

Crescimento e trocas gasosas em milho sob diferentes doses e fontes de nitrogênio

Growth and gas exchange in millet under different doses and sources of nitrogen

Crecimiento e intercambio gaseoso de mijo fertilizado con diferentes dosis y fuentes de nitrógeno

Recebido: 27/05/2020 | Revisado: 28/05/2020 | Aceito: 30/05/2020 | Publicado: 16/06/2020

João Guilherme Justino da Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5664-7191>

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Brasil

E-mail: joaosabido12@gmail.com

Silas Primola Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0577-1563>

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Brasil

E-mail: silas.primola@unilab.edu.br

Geocleber Gomes de Sousa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1466-6458>

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Brasil

E-mail: sousagg@unilab.edu.br

Jefte Arnon de Almeida Conrado

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9470-0416>

Universidade Federal do Ceará, Brasil

E-mail: jefte_arnon@hotmail.com

Andrey Lohan Barbosa Albuquerque

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7975-6745>

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Brasil

E-mail: abcsc1997@gmail.com

Patrícia Guimarães Pimentel

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6037-5232>

Universidade Federal do Ceará, Brasil

E-mail: pgpimentel@hotmail.com

Amanda Cardoso Rocha

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3627-3353>

Universidade Federal do Ceará, Brasil

E-mail: amandarocha0796@gmail.com

Henderson Castelo Sousa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6588-6832>

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Brasil

E-mail: castelohenderson@gmail.com

Resumo

Objetivou-se avaliar o crescimento, a produção de matéria seca (PMS) e as trocas gasosas do milheto, em função de diferentes doses e fontes de nitrogênio. O delineamento foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 2, sendo cinco doses de nitrogênio (40; 60; 80; 100 e 120 kg ha⁻¹ de N) e duas fontes de N (ureia e sulfato de amônio). As avaliações foram realizadas aos 60 e 85 dias após a semeadura (DAS). As variáveis área foliar (AF), altura de plantas (AP) e PMS aos 60 e 85 DAS e o diâmetro do colmo (DC aos 85 DAS) foram influenciadas pela interação fontes e doses de N. O DC aos 60 DAS sofreu influência somente das doses. A condutância estomática –(gs) e o teor de clorofila foram influenciados pela interação fontes e doses, enquanto que a taxa de assimilação de CO₂ (A) e transpiração (E) foram influenciadas somente pela dose. A adubação nitrogenada, em ambas as fontes, influenciou o crescimento e a PMS do milheto, nos períodos distintos de desenvolvimento (60 e 85 DAS). A ureia mostrou melhor resposta para as trocas gasosas em relação ao sulfato de amônio, com exceção para a condutância estomática. Assim, até 60 dias após a semeadura, com a finalidade de pastejo, recomenda-se entre 60 e 80 kg ha⁻¹ de N, usando como fonte a ureia. Para a produção de silagem, dos 60 aos 85 dias após a semeadura, recomenda-se adubação entre 80 e 100 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia.

Palavras-chave: Adubação; Forragem; Fotossíntese; *Pennisetum glaucum* L.

Abstract

The objective was to evaluate growth, dry matter production (DMP) and gas exchange of millet, according to different doses and sources of nitrogen. The design was completely randomized in a 5 x 2 factorial scheme, with five nitrogen doses (40; 60; 80; 100 and 120 kg ha⁻¹ of N) and two sources of N (urea and ammonium sulfate). The evaluations were carried out at 60 and 85 days after seeding (DAS). The variables leaf area (AF), plant height (AP) and DMP at 60 and 85 DAS and stem diameter (SD at 85 DAS) were influenced by the interaction

of N sources and doses. The SD at 60 DAS was influenced only doses. Stomatal conductance (gs) and chlorophyll content were influenced by the interaction between sources and doses, while the rate of CO₂ assimilation (A) and transpiration (E) were influenced only by the dose. The nitrogen fertilization, in both sources, influenced the growth and the DMP of the millet, in the different periods of development (60 and 85 DAS). Urea showed a better response to gas exchange than ammonium sulfate, except for stomatal conductance. Thus, up to 60 days after seeding, for grazing purpose, between 60 and 80 kg ha⁻¹ of N is recommended, using urea as the source. For the silage production, from 60 to 85 days after seeding, fertilization between 80 and 100 kg ha⁻¹ of N in the form of urea is recommended.

Keywords: Fertilization; Forage; *Pennisetum glaucum* L; Photosynthesis.

Resumen

El objetivo fue evaluar el crecimiento, la producción de materia seca (PMS) y el intercambio de gases del mijo, dependiendo de las diferentes dosis y fuentes de nitrógeno. El diseño fue completamente al azar, con cinco dosis de nitrógeno (40; 60; 80; 100 y 120 kg ha⁻¹ de N) y dos fuentes de N (urea y sulfato de amonio). Las evaluaciones se llevaron a cabo a los 60 y 85 días después de la siembra (DDS). Las variables área foliar (AF), altura de la planta (AP) y PMS a 60 y 85 DDS y diámetro del tallo (DT a 85 DDS) fueron influenciadas por las fuentes y las dosis de N. La DT a 60 DDS fue influenciada solamente dosis. Conductancia estomática (gs) y el contenido de clorofila fueron influenciados por las fuentes y las dosis, mientras que la tasa de asimilación de CO₂ (A) y la transpiración (E) fueron influenciadas solo por la dosis. La fertilización nitrogenada, en ambas fuentes, influyó en el crecimiento y el PMS del mijo, en los diferentes períodos (60 y 85 DDS). La urea mostró una mejor respuesta al intercambio de gases en comparación con el sulfato de amonio, excepto por la gs. Por lo tanto, hasta 60 DDS, con fines de pastoreo, se recomiendan entre 60 y 80 kg ha⁻¹ de N, utilizando urea como fuente. Para la producción de ensilaje, de 60 a 85 DDS, se recomienda la fertilización entre 80 y 100 kg ha⁻¹ de N en forma de urea.

Palabras clave: Fertilización; Forraje; Fotosíntesis; *Pennisetum glaucum* L.

1. Introdução

A produção de forrageiras nas regiões semiáridas do Nordeste do Brasil deve levar em consideração a fragilidade inerente ao bioma caatinga, sendo limitada, em grande parte, pela reduzida disponibilidade hídrica associada ao seu grande potencial evapotranspirativo. A

queda na produção e na qualidade das forrageiras também é decorrente da ocorrência de chuvas mal distribuídas e imprevisíveis. Todavia, o uso de espécies vegetais adaptadas a região vem representando uma forma de atenuar as limitações e garantir o sustento de rebanhos no semiárido. Diversas gramíneas vêm sendo avaliadas com o objetivo de se identificar o potencial forrageiro para a região, tais como capim-buffel (*Cenchrus ciliaris* L.), capim-corrente (*Urochloa mosambicensis* (Hack) e o sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).

Neste contexto, o milheto (*Pennisetum glaucum* L.) vem ganhando cada vez mais espaço pelo fato de ser uma planta pouco exigente em fertilidade e tolerante ao déficit hídrico, mostrando o quanto esta cultura é promissora para a produção de alimentos na região, podendo ser utilizado para pastejo, para ensilagem e produção de grãos. Outras características do milheto são o crescimento precoce, alta produção de biomassa, bom uso como cobertura verde, sistema radicular vigoroso, alta capacidade de absorção de nutrientes e elevada relação carbono/nitrogênio, fazendo com que esta espécie se sobressaia em relação à outras forrageiras (Marcante, Camacho & Paredes, 2011).

Além das condições climáticas e características do solo da região semiárida, a deficiência de nutrientes específicos no solo pode afetar o crescimento e a produtividades das forrageiras. Desta forma, a deficiência de nitrogênio (N) é um fator limitante para produção das gramíneas, podendo comprometer a expressão do potencial da forrageira (Melo, Fernandes & Galvão, 2015). Logo, a adubação de N se constitui como uma importante ferramenta para maximizar a produção de biomassa, uma vez que este nutriente é responsável pelo aumento da expansão celular, resultando no desenvolvimento da parte aérea da planta, por ser um constituinte essencial de pigmentos e proteínas, com grande efeito sobre os processos fisiológicos (Taiz, Zeiger, Moller & Murphy, 2017).

Outro aspecto importante a ser avaliado é o uso de diferentes fontes de N, uma vez que os fertilizantes possuem diversos efeitos quando aplicados ao solo em decorrência das perdas para o meio. Segundo Theago *et al.* (2014) a ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado no Brasil, por suas vantagens comparativas em termos econômico e de fabricação, porém o fertilizante apresenta limitações em sua aplicação na superfície do solo, em razão de perdas por volatilização de N amoniacal. Os mesmos autores relatam que o sulfato de amônio pode não sofrer por volatilização de N amoniacal, quando o pH é inferior a 7, contudo, tem sua eficiência reduzida basicamente pela lixiviação de nitratos. Tais diferenças precisam ser avaliadas no cultivo do milheto, como forma de aumentar a eficiência da adubação nitrogenada e o rendimento da cultura.

De acordo com Lopes *et al.* (2020), estudos sobre as trocas gasosas em forrageiras intensamente manejadas com adubação de nitrogênio são essenciais para um melhor entendimento de como a produção de biomassa ocorre. Os autores também ressaltam que estes estudos são essenciais para a definição dos níveis de fertilização que sinalizam a máxima eficiência biológica da forrageira, dada a relevância dos fatores fisiológicos para o máximo crescimento e acúmulo de forragem. Porém, avaliações da resposta fisiológica da cultura do milho à adubação, através desta técnica, ainda são escassos.

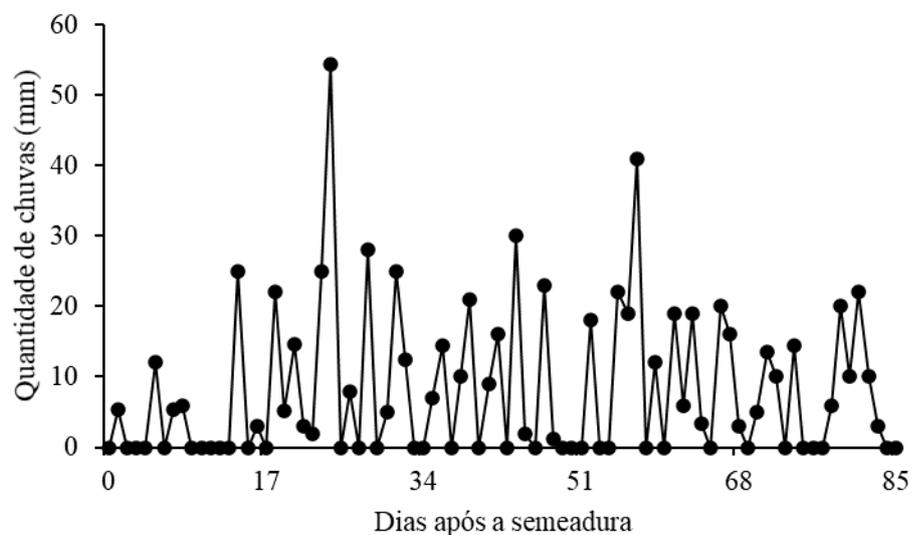
Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o crescimento, a produção de matéria seca (MS) e as trocas gasosas do milho para forragem, em função de diferentes doses e fontes de nitrogênio, cultivado no período chuvoso em condições de sequeiro.

2. Metodologia

O experimento de campo foi realizado no período de janeiro a maio de 2019, na unidade de produção de mudas (UPMA) da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira (UNILAB), no município de Redenção, estado do Ceará, Brasil (4°13'5.97"S, 38°42'46.65"O e altitude 88,8 m). O clima predominante na região é o Aw (classificação Köppen), temperatura e pluviosidade média anual de 27°C e 1062,0 mm, respectivamente.

Os dados que correspondem a precipitação pluviométrica durante o período experimental estão representados na Figura 1.

Figura 1. Quantidade de chuvas (mm) observadas durante o período experimental.



Fonte: Autor (2020)

As unidades experimentais foram compostas de vasos com volume de 25 L, onde o substrato utilizado foi obtido a partir da mistura de arisco, areia e esterco bovino na proporção 4:3:1, respectivamente. Os resultados da análise química do substrato antes da aplicação dos tratamentos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do substrato.

MO	N	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	C/N	pH	V
(g dm ⁻³)		(mg dm ⁻³)					(cmol _c dm ⁻³)				H ₂ O (%)
11,9	0,41	16,0	0,14	4,5	1,9	0,26	1,98	0,2	9,0	6,6	77

Fonte: Autor (2020).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com seis repetições, em esquema fatorial 5 x 2, cujos fatores foram cinco doses de nitrogênio (40; 60; 80; 100 e 120 kg ha⁻¹ de N) e duas fontes de N (ureia contendo 45% de N e sulfato de amônio contendo 20% de N). Para as adubações de P e K foram adotadas as doses de 30 kg ha⁻¹ e 40 kg ha⁻¹, respectivamente, utilizando superfosfato simples (18% de P) e cloreto de potássio (60% de K). As doses de N, P e K foram definidas considerando-se as recomendações de Pereira Filho *et al.* (2003), com base no uso do milho para fins de pastejo ou silagem, sendo aplicadas via fertirrigação.

A cultivar de milho utilizada foi a BRS-1501, sendo a semeadura realizada em linhas e cinco linhas por vasos, utilizando-se em média 45 sementes, com a finalidade de garantir o stand mínimo de plantas em cada unidade experimental, sob a profundidade de 2 cm realizado. Realizou-se o desbaste dez dias após a emergência deixando três plantas por touceira e nove plantas por vaso.

A adubação nitrogenada foi parcelada em nove aplicações até o estágio de maturação dos grãos (85 DAS), enquanto que as adubações de P e K foram parceladas em três aplicações até o início do estágio reprodutivo (60 DAS). Entre os manejos fitossanitários adotados citam-se monitoramento de pragas e doenças e controle manual de plantas daninhas.

Foram realizadas duas coletas para mensurar os dados de crescimento, a primeira aos 60 DAS, quando as panículas se encontravam em estágio inicial de formação, fase adequada

para o uso em pastejo e a segunda coleta de dados aos 85 DAS, quando as panículas se encontravam maduras, com grãos variando de pastosos a farináceos, fase adequada para ensilagem

Em ambas as coletas foram determinados o diâmetro do colmo (com utilização de paquímetro digital), área foliar ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$; C = comprimento das folha – cm; L = maior largura da folha – cm e f = fator de correção – 0,68) conforme metodologia de Payne, Wendt,, Hossner & Gates (1991) e altura de plantas (medida com uma trena do colo da planta que corresponde a 2 cm após a raiz à extremidade final da última folha). Na última avaliação foram coletadas três plantas por vaso e o material vegetal da parte aérea foi acondicionado em sacos de papel para realização das análises laboratoriais. Posteriormente, o material foi seco em estufa com circulação forçada de ar a 65-70 °C por aproximadamente 72 h, até obtenção de peso constante, conforme metodologia de Silva & Queiroz. (2002) . Em seguida, foi determinado a produção de matéria seca total (PMS) por meio do peso do colmo, folhas e panícula.

Durante a avaliação de campo, a fisiologia do milho foi avaliada no estágio fenológico da maturação dos grãos, aos 60 DAS, através da condutância estomática - g_s ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa de assimilação de CO_2 - A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e transpiração - E ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) com o uso do infrared gas analyzer (IRGA, com microprocessador, modelo LCpro-SD, ADC Bioscientific, UK) e a aplicação do medidor indireto de clorofila (Soil Plant Analysis Development, SPAD-502), (Minolta 1989). Em cada uma das parcelas experimentais, folhas recém-expandidas foram selecionadas de cinco perfilhos, sendo as leituras feitas na parte do meio da folha, sempre entre 9h e 11h.

Após a coleta, os dados foram submetidos a análise de variância e quando significativos pelo teste F ($p < 0,05$), os dados referentes às doses de nitrogênio (natureza quantitativa) foram submetidos à análise de regressão, onde as equações que melhor se ajustaram foram selecionadas com base na significância dos coeficientes de regressão a 1% e 5%, pelo teste F. O fator fonte de nitrogênio (natureza qualitativa) foi submetido ao teste de comparação de média de Tukey ao nível de 1% (**) e 5% (*) de significância. Para as análises estatísticas utilizou-se o programa computacional “ASSISTAT 7.7 BETA”.

3. Resultados e Discussão

As variáveis área foliar aos 60 e 85 DAS (AF 60/ AF 85), altura de plantas aos 60 e 85 DAS (AP 60/ AP 85), diâmetro do colmo aos 85 DAS (DC 85) e produção de MS da parte

aérea aos 60 e 85 DAS (PMS 60/PMS 85), foram influenciadas pela interação entre as fontes e as doses de N (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de variância pelo quadrado médio para as variáveis diâmetro do colmo (DC 60/ DC 85), área foliar (AF 60/ AF 85), altura de plantas (AP 60/ AP 85) e produção de matéria seca (PMS 60 / PMS 85) em função de diferentes fontes e doses de nitrogênio.

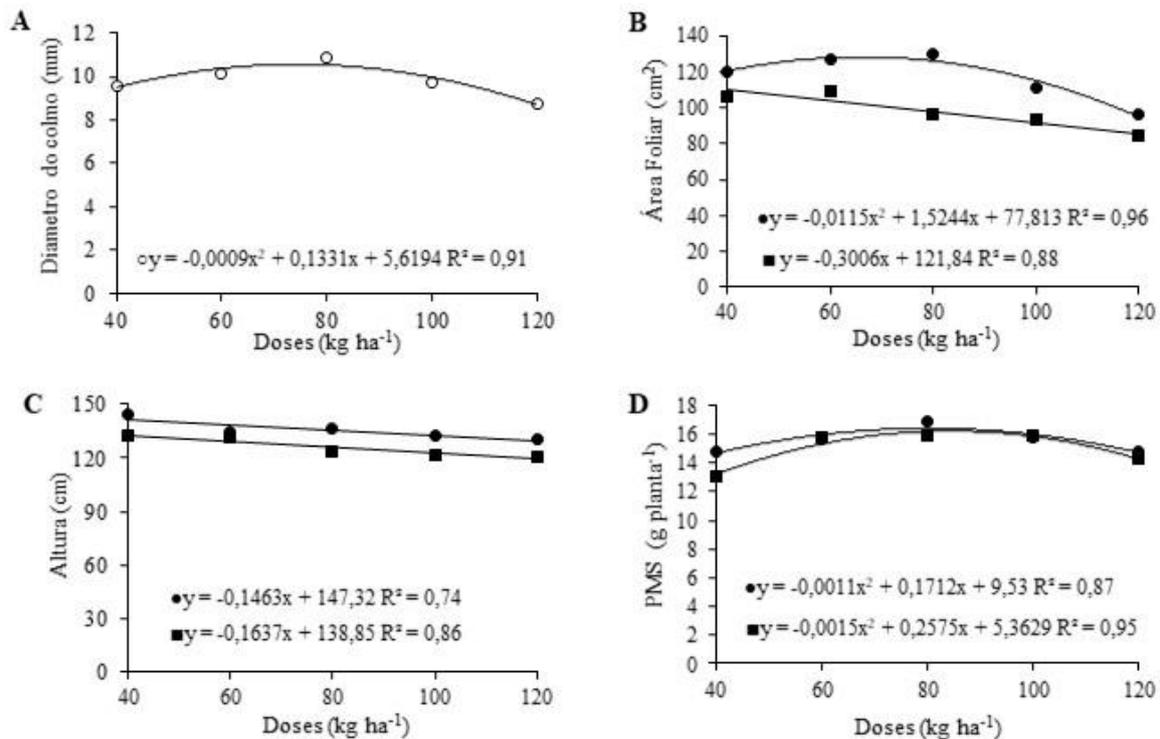
FV	GL	Quadrado Médio							
		DC60	DC85	AF60	AF85	AP60	AP85	PMS60	PMS85
Doses	4	4,90**	5,61 ^{ns}	1796,39**	2014,32**	453,15**	937,20**	11,36 ^{ns}	81,54**
Fontes	1	0,06 ^{ns}	53,54**	2442,72**	1573,38**	276,68**	1046,40**	42,55**	783,22**
D x F	4	2,56 ^{ns}	9,36 *	1528,24**	2632,70**	160,46**	847,71**	28,64**	520,66**
Tratamento	9	3,34**	12,60**	1749,03**	2240,17**	303,45**	908,89**	22,51**	354,67**
Resíduo	30	1,02	2,53	79,33	67,20	29,51	94,12	4,53	2,36
CV (%)	-	10,30	15,50	8,81	7,73	4,23	6,31	14,00	4,56

FV=Fontes de variação, CV= coeficiente de variação, GL= grau de liberdade, ^{ns}não significativo, *Significativo pelo teste F a 5%, ** Significativo pelo teste F a 1%, Fonte: Autor (2020).

A variável diâmetro do colmo (DC 60) foi a único dado de crescimento que sofreu influência somente do fator quantitativo doses.

O diâmetro do colmo aos 60 DAS apresentou modelo quadrático em função das doses de N. A dose estimada para essa variável foi a de 71,0 kg de N ha⁻¹ para um diâmetro máximo de 10,34 mm, constatando-se um incremento de 9% no valor da variável em relação a menor dose (Figura 2A).

Figura 2. Diâmetro do colmo (A), área foliar (B), altura de plantas (C) e produção de matéria seca (D) de milho submetidas à diferentes doses (○) e fontes de nitrogênio: Ureia (●) e Sulfato de amônio (■) aos 60 DAS.



Fonte: Autor (2020)

O nitrogênio possui papel fundamental no crescimento vegetativo, promovendo a expansão celular, estimulando o acréscimo no diâmetro do colmo e, conseqüentemente, modificando a produção de massa seca, quando suprido em quantidades adequadas (Lopes *et al.* 2020). Contrariando este estudo, Carmo, Cruz, Souza, Campos e Machado (2012) trabalhando em condições de campo com a cultura do milho adubada com diferentes doses de nitrogênio, constataram aumento linear no diâmetro do caule.

Para a variável área foliar, os valores influenciados pelas doses de ureia se ajustaram ao modelo quadrático, onde a área foliar máxima foi de 128,05 cm² para uma dose estimada de 66,0 kg de N ha⁻¹, constatando-se um incremento de 6% no valor da variável em relação a menor dose, já para as doses de sulfato de amônio, o modelo linear decrescente foi o que melhor se ajustou (Figura 2B).

A adubação nitrogenada tem efeito direto sobre a área foliar fotossintetizante como conseqüência do incremento da taxa de alongamento da folha, porém observa-se que, com o

aumento das doses de N houve decréscimo na área foliar do milho para a fonte sulfato de amônio e para a ureia em doses acima de 66,0 kg de N ha⁻¹ da dose recomendada. O resultado difere dos observados por Rocha, Santos, Silveira Júnior, Silva, Santos e Oliveira (2017), onde a área foliar do capim-xaraés (*Brachiaria brizantha* 'Xaraés') e do milho, respectivamente, aumentaram com a aplicação do nutriente, promovendo um acréscimo na taxa de alongamento foliar.

Para a variável altura de planta aos 60 DAS, o modelo linear decrescente foi o que melhor se ajustou (Figura 2C). Normalmente, o nitrogênio estimula o crescimento das plantas, contribuindo para a expansão dos tecidos vegetais, porém, foi observado que, maiores doses de N levaram a um decréscimo no tamanho do milho.

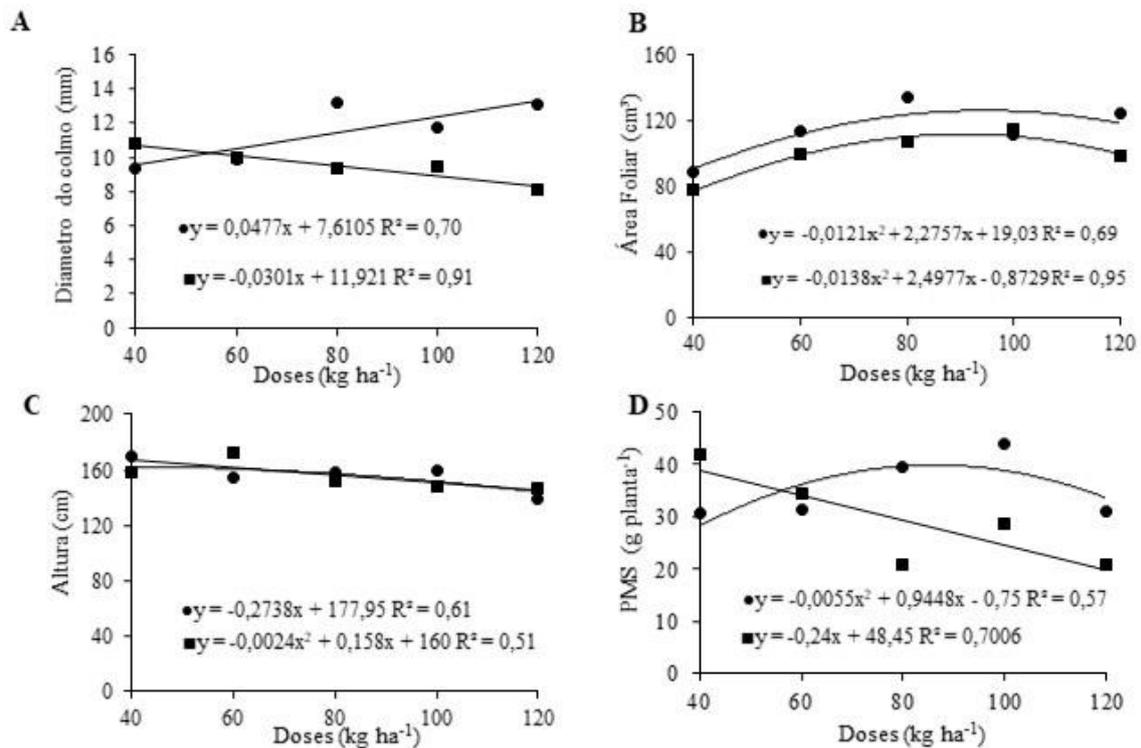
Guimarães Júnior *et al.* (2009), que avaliaram a altura de diferentes cultivares de milho, verificaram que o cultivar BRS-1501 estabilizou seu crescimento por volta dos 52 dias, o que poderia sugerir que aos 60 DAS ele já teria atingido sua altura máxima. Rocha *et al.* (2017) ao avaliarem o efeito da adubação nitrogenada sobre o cultivo de milho, observaram resposta linear positiva à adubação nitrogenada, porém salientaram que um aumento no porte das plantas interfere negativamente na relação folha/colmo e, conseqüentemente, na qualidade da forragem. Negreiros Neto, Santos, Leite e Cruz (2010) também verificaram resposta linear positiva para a aplicação de nitrogênio sobre a cultura do milho, para as doses de 60 e 120 kg de N ha⁻¹.

A PMS aos 60 DAS apresentou comportamento quadrático em função das doses e das fontes da adubação nitrogenada (Figura 2D). A dose de ureia estimada para essa variável foi de 78,2 kg de N ha⁻¹ para a PMS máxima de 16,23 g, constatando-se um incremento de 10% no valor da variável em relação a menor dose, enquanto que a dose de sulfato de amônio atingiu seu ponto de máxima em 15,97 g em uma dose de 82,4 kg de N ha⁻¹, com um incremento de 17,57% no valor da variável em relação a menor dose.

O resultado verificado diverge dos observados por Goes, Rodrigues, Arf, Arruda e Vilela (2011), para a influência das fontes de nitrogênio sobre a resposta do sorgo granífero na safrinha. No trabalho, o sorgo foi submetido a duas fontes nitrogenadas (ureia e sulfato de amônio), com cinco doses de nitrogênio, onde observaram que o sulfato de amônio aumentou a produção de matéria seca em comparação à ureia. Tal diferença pode ter ocorrido em função de diferenças climáticas, do tipo de solo ou mesmo, por se tratar de uma espécie diferente da avaliada no presente trabalho.

O diâmetro do colmo aos 85 DAS mostrou comportamento linear crescente para o fator doses de ureia e comportamento linear decrescente para as doses de sulfato de amônio, ou seja, o maior diâmetro foi obtido na maior dose da fonte de ureia (Figura 3A).

Figura 3. Diâmetro do colmo (A), área foliar (B), altura de plantas (C) e produção de matéria seca (D) de milho submetidas à diferentes doses (%) e fontes de nitrogênio: Ureia (●) e Sulfato de amônio (■) aos 85 DAS.



Fonte: Autor (2020)

O resultado foi diferente do observado para a variável aos 60 DAS, onde a dose de 71,0 kg de N ha⁻¹, proveniente da ureia, promoveu o melhor resultado. Sabe-se que o parcelamento é um fator que contribui para melhor aproveitamento da fonte de nitrogênio por parte das gramíneas, se comparado aos de única aplicação. No caso do milho, o parcelamento pode ter influenciado em um melhor aproveitamento da ureia, devido a redução da velocidade da hidrólise da fonte.

Já para o sulfato de amônio, pode ter ocorrido perda por volatilização em função do elevado teor de água presente no substrato, o que pode ter prejudicado a absorção de N para esta fonte. Como o experimento ocorreu no período das águas e as chuvas foram expressivas

durante o ciclo da cultura, o excesso de umidade no ambiente pode ter influenciado de forma negativa na absorção do nutriente pela planta (Waraich, Ahmad, Ashraf & Saifullah, 2011).

Resultados diferentes foram observados por Melo *et al.* (2015), que ao avaliarem o efeito de diferentes doses de nitrogênio em cultivares de milho, verificaram resposta quadrática para a variável.

A área foliar aos 85 DAS apresentou comportamento quadrático em função das doses e das fontes da adubação nitrogenada (Figura 3B). A dose de ureia estimada para essa variável foi 94,5 kg de N ha⁻¹ para a área máxima de 126,63 cm², sendo verificado aumento de 28% no valor da variável em relação a menor dose, enquanto que o sulfato de amônio atingiu seu ponto de máxima em 112,54 cm² de área foliar em uma dose 90,8 kg de N ha⁻¹, com incremento de 32% se comparado a menor dose. Na avaliação aos 60 DAS as plantas também mostraram resposta a adubação nitrogenada, porém atingiram resultados similares em uma menor dose, subentende-se que a cultura necessitou de maiores doses de N devido a produção de grãos, no estágio mais avançado do ciclo de produção.

Para essa variável o milho apresentou melhor resposta para a fonte ureia, assim como aos 60 DAS. Esse resultado pode ser justificado pelas condições de clima do local, uma vez que, no intervalo após a última aplicação de N até o dia da coleta em 85 DAS, observou-se um volume de 710 mm de chuvas, o que pode ter influenciado positivamente a eficiência da adubação com a ureia. As perdas de N da ureia são maiores nos primeiros dias após a aplicação superficial, o que pode variar conforme as condições climáticas (Valderrama, Buzetti, Teixeira Filho, Benett, & Andreotti, 2014). Para que os adubos apresentem eficiência de absorção pelas plantas torna-se necessário que a irrigação ou a chuva sejam de intensidade suficiente para rápida incorporação (Waraich *et al.*, 2011), condição presente no experimento.

A altura de planta aos 85 DAS apresentou comportamento quadrático em função das doses para o sulfato de amônio e linear decrescente para a ureia (Figura 3C). A dose de 87,4 kg de N ha⁻¹ de sulfato de amônio promoveu a altura máxima em 162,22 cm e aumento de 17% no valor da variável em relação a menor dose. Valderrama *et al.* (2014) também não obtiveram resposta significativa para a altura de plantas de milho em diferentes doses de ureia.

A variável PMS aos 85 DAS foi afetada pelas doses de N e apresentou comportamento quadrático para a fonte ureia e comportamento linear decrescente para o sulfato de amônio (Figura 3D). A dose de N derivado da ureia foi de 86,4 kg de N ha⁻¹ e a PMS máxima foi de 40,2 g planta⁻¹, verificando-se elevação de 29% no valor da variável em relação a menor dose. Observa-se um declínio a partir do ponto de máxima, não havendo necessidade de estabelecer

maiores doses de N para a cultura do milho em um período de 85 DAS se a fonte utilizada for a ureia.

A PMS aos 85 DAS pode ter sido influenciada pela produção dos grãos, uma vez que a adubação nitrogenada, independentemente da época de aplicação, proporciona acréscimos significativos no enchimento dos grãos. Neste contexto, o sulfato de amônio tem se mostrado superior em relação à ureia devido ao fato do sulfato de amônio propiciar perdas desprezíveis de N-NH₃ quando o pH do solo é inferior a 7, aliado a presença do enxofre que contribui para uma melhor resposta pela planta (Goes *et al.*, 2011). Porém, no presente estudo, o sulfato de amônio levou a uma resposta negativa, como relatado por Heringer e Moojen (2002) que obtiveram resposta linear negativa para a utilização do nitrogênio em maiores quantidades em seu trabalho com milho sob adubação nitrogenada.

As variáveis fisiológicas condutância estomática - gs (mmol H₂O m⁻² s⁻¹) e teor de clorofila SPAD-502 foram influenciadas pela interação entre as fontes e as doses de N, enquanto que as variáveis taxa de assimilação de CO₂ - A (μmol m⁻² s⁻¹) e transpiração - E (mmol m⁻² s⁻¹) foram influenciadas somente pelo fator quantitativo doses (Tabela 3).

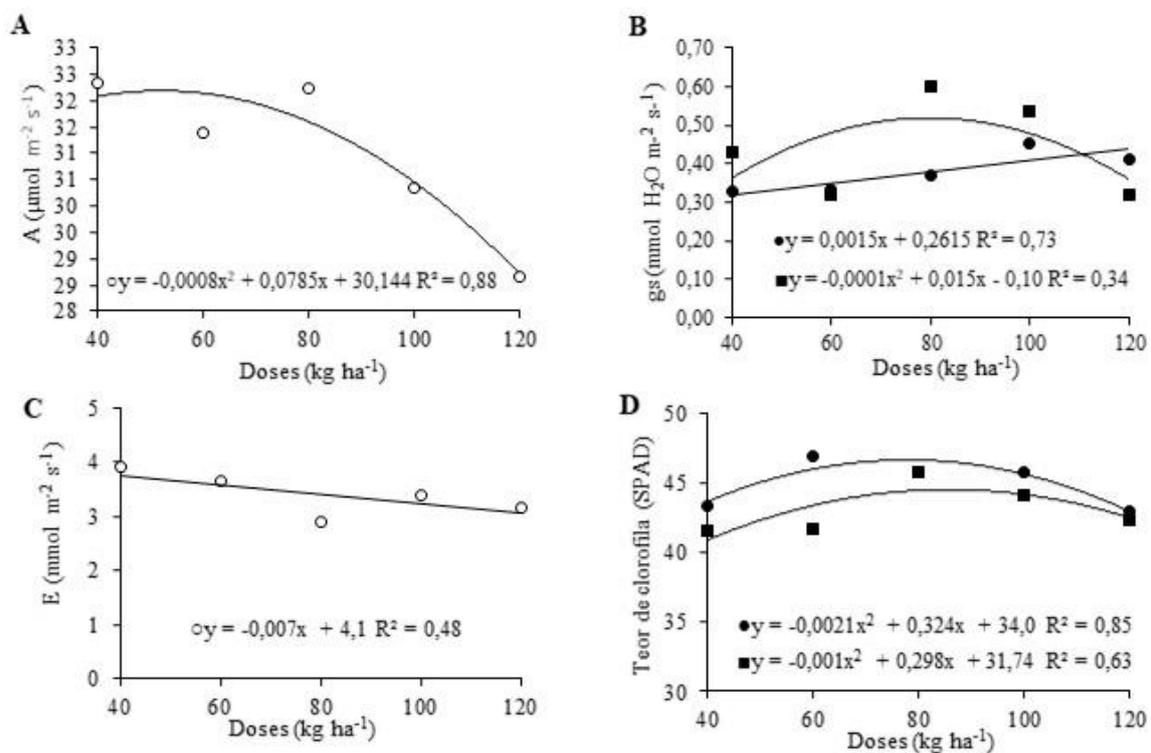
Tabela 3. Análise de variância pelo quadrado médio para as variáveis taxa de fotossíntese A (μmol m⁻² s⁻¹), condutância estomática - gs (mmol H₂O m⁻² s⁻¹), transpiração - E (mmol m⁻² s⁻¹) e teor de clorofila SPAD-502 em função de diferentes fontes e doses de nitrogênio.

FV ⁽¹⁾	GL	Quadrado Médio			
		A	gs	E	SPAD
Doses	4	65,77 ^{**}	0,04 ^{**}	1,29 ^{**}	78,96 ^{**}
Fontes	1	3,14 ^{ns}	0,04 [*]	0,11 ^{ns}	35,30 ^{**}
D x F	4	1,94 ^{ns}	0,03 ^{**}	0,21 ^{ns}	34,57 ^{**}
Tratamento	9	30,44 ^{**}	0,03 ^{**}	0,68 ^{**}	54,38 ^{**}
Resíduo	30	7,46	0,05	0,21	2,93
CV (%)	—	9,52	18,27	13,38	3,81

(FV=Fontes de variação, CV= coeficiente de variação, GL= grau de liberdade, , *Significativo pelo teste F a 5%, ** Significativo pelo teste F a 1%, Fonte: Autor (2020).

A taxa de fotossíntese (A) aos 60 DAS, ajustou-se ao modelo quadrático em função das doses de N, com uma taxa máxima de assimilação de $32,34 \mu\text{mol}^{-2}\text{s}^{-1}$ para a dose de 50,2 kg de N ha^{-1} (Figura 4A).

Figura 4. Fotossíntese (A), condutância estomática (B), transpiração (C) e teor de clorofila - SPAD (D) de milho submetidas à diferentes doses (\circ) e fontes de nitrogênio: Ureia (\bullet) e Sulfato de amônio (\blacksquare) aos 60 DAS.



Fonte: Autor (2020)

A taxa de fotossíntese é uma variável intimamente ligada a relação folha/colmo (Lopes *et al.*, 2020), sendo que nesse período, ambas as variáveis se mostraram sensíveis a altas dosagens de N, onde o colmo (diâmetro e altura) reduziu seu potencial expressivo frente a altas quantidades de N, logo, presume-se que a taxa de assimilação do milho mostraria comportamento semelhante em função desta relação. O resultado indica que a cultura do milho, provavelmente, apresenta um componente fisiológico que exige o máximo teor de N

até a fase de crescimento vegetativo (60 DAS), sendo reduzida drasticamente com o avanço do ciclo de desenvolvimento. Tal observação pode ter ocorrido em função da ativação do sistema fotossintético carboxilase/oxigenase da ribulose 1,5 bisfosfato (RubisCO) (Taiz *et al.*, 2017).

A condutância estomática (gs) aos 60 DAS, ajustou-se ao modelo quadrático para o fator quantitativo doses de sulfato de amônio, sendo que a dose máxima foi de 50,4 kg de N ha⁻¹ para a gs de 0,35 mmol H₂O m⁻² s⁻¹, enquanto que a dose de ureia ajustou-se de forma linear crescente (Figura 4B).

O resultado se assemelha aos observados por Pompeu *et al.* (2010) que avaliaram o capim-aruaana submetido a doses crescentes de nitrogênio (0, 125, 250 e 375 mg dm⁻³). Rodrigues *et al.* (2012) por sua vez, ao avaliarem o efeito da adubação nitrogenada em doses crescentes (0, 75, 150 e 225 mgdm⁻³) no capim *Brachiaria brizantha* 'Xaraés' em três idades diferentes em intervalos regulares de 25 dias de crescimento, observaram que a condutância estomática não foi influenciada pelas doses de N em diferentes estágios vegetativos.

A transpiração (E) aos 60 DAS ajustou-se de forma linear decrescente para o fator quantitativo doses (Figura 4C). A transpiração é um dado fisiológico intimamente relacionado à área foliar, ou seja, sendo influenciada pelas avaliações desta última variável aos 65 DAS, o que resultou, conseqüentemente, em menor transpiração. Conforme relatado por Pompeu *et al.* (2010), o aumento no fornecimento de nitrogênio levaria à elevação na produção de biomassa e na taxa fotossintética, sendo esperado também a elevação no dado fisiológico de transpiração, fato não observado no presente estudo.

O teor de clorofila (SPAD) aos 60 DAS, apresentou comportamento polinomial quadrático em função das doses e das fontes de N (Figura 4D). A dose de ureia estimada para essa variável foi de 80,0 kg de N ha⁻¹ da dose recomendada e o teor de clorofila foi de 47. Constata-se aumento de 10% no valor da variável em relação a menor dose, enquanto que a dose de sulfato de amônio atingiu seu ponto de máxima em 44,6 para a dose de 86,7 kg de N ha⁻¹, com incremento de 10% no valor da variável em relação a menor dose.

A redução da clorofila pode estar relacionada a forma de N disponível no substrato pois segundo Blackmer e Schepers (1994), a medição não é influenciada pelo consumo de N sob forma de nitrato. Para esta variável, o milheto apresentou melhor resposta para a fonte de ureia o que se contrapõe aos resultados observados por Theago *et al.* (2014), onde tanto o sulfato de amônio quanto a ureia não mostraram influência significativa para esta variável. Conforme relatado anteriormente, a melhor resposta à adubação com ureia, no presente trabalho, pode ter ocorrido em função das condições climáticas, cujo excesso de umidade,

durante o período experimental, pode ter levado a maiores perdas da fonte sulfato de amônio, enquanto a ureia apresentou maior poder de retenção no solo, melhorando a fixação do nitrogênio pela planta.

4. Considerações Finais

A dose e a fonte de nitrogênio, em condições de sequeiro, afetaram o crescimento, a produção de matéria seca e as trocas gasosas do milho para produção de forragem.

A adubação nitrogenada, em ambas as fontes, influenciou o crescimento e a produção de matéria seca do milho, nos períodos distintos de desenvolvimento (60 e 85 DAS). A ureia mostrou melhor resposta para as trocas gasosas em relação ao sulfato de amônio, com exceção para a condutância estomática.

Assim, até 60 dias após a semeadura, com a finalidade de pastejo, recomenda-se entre 60 e 80 kg ha⁻¹ de N, usando como fonte a ureia. Para a produção de silagem, dos 60 aos 85 dias após a semeadura, recomenda-se adubação entre 80 e 100 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia.

Como possibilidades de pesquisas futuras sobre o tema, poderiam ser estudadas doses superiores de nitrogênio da ureia em condições de sequeiro e sob irrigação, bem como, a interação do nitrogênio com outros nutrientes nessas condições.

Referências

Blackmer TM & Schepers JS. (1994). Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. *Communications in soil science and plant analysis*, 25(9-10), 1791-800.

Carmo MS, Cruz SCS, Souza EJ, Campos LFC & Machado CG. (2012). Doses e fontes de nitrogênio no desenvolvimento e produtividade da cultura de milho doce (*Zea mays* convar. saccharata var. rugosa). *Bioscience Journal*, 28(1), 223-31.

Guimarães Júnior R, Gonçalves LC, Rodrigues JAS, Pires DAA, Jayme DG, Rodriguez NM & Saliba EOS. (2009). Avaliação agrônômica de genótipos de milho (*P. glaucum*) plantados em período de safrinha. *Archivos de zootecnia*, 58(1), 629-632.

Goes, RJ, Rodrigues RAF, Arf O, Arruda OG & Vilela RG. (2011). Fontes e doses de nitrogênio em cobertura, no sorgo granífero na safrinha. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 10(2), 121-129.

Heringer I & Moojen EL. (2002). Potencial produtivo, alterações da estrutura e qualidade da pastagem de milho submetida a diferentes níveis de nitrogênio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31(2), 875-882.

Lopes MN, Cândido MJD, Pompeu RCFF, SILVA RG, LACERDA CF, Bezerra MA & Carneiro MS. (2020). Gas exchange in Massai grass fertilized with nitrogen and grazed by sheep. *Bioscience Journal*, 36(1), 152-160.

Marcante NC, Camacho MA & Paredes FPJ. (2011). Teores de nutrientes no milho como cobertura de solo. *Bioscience Journal*, 27(2), 196-204.

Melo NC, Fernandes AR & Galvão JR. (2015). Crescimento e eficiência nutricional do nitrogênio em cultivares de milho forrageiro na Amazônia. *Revista Caatinga*, 28(3), 68-78.

Minolta C. (1989). *Manual for chlorophyll meter SPAD-502*. Osaka: Minolta Radiometric Instruments Divisions.

Negreiros Neto JV, Santos AC, Leite RL & Cruz RS. (2010). Análise de diferentes doses de nitrogênio e espaçamento em milho no norte do Tocantins. *Biotemas*, 23(4), 19-23.

Pereira Filho IA, Ferreira ADS, Coelho AM, Casela CR, Karam D, Rodrigues JAS & Waquil JM. (2003). *Manejo da cultura do milho*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo.

Payne, WA, Wendt, CW, Hossner, LR & Gates, CE. (1991). Estimating pearl millet leaf area and specific leaf area. *Agronomy Journal*, 83(6), 937-941.

Pompeu RCFF, Cândido MJD, Lopes MN, Gomes FHT, Lacerda CFD, Aquino BF & Magalhães JA. (2010). Características morfofisiológicas do capim-aruaana sob diferentes doses de nitrogênio. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 11(4), 1187-1210.

Rocha JMR, Santos A, Silveira Júnior O, Silva R, Santos J & Oliveira L. (2017). Características agronômicas do milho sob efeito do nitrogênio nos sistemas consorciado e monocultivo. *Revista Tecnologia e Ciência Agropecuária*, 11(1), 37-43.

Rodrigues RC, Saramuzza WLMP, Jesus APRD, Lima DDOS, Siqueira JCD, Plese LPDM. & Cabral LDS. (2012). Produção e morfofisiologia do capim Brachiaria Brizantha Cv. Xaraés sob doses de nitrogênio e fósforo. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 2(1), 124-131.

Silva, DJ & Queiroz, AC. (2002). *Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos*. Viçosa: Editora UFV.

Taiz L, Zeiger E, Moller IM & Murphy A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Porto Alegre: Artmed.

Theago EQ, Buzetti S, Teixeira Filho MCM, Andreotti M, Megda MM & Benett CGS. (2014). Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio influenciando teores de clorofila e produtividade do trigo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(6), 1826-1835.

Valderrama M, Buzetti S, Teixeira Filho MCM, Benett CGS & Andreotti M. (2014). Adubação nitrogenada na cultura do milho com ureia revestida por diferentes fontes de polímeros. *Semina: Ciências Agrárias*, 35(2), 659-69.

Waraich EA, Ahmad R, Ashraf MY, Saifullah & Ahmad M. (2011). Improving agricultural water use efficiency by nutrient management in crop plants. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 61(4), 291-304.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

João Guilherme Justino da Costa – 90%

Silas Primola Gomes – 70%

Geocleber Gomes de Sousa – 50%

Jefferson Arnon de Almeida Conrado – 30%

Andrey Lohan Barbosa Albuquerque – 30%

Patrícia Guimarães Pimentel – 20%

Amanda Cardoso Rocha – 20%

Henderson Castelo Sousa – 20%