

NEUMANN, M.; TURCO, G. M. S.; FARIA, M. V.; VIGNE, G. L. D.; de SOUZA, A. M.; Produção e composição física da planta de milho para silagem em diferentes sistemas de cultivo. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, Guarapuava-PR, v.12, n.1, p.87-97, Jan-Abr., 2019. DOI: 10.5935/PAeT.V12.N1.09

Artigo Científico

Produção e composição física da planta de milho para silagem em diferentes sistemas de cultivo

Resumo

O milho é uma cultura muito utilizada para ensilagem. Entretanto, devido as modificações introduzidas nos genótipos recentes, torna-se necessário reavaliar suas práticas de manejo. O experimento objetivou avaliar a produção de biomassa, a composição

Mikael Neumann¹
Giselle Maria Seleme Turco²
Marcos Ventura Faria³
Gabriela Letícia Delai Vigne⁴
André Martins de Souza⁵

física da planta e os teores de matéria seca da planta e de componentes estruturais do híbrido de milho SG-6418 para silagem, cultivado em dois níveis de adubação (250 kg ha⁻¹ de adubo (N-P₂O₅-K₂O: 08-30-20) + 155 kg ha⁻¹ de ureia (70 kg de N) ou 500 kg ha⁻¹ de adubo (N-P₂O₅-K₂O: 08-30-20) + 310 kg ha⁻¹ de ureia (140 kg de N) associado a dois espaçamentos entre linhas (0,4 ou 0,8 m) e duas densidades de plantio (50 mil ou 70 mil plantas ha⁻¹). O milho cultivado em nível de maior adubação proporcionou maiores produções de matéria verde (50.764 contra 42.127 kg ha⁻¹), de matéria seca (18.772 contra 14.443 kg ha⁻¹), e de grãos (9.488 contra 6.998 kg ha⁻¹) comparado ao milho cultivado em nível de menor adubação. Independentemente do nível de adubação, o milho, quando cultivado em espaçamento reduzido e associado a maior população de plantas, também determinou maiores produções de matéria verde, de matéria seca e de grãos, comparativamente às demais associações de cultivo. O aumento da população de plantas afetou a distribuição dos componentes da planta de milho com aumento da participação de folhas e colmo e redução de espiga. Portanto, a redução do espaçamento de semeadura entre linhas propiciou melhor distribuição espacial de plantas de milho e melhor produção de forragem.

Palavras-chave: densidade de plantas, espaçamento entre linhas, níveis de adubação, *Zea mays*.

The yield and physical corn plant composition for silage, cultivated in different farming systems

Abstract

Corn is widely used for silage crop. Due to recent changes to the genotype, it is necessary to reassess its management practices. The experiment was conducted to evaluate biomass production, physical composition and dry matter of plant and structural components of the hybrid corn silage SG-6418, grown in two levels of fertilization (250 kg ha⁻¹ of fertilizer (N-P₂O₅-K₂O: 08-30-20) + 155 kg ha⁻¹ of urea (70 kg N) or 500 kg ha⁻¹ fertilizer (N-P₂O₅-K₂O: 08-30-20) + 310 kg ha⁻¹ of urea (140 kg N) associated with two spacings lines (0,4 ou 0,8 m) and two planting densities (50.000 ou 70.000 plants ha⁻¹). Corn grown in high fertilization level resulted in higher yields of green matter (50.764 against 42.127 kg ha⁻¹), dry matter (18.772 against 14.443 kg ha⁻¹) and grain (9.488 against 6.998 kg ha⁻¹) compared to corn grown in low level of fertilization. The maize, regardless

Received at: 12/12/2017

Accepted for publication at: 28/05/2018

1-Engenheiro Agrônomo, Dr., Pesquisador do NUPRAN (Núcleo de Produção Animal), Pesquisador Produtividade PQ/CNPq, Professor do Curso de Pós Graduação em Agronomia na área de Produção Vegetal e em Ciências Veterinárias na área de Produção e Saúde Animal Sustentável da UNICENTRO - Endereço para correspondência: Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03, 85.040-080, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, PR. E-mail: neumann.mikael@hotmail.com

2-Pós Graduação em Agronomia na área de Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), Guarapuava, Paraná, Brasil. E-mail: giselleseleme@gmail.com

3-Pós Graduação em Agronomia na área de Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), Guarapuava, Paraná, Brasil. E-mail: mfarria@unicentro.br

4-Pós-graduação em Zootecnia, Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: gabivigne@hotmail.com.

5-Pós Graduação em Agronomia na área de Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), Guarapuava, Paraná, Brasil. E-mail: andrems_92@hotmail.com

Applied Research & Agrotechnology v.12, n.1, Jan/Apr. (2019)

(On line) e-ISSN 1984-7548

of the level of soil fertilization, when cultivated in reduced spacing associated with the largest population of plants also resulted in increased production of the green and dry matter and grain, compared to other associations of cultivation. The increase in plant population affected the distribution of the components of total dry mass with an increase in leaf and stem, and reduction of cob. Therefore, reducing the spacings line provided better spatial distribution of corn plants and better forage production.

Keywords: levels of fertilization, planting densities, spacing between lines, *Zea mays*.

Producción y composición física de la planta de maíz para silaje, en diferentes sistemas de cultivo

Resumen

El maíz es un cultivo muy utilizado para ensilaje. Sin embargo, debido a las modificaciones introducidas en los genotipos recientes, es necesario reevaluar sus prácticas de manejo. El experimento objetivó evaluar la producción de biomasa, la composición física de la planta y los contenidos de materia seca de la planta y de componentes estructurales del híbrido de maíz SG-6418 para silaje, cultivado en dos niveles de fertilización (250 kg ha⁻¹ de abono (N-P2O5-K2O: 08-30-20) + 155 kg ha⁻¹ de urea (70 kg de N) o 500 kg ha⁻¹ de abono (N-P2O5-K2O: 08-30-20) + 310 kg ha⁻¹ de urea (140 kg de N) asociado a dos espaciamientos entre líneas (0,4 o 0,8 m) y dos densidades de plantación (50 mil o 70 mil plantas ha⁻¹). El maíz cultivado a nivel de mayor fertilización proporcionó mayores producciones de materia verde (50.764 contra 42.127 kg ha⁻¹), de materia seca (18.772 contra 14.443 kg ha⁻¹), y de granos (9.488 contra 6.998 kg ha⁻¹) comparado al maíz cultivado a nivel de menor fertilización. Independientemente del nivel de fertilización, el maíz, cuando cultivado en espacio reducido y asociado a la mayor población de plantas, también determinó mayores producciones de materia verde, de materia seca y de granos, en comparación con las demás asociaciones de cultivo. El aumento de la población de plantas afectó la distribución de los componentes de la planta de maíz, con aumento de la participación de hojas y colmo y reducción de espiga. Por lo tanto, la reducción del espaciamiento de siembra entre líneas propició mejor distribución espacial de plantas de maíz y mejor producción de forraje.

Palabras clave: densidad de plantas, espaciamiento entre líneas, niveles de fertilización, *Zea mays*.

Introdução

O milho é a cultura considerada padrão para ensilagem em função dos índices de produtividade da cultura, da estabilidade de produção, do valor nutritivo e da concentração de energia (NEUMANN, 2009).

Para o melhor desempenho da cultura do milho, a escolha do melhor arranjo de plantas na área associada à definição da melhor época para aplicação da cobertura nitrogenada está entre as decisões mais importantes, aliadas à escolha do híbrido e da época de semeadura (BORGES et al., 2006). Além disso, a manipulação do arranjo de plantas de milho, através de alterações na densidade de plantas, dos espaçamentos entre linhas, da distribuição de plantas na linha e na variabilidade entre plantas, é uma das práticas de grande importância para maximizar a interceptação da radiação solar, otimizar o seu uso e potencializar o rendimento de grãos (ARGENTA et al., 2001a), buscando o aumento da eficiência da produção.

Em virtude das modificações introduzidas nos genótipos de milho, tais como menor estatura de planta e altura de inserção de espiga, menor esterilidade de plantas, menor duração do subperíodo pendente-espigamento, plantas com folhas de angulação mais ereta e elevado potencial produtivo, torna-se necessário reavaliar as recomendações de práticas de manejo para esta cultura.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de biomassa, a composição física da planta e os teores de matéria seca da planta e de cada componente estrutural da planta de milho para silagem, cultivado em dois níveis de adubação, associado a dois espaçamentos entre linhas e duas densidades de plantio.

Materiais e métodos

O experimento foi conduzido no Núcleo de Produção Animal (NUPRAN) do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Estadual do

Centro-Oeste (UNICENTRO), em Guarapuava-PR.

O clima da região de Guarapuava-PR é o Cfb (Subtropical mesotérmico úmido), sem estação seca, com verões frescos e inverno moderado conforme a classificação de Köppen. Encontra-se em altitude de aproximadamente 1.100 m, com precipitação média anual de 1.944 mm, temperatura média mínima anual de 12,7°C, temperatura média máxima anual de 23,5°C e umidade relativa do ar de 77,9%.

De acordo com os dados da Estação Meteorológica do IAPAR, Guarapuava, PR, os valores médios de precipitação (mm), temperatura e insolação normal ocorrida no período de outubro de 2008 a março de 2009, período que se deu o cultivo do milho experimental, foram 174,76 mm, 19,54°C e 6,99 horas dia⁻¹ respectivamente.

Como material experimental foi utilizado o híbrido de milho SG-6418 (Limagrain, Curitiba, Brasil). O milho para silagem foi cultivado em dois níveis de adubação (250 kg ha⁻¹ de adubo (N-P₂O₅-K₂O: 08-30-20) + 155 kg ha⁻¹ de ureia (70 kg de N) ou 500 kg ha⁻¹ de adubo (N-P₂O₅-K₂O: 08-30-20)+ 310 kg ha⁻¹ de ureia (140 kg de N), associado a dois espaçamentos entre linhas (0,4 ou 0,8 m) e duas densidades de plantio (50 mil ou 70 mil plantas ha⁻¹).

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com três repetições, utilizando-se de um esquema fatorial 2 x 2 x 2, ou seja, composto por 8 tratamentos.

As lavouras de milho foram implantadas no início de outubro de 2008, conforme zoneamento agrícola, em sistema de plantio direto, em sucessão à mistura forrageira aveia preta (*Avena strigosa*) e azevém (*Lolium multiflorum*), a qual foi dessecada no pré-plantio com herbicida a base de glifosato (produto comercial Roundup Original[®]: 3,0 L ha⁻¹). Na semeadura utilizou-se espaçamento entre linhas de 0,4 ou 0,8 metros (1º fator de estudo), profundidade de semeadura aproximada de 4 cm e distribuição de sementes por metro linear visando densidades finais de 50 mil ou 70 mil plantas ha⁻¹ (2º fator de estudo).

A semeadura do milho foi realizada de forma manual e em parcelas com área total de 28,8 m² (4,8 x 6,0 m) sendo utilizada para avaliação quantitativa a área útil interna de 16 m² (3,2 x 5,0 m) de cada parcela. A adubação de base foi variável (3º fator de estudo), sendo constituída de 250 ou 500 kg ha⁻¹ do adubo na formulação 08-30-20 (N-P₂O₅-K₂O), e em cobertura, 30 dias após o plantio, foram aplicados 70 ou 140 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia (45-00-00).

O manejo da cultura de milho, até 30 dias após a emergência das plantas, envolveu práticas de controle de plantas daninhas pelo método químico

utilizando o herbicida a base de atrazina+ simazina (Produto comercial Siptran[®], Oxon, São Paulo, São Paulo: 7,5 L ha⁻¹) e o herbicida a base de paraquat (Produto comercial Gramaxone[®], Syngenta, São Paulo, São Paulo: 2,0 L ha⁻¹) nas entre linhas de plantio aplicado na fase de desenvolvimento das plantas entre duas e três folhas expandidas, assim como de controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) com o inseticida a base de Lambda-cyhalothrin (Produto comercial Karate[®], Syngenta, São Paulo, São Paulo: 150 mL ha⁻¹) mediante visita técnica das lavouras. O raleio das plantas de milho foi realizado manualmente 20 dias após a emergência, ajustando a população de plantas para 50 ou 70 mil plantas ha⁻¹.

Os estádios reprodutivos e desenvolvimento dos grãos das plantas de milho foram determinados conforme Ritchie et al. (2003).

As plantas de milho dos diferentes tratamentos foram colhidas a 20 cm de altura do solo, na fase de grão farináceo a duro (R4/R5 - 123 dias após a semeadura), contidas na área útil de cada parcela (16 m²), para avaliação do teor de matéria seca da planta e de seus componentes estruturais, visando a produção de silagem de milho de planta inteira.

Todas as plantas contidas na área útil de cada parcela foram pesadas individualmente para determinação da produção de biomassa verde, de biomassa seca e de grãos por unidade de área (kg ha⁻¹), medidas para obtenção da altura da inserção da primeira espiga e da planta (m) e contagem do número de folhas senescentes por planta para determinação do "staygreen" segundo Lupatini et al. (2005).

Das plantas colhidas na área útil de cada parcela, uma subamostra de 6 plantas homogêneas foi separada para envio ao Laboratório de Análise de Alimentos e Nutrição de Ruminantes da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). Foi determinado, então, a composição percentual física das estruturas anatômicas da planta pela segmentação manual dos componentes (colmo, folha, brácteas mais sabugo, grãos), bem como os teores de matéria seca da planta inteira e seus componentes no momento da ensilagem.

As amostras de planta inteira e dos componentes estruturais de cada tratamento foram obtidas de forma homogênea e representativa, pesadas e pré-secadas em estufa de ar forçado a 55°C até peso constante. Após secagem, foi determinado teor de matéria seca (MS), conforme AOAC (1995).

Os dados coletados para cada variável foram submetidos a testes de normalidade e homogeneidade. Posteriormente, foram submetidos à análise de variância, com comparação de médias

ao nível de significância de 5% pelo teste F ou pelo teste Tukey, por intermédio do programa estatístico SAS (SAS Institute, versão 6.4). Na ocorrência de interações duplas significativas entre os fatores avaliados, realizou-se a comparação das médias duas a duas, ao nível de significância de 5% pelo teste T, utilizando o procedimento "Lsmmeans - Pdiff", também por intermédio do pacote estatístico SAS (SAS INSTITUTE, versão 6.4).

A análise de cada variável seguiu o modelo estatístico: $Y_{ijklm} = \mu + NA_i + E_j + DP_k + B_l + (NA \cdot E)_{ij} + (NA \cdot DP)_{ik} + (E \cdot DP)_{jk} + (NA \cdot E \cdot DP)_{ijk} + E_{ijkl}$; onde: Y_{ijklm} = variáveis dependentes; μ = Média geral de todas as observações; NA_i = Efeito do nível de adubação de ordem "i"; E_j = Efeito do espaçamento entre linhas de ordem "j"; DP_k = Efeito densidade de plantas de ordem "k"; B_l = Efeito do bloco; $(NA \cdot E)_{ij}$ = Efeito da interação entre o i-ésimo nível de adubação com o j-ésimo espaçamento entre linhas; $(NA \cdot DP)_{ik}$ = Efeito da interação entre o i-ésimo nível de adubação

com a k-ésima densidade de plantas; $(E \cdot DP)_{jk}$ = Efeito da interação entre o j-ésimo espaçamento entre linhas com a k-ésima densidade de plantas; $(NA \cdot E \cdot DP)_{ijk}$ = efeito da interação entre o i-ésimo nível de adubação com o j-ésimo espaçamento entre linhas com a k-ésima densidade de plantas; e E_{ijkl} = Efeito aleatório residual.

Resultados e discussão

Para todos os diferentes parâmetros avaliados, não houve interações triplas significativas entre os três fatores de estudo: níveis de adubação, espaçamento entre linhas e densidade de plantas ($P > 0,05$).

Os valores médios referentes à altura de inserção da primeira espiga, altura de planta e número de folhas secas por planta são apresentados na Tabela 1. Não houve triplas e/ou duplas interações entre os fatores de estudo para as variáveis altura de inserção da primeira espiga, altura de planta e número de folhas secas por planta ($P > 0,05$).

Tabela 1. Valores médios de altura de planta, altura da inserção da primeira espiga, número de folhas secas por planta, conforme sistema de cultivo para silagem aos 123 após a semeadura.

Nível de adubação	Espaçamento (m)	Densidade (plantas ha ⁻¹)	Folhas secas por planta	Altura de planta (m)	Altura de espiga
250 kg ha ⁻¹ de adubo + 155 kg ha ⁻¹ de ureia	0,4	50.000	2,6	2,13	1,28
		70.000	2,3	2,13	1,28
	0,8	50.000	4,8	1,99	1,27
		70.000	4,5	2,11	1,25
500 kg ha ⁻¹ de adubo + 310 kg ha ⁻¹ de ureia	0,4	50.000	4,5	2,11	1,22
		70.000	3,7	2,06	1,15
	0,8	50.000	4,0	1,92	1,10
		70.000	4,8	2,01	1,13
250 kg ha ⁻¹ de adubo + 155 kg ha ⁻¹ de ureia			3,5 A	2,09 A	1,27 A
500 kg ha ⁻¹ de adubo + 310 kg ha ⁻¹ de ureia			4,2 A	2,02 A	1,15 B
Média espaçamento entre linhas: 0,4 m			3,3 B	2,10 A	1,23 A
Média espaçamento entre linhas: 0,8 m			4,5 A	2,00 A	1,18 A

Médias, na coluna, seguidas de letras maiúsculas diferentes, diferem entre si pelo Teste F a 5%, na comparação entre as médias dos níveis de adubações baixo e alto ou espaçamentos 0,4 e 0,8 m.

Na Tabela 1, é possível observar que os fatores individuais de nível de adubação, espaçamento entre linhas e densidade de plantas não causaram efeito sobre a altura final das plantas ($P > 0,05$). Na média geral, o híbrido avaliado caracterizou-se como material de porte baixo a médio (menor que 2,20 m),

sendo interessante para a produção de silagem, já que plantas muito altas podem ser mais susceptíveis ao quebramento e acamamento, prejudicando a colheita e a produtividade da lavoura (PEREIRA et al., 2017).

Para as variáveis altura de planta e número de folhas secas não houve interferência do nível de adubação

($P > 0,05$) apresentando valores médios de 2,05 m e 3,89 folhas secas por planta. Entretanto, a altura de inserção da primeira espiga foi menor para o maior nível de adubação mais alto (500 kg ha⁻¹ de adubo (N-P₂O₅-K₂O: 08-30-20) + 310 kg ha⁻¹ de ureia (140 kg de N) ($P < 0,05$).

As variáveis altura de planta e altura da inserção da primeira espiga não tiveram efeito do fator espaçamento entre linhas ($P > 0,05$). Esses dados corroboram com os encontrados por Skonieski et al. (2014), que observaram que a altura da planta e a inserção da primeira espiga da planta não foram influenciadas pelos diferentes espaçamentos entre linhas.

Entretanto, o aumento do espaçamento entre linhas de 0,4 m para 0,8 m determinou aumento no número de folhas secas por planta ($P < 0,05$).

O fator densidade de plantas não provocou efeito sobre as variáveis altura de inserção da primeira espiga, altura de planta e número de folhas secas ($P > 0,05$) (Tabela 2). De forma semelhante, Pereira et al. (2017) e Neumann et al. (2018) também não encontraram diferença para as variáveis altura de inserção da primeira espiga, altura de planta e número de folhas secas em diferentes densidades de plantas.

Os valores médios de produção de biomassa verde, biomassa seca e de grãos de milho, conforme sistema de cultivo aos 123 dias do plantio para silagem, estão apresentados na Tabela 2.

Com relação aos valores médios de produção de biomassa verde, biomassa seca e de grãos de milho,

Tabela 2. Valores médios de produção de biomassa verde, biomassa seca e de grãos de milho, conforme sistema de cultivo aos 123 dias do plantio para silagem.

Nível de adubação	Espaçamento (m)	Densidade (plantas ha ⁻¹)	Biomassa verde (kg ha ⁻¹)	Biomassa seca (kg ha ⁻¹)	Grãos (kg ha ⁻¹)	
250 kg ha ⁻¹ de adubo + 155 kg ha ⁻¹ de ureia	0,4	50.000	37.443	14.046	6.400	
		70.000	49.196	18.672	9.730	
	0,8	50.000	38.835	13.486	5.934	
		70.000	43.034	15.569	5.918	
500 kg ha ⁻¹ de adubo + 310 kg ha ⁻¹ de ureia	0,4	50.000	47.048	16.747	9.399	
		70.000	59.425	21.938	11.415	
	0,8	50.000	47.345	17.603	8.299	
		70.000	49.238	18.800	8.839	
	250 kg ha ⁻¹ de adubo + 155 kg ha ⁻¹ de ureia			42.127 B	15.443 B	6.996 B
	500 kg ha ⁻¹ de adubo + 310 kg ha ⁻¹ de ureia			50.764 A	18.772 A	9.488 B
Média espaçamento entre linhas: 0,4 m			3,3 B	2,10 A	1,23 A	
Média espaçamento entre linhas: 0,8 m			4,5 A	2,00 A	1,18 A	

Médias, na coluna, seguidas de letras maiúsculas diferentes, diferem entre si pelo Teste F a 5%, na comparação entre as médias dos níveis de adubações baixo e alto.

observou-se que o milho cultivado com o maior nível de adubação proporcionou maiores produções de biomassa verde (20,5%), de biomassa seca (21,5%) e de grãos (35,6%), comparado ao milho cultivado com o menor nível de adubação ($P < 0,05$) (Tabela 2).

Oliveira et al. (2016) verificaram que a produtividade de grãos apresentou efeito dose e resposta para o aumento da dose de nitrogênio na cultura do milho. Afinal, dentre os nutrientes, o de maior importância para a cultura do milho é o nitrogênio, o qual está relacionado ao crescimento e ao rendimento da planta. A disponibilidade deste composto químico está diretamente relacionada ao estado fisiológico

da planta que define o número de óvulos e ovários contidos na espiga. Além disso, existe uma ligação direta entre a formação de grãos com a translocação de açúcares e nitrogênio na planta de milho, pois a sacarose e o nitrogênio contidos nos órgãos vegetativos se deslocam das fontes até os drenos para promover o desenvolvimento de espigas e grãos (BASI et al., 2011).

Para os parâmetros produção de biomassa verde, biomassa seca e de grãos de milho, houve interação dupla significativa entre os fatores espaçamento entre linhas e densidade de plantio ($P < 0,05$).

Na Tabela 3 é possível avaliar a produção de biomassa verde, biomassa seca e de grãos de milho,

conforme espaçamento entre linhas e densidade populacional na cultura do milho.

Tabela 3. Produção de biomassa verde, biomassa seca e de grãos de milho, conforme espaçamento entre linhas e densidade populacional na cultura do milho, conforme sistema de cultivo aos 123 dias do plantio para silagem.

Produção (kg ha ⁻¹)	Espaçamento entre linhas (m)	Densidade populacional (plantas ha ⁻¹)	
		50.000	70.000
Biomassa Verde	0,4	42.245 bA	54.310 aA
	0,8	43.090 aA	46.136 aB
Biomassa Seca	0,4	15.396 bA	20.305 aA
	0,8	15.544 aA	17.184 aB
Grãos	0,4	7.899 bA	10.572 aA
	0,8	7.116 aA	7.378 aB

Letras minúsculas diferentes na linha comparam o efeito do espaçamento entre linhas dentro de cada densidade populacional, enquanto que letras maiúsculas diferentes na coluna comparam o efeito da densidade populacional dentro de cada espaçamento entre linhas, pelo Teste F a 5%.

O milho, independentemente do nível de adubação, quando cultivado com espaçamento entre linhas de 0,4 m foi influenciado com o aumento da densidade populacional. Em densidade de 70.000 plantas⁻¹ ha⁻¹ obteve produções de biomassa verde, de biomassa seca e de grãos superiores (12.065, 5.215, 2.673 kg ha⁻¹, respectivamente), comparativamente ao milho cultivado com espaçamento entre linhas de 0,4 m e 50.000 plantas ha⁻¹ (P<0,05). Entretanto, o milho cultivado com espaçamento entre linhas de 0,8 m e 50.000 ou 70.000 plantas⁻¹ ha⁻¹ não obteve diferença entre as associações de cultivo (P>0,05). Tais resultados de produção de biomassa verde observada, estão dentro da amplitude encontrada por Neumann et al. (2009) de 37.000 a 75.000 toneladas de massa verde por hectare em plantas colhidas entre 34 e 40% de matéria seca.

A elevação na produção de grãos e de matéria seca com o aumento na densidade de plantas é explicado por Amaral Filho et al. (2005), por otimizar a eficiência da interceptação de luz pelo aumento do índice foliar mesmo nos estádios fenológicos iniciais, melhorando o aproveitamento de água e nutrientes, reduzindo a competição inter e intra-específica por esses fatores.

A redução do espaçamento associado a densidade de 70.000 plantas⁻¹ ha⁻¹ proporcionou maiores rendimentos de biomassa verde, biomassa seca e de grãos (P<0,05). Enquanto que a alteração dos espaçamentos associados a 50.000 plantas⁻¹ ha⁻¹ não provocou efeito nos parâmetros apresentados na Tabela 3 (P>0,05). Estes resultados corroboram com os resultados obtidos por Bortolini et al. (2002), que verificaram aumento de rendimento de grãos de 9% e 26%, quando o espaçamento entre linhas foi reduzido de 0,9 m para 0,7 m e 0,45 m, respectivamente. Também são compatíveis aos resultados obtidos por Argenta et al. (2001b) ao observar um incremento de 716 kg ha⁻¹ no rendimento de grãos para cada 0,2 m de redução no espaçamento entre linhas.

Tais resultados podem ser explicados a partir do pressuposto que menores espaçamentos entre linhas propiciam melhor aproveitamento de luz, água e de nutrientes e melhor distribuição das plantas na área, elevando a produtividade de biomassa verde (SOARES et al., 2017), biomassa seca e de grãos. Além disso, de acordo com o mesmo autor, espaçamentos reduzidos propiciam melhor controle de plantas invasoras e controle de erosão.

Plantas de menor porte e folhas eretas permitem semeadura mais adensada, com maior capacidade fotossintética e, assim, maior produtividade, desde que não haja limitação de água e nutrientes (STACCIARINI et al., 2010).

Os teores médios de matéria seca da planta e de seus componentes estruturais aos 123 dias após a semeadura podem ser observados na Tabela 4.

Observou-se que, levando em consideração o fator nível de adubação de forma isolada, os teores de matéria seca de planta inteira e grãos, no momento da ensilagem, aumentaram com o aumento do nível de adubação em 2,7% e 1,3%, respectivamente (P<0,05). Enquanto que os teores de matéria seca de colmo, folhas, do conjunto brácteas e sabugo não foram influenciados pelo aumento do nível de adubação isoladamente (P>0,05).

Segundo Basi et al. (2011), folhas bem nutridas de nitrogênio possuem maior capacidade de assimilar gás carbônico e sintetizar carboidratos durante o processo de fotossíntese. Tal fato, resulta em acúmulo de matéria seca e maior rendimento de grãos.

Os teores de matérias seca de folhas, brácteas e sabugo, grãos e planta inteira não foram influenciados pelo fator de estudo densidade populacional isoladamente. Já, o teor de matéria seca do colmo, independentemente do nível de adubação e

Tabela 4. Teores médios de matéria seca (MS) da planta e de seus componentes estruturais aos 123 dias de cultivo do milho para silagem.

Nível de adubação	Espaçamento (m)	Densidade (plantas ha ⁻¹)	Teores de matéria seca (%)				
			Colmo	Folhas	Brácteas/Sabugo	Grãos	Planta inteira
250 kg ha ⁻¹ + 155 kg ha ⁻¹ de ureia	0,4	50000	21,6	43,5	33,4	63,5	37,5
		70000	23,7	32,8	37,2	63,5	38,0
	0,8	50000	20,6	29,7	31,2	59,2	34,8
		70000	21,7	44,9	38,2	61,8	36,2
500 kg ha ⁻¹ de adubo + 310 kg ha ⁻¹ de ureia	0,4	50000	18,3	34,5	33,3	62,6	35,7
		70000	24,1	32,3	33,2	62,9	36,9
	0,8	50000	17,1	35,1	40,5	68,4	37,6
		70000	21,3	41,8	34,4	61,0	38,2
250 kg ha ⁻¹ de adubo + 155 kg ha ⁻¹ de ureia			21,9 A	37,7 A	35,0 A	62,0 B	36,6 B
500 kg ha ⁻¹ de adubo + 310 kg ha ⁻¹ de ureia			20,2 A	35,9 A	35,3 A	63,7 A	37,1 A
Média densidade populacional de 50000 plantas ha ⁻¹			19,4 A	35,7 A	34,6 A	63,4 A	36,4 A
Média densidade populacional de 70000 plantas ha ⁻¹			22,7 B	37,9 A	35,7 A	62,3 A	37,3 A

Médias, na coluna, seguidas de letras maiúsculas diferentes, diferem entre si pelo Teste T a 5%, nos fatores nível de adubação alto e baixo ou densidade de plantas de 50 e 70 mil plantas ha⁻¹.

espaçamento entre linhas, aumentou com o aumento da densidade populacional de 50.000 para 70.000 plantas ha⁻¹ em 17% (P<0,05).

De acordo com Stacciarini et al. (2010) em altas densidades populacionais, há maior competição pela luz, provocando maior crescimento em altura da planta em detrimento ao crescimento radial do colmo. Isso porque ocorre uma estimulação do crescimento do colmo em direção à luz, que provoca aumento da porcentagem de colmo (MANDIĆ et al., 2015), embora a altura de plantas e o teor de matéria seca de planta inteira não terem sido influenciados pelo fator de estudo densidade populacional.

Os teores médios de matéria seca da planta inteira e dos componentes estruturais conjugados brácteas mais sabugo apresentaram interação dupla significativa entre os fatores nível de adubação e espaçamento entre linhas (P<0,05), e estão apresentados na Tabela 5.

O milho, independente da densidade de plantas ha⁻¹, quando cultivado em nível maior de adubação e em espaçamento de 0,8 m, alcançou maiores proporções de matéria seca de planta inteira e de componentes brácteas mais sabugo comparativamente as demais associações de cultivo (P<0,05).

Tabela 5. Teores médios de matéria seca (MS) da planta e do conjunto brácteas mais sabugo, conforme espaçamento entre linhas e nível de adubação na cultura do milho para silagem aos 123 dias.

Teores de MS (%)	Espaçamento entre linhas (m)	Nível de Adubação	
		250 kg ha ⁻¹ de adubo + 155 kg ha ⁻¹ de ureia	500 kg ha ⁻¹ de adubo + 310 kg ha ⁻¹ de ureia
Planta inteira	0,4	37,7 aA	36,3 aA
	0,8	35,5 aB	37,9 bA
Brácteas/Sabugo	0,4	35,3 aA	33,2 aA
	0,8	34,7 aA	37,5 bB

Na interação entre espaçamento entre linhas e nível de adubação, letras minúsculas diferentes na linha, comparam o efeito do espaçamento entre linhas dentro de cada nível de adubação, enquanto que letras maiúsculas diferentes na coluna, comparam o efeito do nível de adubação dentro de cada espaçamento entre linhas, pelo Teste F a 5%.

O teor de matéria seca de planta inteira, em nível de adubação de menor adubação, diminuiu com o aumento do espaçamento entre linhas em 5,83% (P<0,05). Lima et al. (2016) também relataram diminuição da

matéria seca de planta inteira e do conjunto brácteas e sabugo com o aumento do espaçamento entre linhas.

O teor de matéria seca de componentes brácteas mais sabugo, em nível de maior adubação, aumentou com o aumento do espaçamento entre linhas em 12,95% ($P < 0,05$). Este dado se mostra desfavorável no que diz respeito a produção de milho para silagem de planta inteira, já que a menor participação de brácteas e sabugo na planta contribui para melhorar a qualidade da silagem, pois estas frações apresentam altos teores de fibra, baixos teores de proteína e menor digestibilidade (NEUMANN et al., 2016).

A composição física estrutural da planta de milho para silagem, aos 123 dias de cultivo, encontram-se registradas na Tabela 6.

Através dos dados apresentados na Tabela 6, observa-se que de forma isolada, houve efeito do fator densidade populacional sobre a constituição da planta, indicando maior participação do conjunto brácteas mais sabugo e grãos na estrutura da planta quando o milho foi cultivado com 50 mil plantas⁻¹ ha⁻¹ comparativamente ao cultivo com 70 mil plantas⁻¹ ha⁻¹. Também observou-se que quando houve a elevação da densidade de plantas para 70.000 plantas

Tabela 6. Composição física estrutural da planta de milho aos 123 dias de cultivo para silagem.

Nível de Adubação	Espaçamento (m)	Densidade (plantas ha ⁻¹)	Componentes da planta (% na MS)			
			Colmo	Folhas	Brácteas/Sabugo	Grãos
250 kg ha ⁻¹ de adubo + 155 kg ha ⁻¹ de ureia	0,4	50000	23,2	23,2	15,9	37,7
		70000	23,5	21,0	14,3	41,2
	0,8	50000	22,6	16,5	18,8	42,0
		70000	28,7	27,3	16,4	27,6
500 kg ha ⁻¹ de adubo + 310 kg ha ⁻¹ de ureia	0,4	50000	20,6	19,5	19,6	40,3
		70000	22,7	19,7	17,3	40,3
	0,8	50000	25,3	21,7	17,5	35,5
		70000	24,3	26,3	14,5	34,8
Média densidade: 50000 plantas ha ⁻¹			22,9 A	20,2 B	17,9 A	38,9 A
Média densidade: 70000 plantas ha ⁻¹			24,8 A	23,6 A	15,6 B	36,0 B

Médias, na coluna, seguidas de letras maiúsculas diferentes, diferem entre si pelo Teste F a 5% na comparação de médias entre densidade de plantas.

ha⁻¹ houve um aumento na participação de folhas.

Na análise dos dados da Tabela 7, observa-se que houve interação dupla significativa entre os fatores nível de adubação e espaçamento entre linhas para participação dos componentes folhas e conjunto brácteas mais sabugo na estrutura física da planta. Também observa-se que houve interação dupla significativa entre os fatores densidade populacional e espaçamento entre linhas para participação dos componentes folhas e grãos na estrutura física da planta.

A interação dupla significativa entre os fatores nível de adubação e espaçamento entre linhas para participação dos componentes folhas e conjunto brácteas mais sabugo na estrutura física da planta, observada na Tabela 7, apresenta que em sistema de menor adubação, quando elevou-se o espaçamento entre linhas, houve uma diminuição da participação de folhas e aumento do conjunto brácteas e sabugos.

Entretanto, em maior adubação, o aumento do espaçamento entre linhas aumentou os componentes folhas e reduziu a proporção de brácteas e sabugos na estrutura da planta de milho. Além disso, observa-se que ao se aumentar o nível de adubação em espaçamento 0,4, ocorre aumento da proporção de brácteas mais sabugo. E ao se aumentar o nível de adubação em espaçamento 0,8, ocorre aumento da proporção de folhas na estrutura da planta.

Com relação interação dupla significativa entre os fatores densidade populacional e espaçamento entre linhas para participação dos componentes folhas e grãos na estrutura física da planta, observa-se na Tabela 7, que o sistema de cultivo com espaçamento de 0,8 m de distância entre as linhas, ao se aumentar a densidade populacional de 50 mil plantas⁻¹ ha⁻¹ para 70 mil plantas⁻¹ ha⁻¹, houve aumento da proporção de folhas e diminuição da proporção de grãos na

planta de milho. Quando manteve-se a densidade populacional de 70 mil plantas⁻¹ ha⁻¹ e aumentou-se o espaçamento entre linhas, também houve aumento

da participação de folhas na estrutura física da planta e diminuição na proporção de grãos.

Tabela 7. Composição física estrutural da planta de milho, conforme espaçamento entrelinhas e nível de adubação ou espaçamento entre linhas e densidade populacional.

Componentes (% na MS)	Espaçamento entre linhas (m)	Nível de Adubação	
		250 kg ha ⁻¹ de adubo + 155 kg ha ⁻¹ de ureia	500 kg ha ⁻¹ de adubo + 310 kg ha ⁻¹ de ureia
Folhas	0,4	22,1 aA	19,6 aB
	0,8	21,9 bA	24,0 aA
Brácteas/Sabugo	0,4	15,1 bB	18,4 aA
	0,8	17,6 aA	16,0 aB
		Densidade Populacional (plantas ha ⁻¹)	
		50000	70000
Folhas	0,4	21,4 aA	20,4 aB
	0,8	19,1 bA	26,8 aA
Grãos	0,4	39,0 aA	40,7 aA
	0,8	38,7 aA	31,2 bB

Na interação entre espaçamento entre linhas e nível de adubação, letras minúsculas diferentes na linha, comparam o efeito do espaçamento entre linhas dentro de cada nível de adubação, enquanto que letras maiúsculas diferentes na coluna, comparam o efeito do nível de adubação dentro de cada espaçamento entre linhas, pelo Teste F a 5%.

Dados semelhantes foram encontrados no trabalho de Ferreira et al. (2014) em que tiveram como resultado diminuição do número de grãos com aumento da densidade de plantas (de 9 para 10,5 plantas por m²).

Os dados do presente trabalho indicaram que a densidade de plantas e espaçamento entre linhas no cultivo do milho modificaram morfológicamente as plantas e conseqüentemente a qualidade da silagem resultante. A explicação para esse comportamento está, novamente, ligada à competição por luz. Sendo que o aumento do espaçamento entre linhas, com população fixa, favorece a competição por luz e, com isso, ocorrem modificações no desenvolvimento das plantas (LIMA et al., 2016). A modificação da qualidade da silagem é justificada por Nussio et al. (2001), baseado em análises químico-bromatológicas dos componentes estruturais da planta de milho, ao constatarem que a menor participação do colmo, brácteas e sabugo na planta aumenta a qualidade da silagem, visto que essas frações, de maneira geral, apresentam-se com altos teores de fibra, baixos teores

de proteína bruta e menor digestibilidade.

De modo geral, o aumento da população de plantas afetou a distribuição dos componentes da massa seca total com aumento da participação de folhas e colmo e redução de espiga (brácteas mais sabugo). O aumento da densidade de semeadura tende a reduzir o tamanho das espigas, diminuindo também seu índice por planta (MARCHÃO et al., 2005). A diminuição da concentração das frações sabugo e brácteas contribuem para o aumento do valor nutritivo da forragem, pelo fato destas frações serem constituídas de parede celular de baixa qualidade (BAL, 2006). Desta forma, a contribuição destas frações na planta pode ser um critério de seleção de cultivares, buscando-se assim, plantas com menores participações destas frações ou então, plantas onde estas frações apresentem melhor valor nutritivo (ZOPOLLATTO et al., 2009), associado ao melhor arranjo de plantas na área associada à melhor época e dose para aplicação da cobertura nitrogenada.

Conclusão

Independentemente da densidade populacional e do espaçamento entre linhas, o milho cultivado em nível de maior adubação proporcionou maiores produções de matéria verde, de matéria seca, e de grãos quando comparado ao nível de menor adubação. Independentemente do nível de adubação,

o milho quando cultivado em espaçamento reduzido associado a maior população de plantas determinou maiores produções de matéria verde, de matéria seca e de grãos, comparativamente as demais associações de cultivo. O incremento na densidade de plantas levou a um aumento na participação de folhas e colmo, com diminuição da participação de brácteas e sabugo.

Referências

- AMARAL FILHO, J. P. R.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.1, p.467-473, 2005.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. V.; MANJABOSCO, E. A.; BEHEREGARAY NETO, V. Resposta de híbridos simples de milho à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.1, p.71-78, 2001b.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, v.31, n.6, p.1075-1084, 2001a.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - A.O.A.C. **Official methods of analysis**. 14 ed. Washington, D.C., 1995. 1141p.
- BAL, M.A. Effects of hybrid type, stage of maturity, and fermentation length on whole plant corn silage quality. **Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences**, v.30n.9, p.331-336, 2006.
- BASI, S.; NEUMANN, M.; MARAFON, F.; UENO, R. K. U.; SANDINI, I. E. Influência da adubação sobre a qualidade da silagem de milho. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.4, n.3, p.219-234, 2011.
- BORGES, I. D.; VON PINHO, R. G.; PEREIRA, J. L. A. R.; ALVAREZ, C. G. D. Efeito das épocas de aplicação da cobertura nitrogenada, das fontes de nitrogênio e dos espaçamentos entre fileiras na cultura do milho. **Revista Ceres**, v. 53, n.1, p.75-81, 2006.
- BORTOLINI, C. G.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G. Sistemas de aplicação de nitrogênio e seus efeitos sobre o acúmulo de N na planta de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.2, p.361-366, 2002.
- FERREIRA, G.; ALFONSO, M.; DEPINO, S.; ALESSANDRI, E. Effect of planting density on nutritional quality of green-chopped corn for silage. **Journal of Dairy Science**, v.97, n.9, p.5918-2, 2014.
- LIMA, S. F.; ALVAREZ, R. C. F.; CONTARDI, L. M. Influência do espaçamento entre linhas em características fitotécnicas e acúmulo de massa seca de híbridos de milho. **Ambiência**, v.12, n.4, p.1027-1039, 2016.
- LUPATINI, G. C.; MACCARI, M.; ZANETTE, S.; PIACENTINI, E.; NEUMANN, M. Avaliação do desempenho agrônomo de híbridos de milho (*Zea mays*, L.) para produção de silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.3, n.2, p.185-196, 2005.
- MARCHÃO, R. L.; BRASIL, E. M.; DUARTE, J. B.; GUIMARÃES, C. M.; GOMES, J. A. Densidade de plantas e características agrônomicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, n.2, p.93-101, 2005.
- NEUMANN, M.; HORTS, E. H.; FIGUEIRA, D. H.; LEÃO, G. F. M.; CECCHIN, D. Potential of corn silage production in different sowing times in the Paraná Midwest region. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v.9, n.1, p.37-44, 2016.
- NEUMANN, M.; POCZYNEK, M.; LEÃO, G. F. M.; FIGUEIRA, D. N.; SOUZA, A. M. Desempenho de híbridos de milho para silagem cultivados em diferentes locais com três densidades populacionais. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.17, n.1, p.49-62, 2018.
- NEUMANN, M.; RESTLE, J.; MUHLBACH, P. R. F.; NORNBERG, J. L.; ROMANO, M. A.; LUSTOSA, S. B. C. Comportamento ingestivo e de atividades de novilhos confinados com silagens de milho de diferentes tamanhos de partícula e alturas de colheita. **Ciência Animal Brasileira**, v.10, n.1, p.462-473, 2009.

- NUSSIO, L. G.; SIMAS, J. M. C.; LIMA, M. M. Determinação do ponto de maturidade do milho para silagem. **In:** Anais do 2º Workshop sobre milho para silagem. Piracicaba: FEALQ; p.11-26, 2001.
- NUSSIO, L. G.; VITTI, G. C. **Correção e Adubação de Culturas de Milho e Sorgo de Alta Produtividade para Ensilagem. Milho e Sorgo na Alimentação de Bovinos**, Piracicaba: FEALQ, 1991.
- OLIVEIRA, F. C.; NETTO, M. S.; ARAUJO, L. S.; ALMEIDA, A. C. S.; SILVEIRA, P. M.; CUNHA, P. C. R. Corn development and production in function of sources of nitrogen fertilizers and doses. **Revista Caatinga**, v.29, n.4, p.812-821, 2016.
- PEREIRA, L. B.; MACHADO, D. S.; ALVES FILHO, D. C.; BRONDANI, I. L.; SILVA, V. S.; ARGENTA, V. S.; ARGENTA, F. M.; MOURA, A. F.; BORCHATE, D. Características agronômicas da planta e produtividade da silagem e grãos de milho submetido a diferentes arranjos populacionais. **Magistra**, v.29, n.1, p.17-27, 2017.
- RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. Como a planta de milho se desenvolve. **Potafos: Arquivo Agrônomo**, n.15, 2003, 20p.
- SKONIESKI, F. R.; NÖRNBERG, J. L.; KESSLER, J. D.; DAVID, D. B.; AZEVEDO, E. B.; BRÜNING, G.; PIMENTEL, C. M. M. Corn plant arrangement and its effect on silage quality. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.43, n.3, p.114-119, 2014.
- SOARES, R. J. S.; PINTO, A. A.; CAMARA, F. T.; SANTANA, L. D. Produtividade de massa verde de milho transgênico em função do arranjo populacional na região do Cariri, CE. **Interações**, v.18, n.2, p.117-127, 2017.
- STACCIARINI, T. C. V.; CASTRO, P. H. C.; BORGES, M. A.; GUERIN, H. F.; MORAES, P. A. C.; GOTARDO, M. Avaliação de caracteres agronômicos da cultura do milho mediante a redução do espaçamento entre linhas e aumento da densidade populacional. **Revista Ceres**, v.57, n.4, p.516-519, 2010.
- ZOPOLLATTO, M.; NUSSIO, L. G.; PASIANI, S. F.; RIBEIRO, J. L.; SARTURI, J. O.; MOURÃO, G. B. Relações biométricas entre o estágio de maturação e a produtividade de híbridos de milho para produção de silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.1, p.256-264, 2009.