produção média, erro padrão da produção em kg de biomassa verde por hectare (kg de BMV.ha⁻¹) conforme a recomendação da dose de nitrogênio de cobertura de 50%; 100%; 150% e 200%.

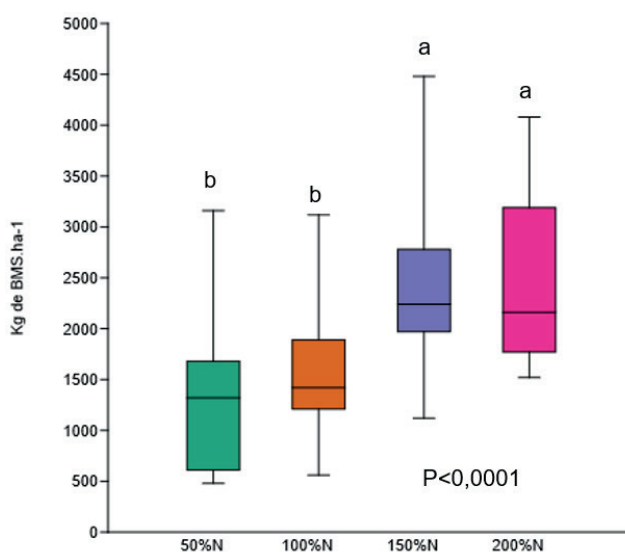


Os valores máximos observados foram de 14.720; 12.000; 15.480 e 18.440 kg.ha⁻¹ de BMV para as doses de nitrogênio de 50%, 100%, 150% e 200% da recomendação, respectivamente. Por sua vez, os valores mínimos foram de 2.400; 3.560; 6.360 e 7.480 kg ha⁻¹ de BMV para as mesmas dosagens, respectivamente. A média da produção de BMV (kg.ha⁻¹) apresentou diferença significativa ($P < 0,001$) entre os tratamentos, em que as dosagens de nitrogênio de 150% e 200% da recomendação foram superiores à dosagem de 100%, e essa, superior à dosagem de 50%.

Dados obtidos por Jornada *et al.* (2005) mostraram que o aumento das doses de nitrogênio na cultura do milho eleva a produção de biomassa verde e seca. No entanto, no experimento realizado, o aumento da irrigação não interferiu nas variáveis analisadas, indicando que o excesso hídrico não potencializa a cultura, podendo prejudicá-la. Porém, as dosagens acima da recomendação não afetaram negativamente a produção de biomassa verde. Isso indica que não houve inibição competitiva do nitrogênio com outros nutrientes, como relatado por Teodoro *et al.* (2015). O fator limitante observado foi o custo econômico do nitrogênio no momento da aplicação.

Comportamento semelhante foi observado quanto à produção em kg de biomassa seca por hectare (kg.ha⁻¹ de BMS) conforme a recomendação da dose de nitrogênio de cobertura de 50%, 100%, 150% e 200%, demonstrado na figura 4. Porém, as dosagens de 50% e 100% apresentaram produção semelhante ($P > 0,05$) entre si, com valores de 1.362,10 e 1.574,73 kg.ha⁻¹, respectivamente. Mas ambas apresentaram produção significativamente menor que as doses de 150% e 200% ($P < 0,0001$), apresentando valores de produção de biomassa seca de 2.135,79 e 2.212,63 kg.ha⁻¹, respectivamente.

Figura 4 - Produção média, erro padrão da produção em kg de biomassa seca por hectare (kg de BMS.ha⁻¹).



Fonte: Autores (2025).

No trabalho conduzido por Guideli *et al.* (2000), os autores relatam que as maiores doses de nitrogênio ocasionam aumento de BMV e BMS apenas no primeiro corte do milho; a partir do segundo corte, não foram observadas diferenças significativas na produção.

Tabela 3 - Produção média e significância da produção de Biomassa verde kg.ha⁻¹ do milho nas doses 50, 100, 150 e 200% da recomendação.

Trat.	Bloco I	Bloco II	Bloco III	Bloco IV	Média	P
50%	4.580±2.227c	7.027±3.049	6.920±3.059c	8.067±4.319	6.648±3314c *	0,3289
100%	7.780±1.410b	7.880±1.286	8.667±1.801bc	6.800±3.347	7.782±2095b*	0,5206
150%	10.973±1.609Aab	9.407±1.286AB	12.433±2.294Aab	9.200±1.518B	10.503±2.272a*	0,0337
200%	11.240±1.757Aba	9.120±1.022B	13.647±3.402Aa	10.307±2.301AB	11.078±2.729a*	0,0184
Média	8.643±3.243	8.358±2.176	10.417±3.764	8.593±3.148		0,0928
P	<0,0001	0,2001	0,0010	0,2576	P<0,001	

Letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha representam diferença pelo teste de Tukey a 5%.

Letras minúscula com * diferenciam pelo teste de Tukey a 5%

Fonte: Autores (2025).

Para a biomassa seca, as equações geradas pelas dosagens de 50%, 100%, 150% e 200% da dose recomendada pelo CQFS (2016) para a cultura do milho apresentaram baixo coeficiente de determinação em relação às observações nos períodos de avaliação. O baixo coeficiente de determinação indica que as equações não conseguem prever com precisão a produção de biomassa seca a partir das diferentes dosagens de N, possivelmente devido à variabilidade dos dados ou a fatores não considerados no modelo. Na tabela 3, pode-se visualizar como as doses de 150% e 200% de nitrogênio ocasionaram as maiores produções de biomassa verde na cultura. Apesar do aumento significativo na produção de biomassa verde com as doses de 150% e 200% de N, esse padrão não se repetiu para a biomassa seca, evidenciando diferenças no aproveitamento do nitrogênio pelas plantas.

Existem estudos indicando que doses maiores de nitrogênio por hectare promovem incremento na produção de biomassa seca, já que o nitrogênio extra mineraliza a matéria orgânica do solo, disponibilizando mais nutrientes para as plantas (Buso *et al.*, 2016). As perdas por volatilização e lixiviação da ureia são citadas como vias de perda de nitrogênio, porém, a volatilização de amônia (NH₃) após a aplicação de ureia é um fator crucial a ser considerado no manejo desse nutriente (De Faria Melo *et al.*, 2025).

A volatilização é diretamente influenciada pela umidade do solo e pela precipitação. Solos úmidos, especialmente quando a chuva ocorre logo após a aplicação da ureia, aumentam significativamente as perdas de nitrogênio devido à rápida hidrólise do fertilizante. Por outro lado, em solos secos, o pico de volatilização ocorre mais tarde, resultando em menores perdas de N (Longhini, 2024). Esse efeito pode explicar as maiores produções observadas com doses elevadas de nitrogênio, pois, mesmo com perdas por volatilização, a quantidade de N que permanece no solo é suficiente para garantir que a cultura aproveite melhor o nutriente, impulsionando o crescimento e a produção de biomassa. Buso *et al.* (2016) demonstraram que, mesmo com perdas de até 30% por volatilização após a aplicação de ureia, doses de 120 kg ha⁻¹ de N resultam em aumentos expressivos de biomassa em culturas como o milho.

À medida que a planta avança para estágios como o perfilhamento e o alongamento do colmo, a presença contínua de nitrogênio garante maior produção de folhas e crescimento vegetativo. Essa dinâmica sugere que, ainda que parte do nitrogênio seja perdida para a atmosfera, a fração que permanece disponível no solo é suficiente para promover ganhos substanciais no crescimento das plantas. Esses dados são fundamentados em experimentos conduzidos por Buso *et al.* (2016), que avaliaram o impacto da adubação nitrogenada nas frações de carboidratos e proteínas do milho.

4 CONCLUSÕES

O aumento das doses de nitrogênio tem impacto direto na produção de biomassa do milho. Até 100% da dose recomendada, houve aumento significativo na biomassa. No entanto, doses acima desse limite apresentaram efeitos negativos, possivelmente devido à intoxicação e à redução na eficiência de uso do nutriente. Além disso, o excesso de chuva contribuiu para o encharcamento do solo, prejudicando o desenvolvimento da cultura. Portanto, é essencial otimizar o manejo da adubação, adotando estratégias que minimizem as perdas de nitrogênio, tais como parcelamento das dosagens e monitoramento climático, para garantir a máxima produtividade.

REFERÊNCIAS

- BUSO, W. H. *et al.* Efeitos da adubação nitrogenada nas frações de carboidratos e proteínas em cultivares de milho (*Pennisetum glaucum*). **Pastagens Tropicais**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 47-53, 2016. DOI: [https://doi.org/10.17138/tgft\(4\)47-53](https://doi.org/10.17138/tgft(4)47-53).
- CERVELIN, V. M. M. *et al.* Cultura do milho. **Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas da Fait**, Itapeva, n. 2, p. 1-9, nov. 2016. ISSN: 1806-6933. Disponível em: http://fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/mByxecr69an1P20_2020-7-29-16-52-41.pdf. Acesso em: 20 maio 2024.
- CLIMATE DATA. **Clima Três Cachoeiras (Brasil)**. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-grande-do-sul/trescachoeiras-43867/>. Acesso em: 16 ago. 2025.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC (CQFS). **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2016. 376 p.
- CORREA, A. C. D. **Doses e formas de nitrogênio na nutrição, produção e estresse oxidativo do capim Tanzânia**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015. DOI: 10.11606/D.11.2015.tde-16112015-162256.
- COSTA, A. C. T. da *et al.* Somas térmicas e produtividade em genótipos de milho semeados em duas épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1171-1177, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2005001200003>.
- COSTA, A. C. T. da; PRIESNITZ, R. Influência do arranjo espacial do milho em relação aos estádios fenológicos e somas térmicas. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 7, n. 1, p. 37-47, 2014. Disponível em: <https://rv.ifgoiano.edu.br/periodicos/index.php/gst/article/view/580>. Acesso em: 04 maio 2024.
- DE FARIA MELO, C. C. *et al.* Silicon reduces nitrogen stress and improves growth and yield of forage grass under excessive fertilization in tropical soils. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 15, n. 24835, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-03551-1>.
- FALCHI FILHO, D.; FERREIRA, J. D. J. Air Fryer: um método alternativo e prático para estimar a matéria seca de alimentos volumosos utilizados em confinamentos. **Blog Nutron**, [S. l.], 2018. Disponível em: <https://blog.nutron.com.br/air-fryer-metodoalternativo-para-estimar-a-materia-seca-em-confinamentos-bovinos-de-corte/>. Acesso em: 30 maio 2024.

GARRONE, R. F. *et al.* Produção de biomassa, diagnose nutricional e absorção de nitrogênio e cálcio durante crescimento inicial do pinhão-manso. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 1, p. 22-31, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160003>.

GEOINFO. **Mapa de solos do Brasil**. [S. l.]: Embrapa, 2023. Disponível em: https://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode/%3Abrasil_solos_5m_20201104. Acesso em: 13 maio 2024.

GOMIDE, C. A. de M.; PACIULLO, D. S. C.; MARTINS, C. E. **Momento da adubação nitrogenada em pastagens intensivamente manejadas**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2020. 18 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1126990/1/CT125-Adubacao-nitrog-pastagens.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2024.

GUIDELI, C.; FAVORETTO, V.; MALHEIROS, E. B. Produção e qualidade do milho semeado em duas épocas e adubado com nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 10, p. 2093-2098, out. 2000. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2000001000022>.

HERINGER, I.; MOOJEN, E. L. Potencial produtivo, alterações da estrutura e qualidade da pastagem de milho submetida a diferentes níveis de nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 875-882, 2002. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-35982002000400010>.

JÖNCK, F. *et al.* Intoxicação espontânea e experimental por nitrato/nitrito em bovinos alimentados com *Avena sativa* (aveia) e/ou *Lolium spp.* (azevém). **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 33, n. 9, p. 1062-1070, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2013000900003>.

JORNADA, B. da *et al.* Efeito da irrigação, épocas de corte da forragem e doses de nitrogênio sobre o rendimento de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 27, n. 2, p. 50-58, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-31222005000200008>.

LANDAU, E. C.; PEREIRA FILHO, I. A. **Cultivo do Milho: clima**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27379/1/Clima.pdf>. Acesso em: 02 maio 2024.

LEE, D. *et al.* **Pearl Millet for Grain**. [S. l.]: University of Georgia; USDA-ARS, 2004. Disponível em: https://secure.caes.uga.edu/extension/publications/files/pdf/B%201216_4.PDF. Acesso em: 04 jul. 2025.

LIMA, R. F. de *et al.* Climate Change Assessment in Brazil: Utilizing the Köppen-Geiger (1936) Climate Classification. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 38, e38230001, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863810001>.

LONGHINI, V. Z. *et al.* Mathematical models for adjustments in the quantification of ammonia volatilization from urea fertilizer applied on tropical pastures. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 54, n. 5, p. 1-10, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20230230>.

MEDEIROS, R. M. T. *et al.* Intoxicação por nitratos e nitritos em bovinos por ingestão de *Echinochloa polystachya* (capim-mandante) e *Pennisetum purpureum* (capim-elefante) no sertão da Paraíba. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, p. 17-20, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2003000100004>.

MOOJEN, E. L. *et al.* Produção animal em pastagem de milho sob diferentes níveis de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 11, p. 2145-2149, 1999. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x1999001100022>.

PEREIRA FILHO, I. A. **Cultivo do Milheto**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 116 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/580406>. Acesso em: 01 de maio 2024.

RIBEIRO, C. V. D. M. *et al.* Substituição do grão de milho pelo milheto (*Pennisetum americanum*) na dieta de vacas holandesas em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1351-1359, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982004000500030>.

SEMENTES RENASCER. Milheto BRS 1501. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://www.sementesrenascer.com.br/produto.aspx?t=milheto-brs-1501>. Acesso em: 01 maio 2024.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TEODORO, P. E. *et al.* Preparação do solo e da adubação azotada nos componentes produtivos do milheto. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 38, n. 3, p. 305-309, 2015. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/16934>. Acesso em: 23 mar. 2024.

VILELA, R. G. *et al.* Manejos do milheto e doses de nitrogênio na cultura do milho em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 11, n. 3, p. 234-242, 2013.