



Universidade Federal do Maranhão
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal
BR 222, Km 04, Bairro Boa Vista, Chapadinha – MA
Telefone (98) 3272-9902 E-mail: ppgca@ufma.br
Homepage: <http://www.ppgca.ufma.br>



CARACTERÍSTICAS MORFOAGRÔNOMICAS, PRODUÇÃO DE GRÃOS E VALOR
NUTRICIONAL DAS SILAGENS DE MILHO NA FORMA DE RAÇÃO TOTAL
SUBMETIDOS À FERTIRRIGAÇÃO COM SILÍCIO E INOCULAÇÃO COM
AZOSPIRILLUM BRASILENSE NA ENTRESSAFRA AGRÍCOLA

CARLOS RODOLFO DO NASCIMENTO CASTRO

Chapadinha - MA

2024



Universidade Federal do Maranhão
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal
BR 222, Km 04, Bairro Boa Vista, Chapadinha – MA
Telefone (98) 3272-9902 E-mail: ppgca@ufma.br
Homepage: <http://www.ppgca.ufma.br>



CARLOS RODOLFO DO NASCIMENTO CASTRO

CARACTERÍSTICAS MORFOAGRÔNOMICAS, PRODUÇÃO DE GRÃOS E VALOR
NUTRICIONAL DAS SILAGENS DE MILHO NA FORMA DE RAÇÃO TOTAL
SUBMETIDOS À FERTIRRIGAÇÃO COM SILÍCIO E INOCULAÇÃO COM
AZOSPIRILLUM BRASILENSE NA ENTRESSAFRA AGRÍCOLA

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós- Graduação em Ciência Animal da
Universidade Federal do Maranhão, como
requisito parcial para obtenção do título de
Mestre em Ciência Animal.

Orientador(a): Prof. Dr. Anderson de Moura Zanine
Coorientadores: Prof^ª. Dr^ª. Daniele de Jesus Ferreira
Prof. Dr. Dilier Olivera-Viciedo

Chapadinha - MA

2024



Universidade Federal do Maranhão
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal
BR 222, Km 04, Bairro Boa Vista, Chapadinha – MA
Telefone (98) 3272-9902 E-mail: ppgca@ufma.br
Homepage: <http://www.ppgca.ufma.br>



CARLOS RODOLFO DO NASCIMENTO CASTRO

CARACTERÍSTICAS MORFOAGRÔNOMICAS, PRODUÇÃO DE GRÃOS E VALOR
NUTRICIONAL DAS SILAGENS DE MILHO NA FORMA DE RAÇÃO TOTAL
SUBMETIDOS À FERTIRRIGAÇÃO COM SILÍCIO E INOCULAÇÃO COM
AZOSPIRILLUM BRASILENSE NA ENTRESSAFRA AGRÍCOLA

Aprovada em 29/ 02 /2024

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Anderson de Moura Zanine (Orientador)
Universidade Federal do Maranhão-UFMA

Profa. Dra. Daniele de Jesus Ferreira (Coorientador)
Universidade Federal do Maranhão-UFMA

Dr. Dilier Olivera Viciado (Coorientador)
Universidad de O'Higgins-Chile

Dr. Rodolfo Lizcano Toledo (Avaliador externo)
Instituto Tolimense de Formación Técnica Profesional - Colombia

Dr. Francisco Naysson de Sousa Santos (Avaliador externo)
Universidade Federal do Maranhão-UFMA



Universidade Federal do Maranhão
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal
BR 222, Km 04, Bairro Boa Vista, Chapadinha – MA
Telefone (98) 3272-9902 E-mail: ppgca@ufma.br
Homepage: <http://www.ppgca.ufma.br>

EPÍGRAFE

“A perseverança é a mãe da boa sorte”

Miguel de Cervantes



Universidade Federal do Maranhão
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal
BR 222, Km 04, Bairro Boa Vista, Chapadinha – MA
Telefone (98) 3272-9902 E-mail: ppgca@ufma.br
Homepage: <http://www.ppgca.ufma.br>



A minha mãe Maria Meiry, ao meu pai
Raimundo Carlos, a minha afilhada Rafaella,
a minha irmã Thâmara, a minha sobrinha
Juliana e ao Antônio Barbosa (*In memória*).



Universidade Federal do Maranhão
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal
BR 222, Km 04, Bairro Boa Vista, Chapadinha – MA
Telefone (98) 3272-9902 E-mail: ppgca@ufma.br
Homepage: <http://www.ppgca.ufma.br>



AGRADECIMENTOS

A Deus por me proporcionar o dom da vida. A Ele toda honra e toda glória!

Ao meu orientador Prof. Dr. Anderson Zanine, e a Profa. Dra. Daniele Ferreira pela oportunidade e pela confiança no desenvolvimento desse trabalho. A vocês meu respeito e gratidão. Obrigado por tudo!

A Universidade Federal do Maranhão (UFMA/CCCh), em especial ao Programa de Pós - Graduação em Ciência Animal (PPGCA) e a todos que o fazem, obrigada por colaborarem de forma significativa para minha formação.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio com bolsa de estudos durante o período do mestrado e a Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA).

A todos os professores que fizeram parte da minha trajetória na UFMA/CCCh, obrigada pelos exemplos, incentivos e ensinamentos.

Aos doutores Francisco Naysson, Danillo Marte, Dilier Olivera-Viciedo, Flaming Sena e Hactus Souto e Glayci Gois, Guilherme, obrigada pelas experiencias trocadas e pelos momentos de descontração e pelas dúvidas sanadas.

Agradecer aos meus pais Maria Meiry e Raimundo Carlos, aos avós, tios, tias sobrinhas e primos pelo fortalecimento durante esses 2 anos. Sem eles eu jamais teria chegado até aqui.

Agradecer aos amigos que a UFMA me trouxe, e aos amigos de turma do curso de Zootecnia turma 2017.1: Mayara Sousa, Sabrina Veras, Jairo Guse, Eduarda Castro, Maria Gomes, Mateus Matos, Maylanne Lima, Nara, Thiago Silva, Vanda e ao meu falecido amigo Antonio Barbosa.

Aos amigos Cesar, Ygor Portela, Danrley, Cledson, Rafael Marchão e outros.

Aos amigos de laboratório, em especial, Renata Costa, Mayara Santos, Clotilde Moraes e Francisca Claudia, obrigado pelo convívio, momentos alegres, e por acreditar me apoiar durante esses mais de dois anos. Vocês foram fundamentais para a realização deste projeto.

Aos bolsistas de iniciação científica, Júlia Bianca, George Lima, Diego Henrique, Wilame Júnior, João Victor e Victória Maria e aos estagiários Leandro Costa e Gisele Thamires obrigada por toda ajuda durante o experimento em campo e realização das análises laboratoriais.

Ao grupo FOPAMA, obrigada pelos empréstimos de materiais para análises

Ao grupo LANUMA, obrigada pelo suporte com materiais e equipamentos.

Ao grupo GEPFITO, obrigado por disponibilizarem o laboratório para realização das análises microbiológicas.

Aos funcionários responsáveis pela limpeza e segurança, que se tornaram amigos de conversas e vivencia.

OBRIGADO!

RESUMO

Objetivou-se avaliar as características morfoagrômicas, produção de grãos e valor nutricional das silagens de milho e na forma de ração total submetidos à fertirrigação com silício e inoculação com *A. brasilense* durante o período de entressafra agrícola. O experimento foi realizado em delineamento em blocos ao acaso, em esquema fatorial 4x2, com cinco repetições, com um total de 40 unidades experimentais. A aplicação do silício correspondeu às dosagens 0, 4, 8 e 12 kg/ha, sem e com inoculação de *A. brasilense* Ab-V5 e Ab-V6 em proporção de 50% cada. A cultivar empregada foi o híbrido de milho (*Zea mays* L. AG - 1051). Avaliou-se as características morfológicas e estruturais, produção e a quantificação da biomassa, sanidade do índice de colheita de grãos, eficácia agrônômica e a relação C:N do milho durante o período de entressafra agrícola. As silagens foram avaliadas quanto a microbiologia, perfil fermentativo e composição química-bromatológica. Foi observado interação ($P<0,05$) para variáveis comprimento da espiga sem e com palha; diâmetro da espiga com palha (cm); produção de grãos (g/kg); deposição de N e relação C/N (g/kg). As estimativas pelo modelo de regressão apresentaram maior comprimento da espiga sem e com palha no nível de 7,83 e 9,33 kg ha⁻¹ de Si, obtendo um ponto de máximo de 33,0 e 20,7 cm, respectivamente. O diâmetro da espiga com palha, que apresentou efeito linear ($P<0,05$) sem a inoculação com *A. brasilense* resultando em medias variando de 46,22 a 58,33 mm. A produção de grãos no nível 7,98 kg ha⁻¹, atingiu um ponto de máximo produção de 12,35 t/ha. A deposição de N (g/kg) sem *A. brasilense* com apresentou mínima 9,61 e máxima deposição de 12,10 g/kg, em contrapartida, a relação C/N reduziu de 431,32 a 351,37 g/kg à medida que as doses de Si aumentaram. Houve efeito isolado do Si ($P<0,05$) para às variáveis número de folhas vivas e mortas, altura da planta até a ponta da inflorescência (cm); altura da planta até a folha bandeira (cm); produção de matéria verde (t/ha); produção de matéria verde das folhas, colmo (t/ha); acúmulo de água (t/ha); eficiência do uso de água (kg/MS/mm/ha); produção de matéria seca (t/ha); peso da planta inteira e peso da espiga sem palha (g); produção de matéria seca das folhas, colmo e espiga (t/ha). As variáveis cresceram linearmente com o aumento das doses. Houve efeito quadrático do Si ($P<0,05$) para às variáveis altura da planta até a inserção da espiga (cm); matéria verde da espiga (t/ha) e peso da espiga com palha (g). Altura da planta até a inserção da espiga obteve altura de máximo de 98,54 na dose de 7,49 kg/ha de Si. A produção de matéria verde da espiga foi beneficiada até as doses de máximo equivalente a 9,33 kg ha⁻¹ de Si, com uma produção de 17,03 t/ha. O ponto de máximo para o peso da espiga com palha foi de 359,1 g, na dose de Si equivalente a 10,48 kg/ha. Houve efeito ($P<0,05$) para à microbiologia sob a população de BAL, mofos e leveduras. Os números de BAL atingiram um pico 6,34 log₁₀ UFC/g quando se utilizou a dose de 4 kg/ha nas silagens de milho puro. A inoculação com *A. brasilense* e a fertirrigação com Si proporcionam maiores rendimentos morfoagrômicos para o número de folhas vivas, altura da planta, comprimento da espiga com e sem palha, produção de matéria verde e seca e de grãos, assim como na relação C:N, sendo recomendada a dose de 12 kg ha⁻¹ de Si, e para a população microbológica de BAL, mofos e levedura recomenda-se a dose de 4 kg ha⁻¹ de Si.

Palavras-chave: composição química-bromatológica, espiga, microbiologia, *Zea mays*

ABSTRACT

The objective was to assess the morphoagronomic characteristics, grain production, and nutritional value of corn silage and total feed subjected to fertigation with silicon and inoculation with *A. brasilense* during the agricultural offseason. The experiment was conducted in a randomized complete block design in a 4x2 factorial scheme, with five replications, totaling 40 experimental units. Silicon application corresponded to doses of 0, 4, 8, and 12 kg/ha, without and with inoculation of *A. brasilense* Ab-V5 and Ab-V6 in a 50% ratio each. The cultivar employed was the maize hybrid (*Zea mays* L. AG - 1051). Morphological and structural characteristics, biomass production and quantification, grain harvest index health, agronomic efficiency, and the C:N ratio of maize were evaluated during the agricultural offseason. Silages were assessed for microbiology, fermentative profile, and chemical-bromatological composition. An interaction was observed ($P < 0.05$) for variables such as ear length with and without husk, ear diameter with husk (cm), grain production (g/kg), nitrogen deposition, and C/N ratio (g/kg). Regression model estimates showed greater ear length with and without husk at the level of 7.83 and 9.33 kg ha⁻¹ of Si, reaching a maximum point of 33.0 and 20.7 cm, respectively. The ear diameter with husk, which exhibited a linear effect ($P < 0.05$) without the inoculation of *A. brasilense*, resulted in means ranging from 46.22 to 58.33 mm. Grain production at the level of 7.98 kg/ha reached a maximum production point of 12.35 t/ha. Nitrogen deposition (g/kg) without *A. brasilense* showed a minimum of 9.61 and a maximum deposition of 12.10 g/kg; in contrast, the C/N ratio decreased from 431.32 to 351.37 g/kg as Si doses increased. There was an isolated effect of Si ($P < 0.05$) for variables such as the number of live and dead leaves, plant height to the tip of the inflorescence (cm), plant height to the flag leaf (cm), green matter production (t/ha), green matter production of leaves, stem (t/ha), water accumulation (t/ha), water use efficiency (kg/DM/mm/ha), dry matter production (t/ha), whole plant weight, and husked ear weight (g); dry matter production of leaves, stem, and ear (t/ha). These variables increased linearly with increasing doses. There was a quadratic effect of Si ($P < 0.05$) for variables such as plant height to ear insertion (cm), ear green matter (t/ha), and husked ear weight (g). Plant height to ear insertion reached a maximum height of 98.54 at a Si dose equivalent to 7.49 kg/ha. The green matter production of the ear benefited up to maximum doses equivalent to 9.33 kg ha⁻¹ of Si, with a production of 17.03 t/ha. The maximum point for husked ear weight was 359.1 g, at a Si dose equivalent to 10.48 kg/ha. There was an effect ($P < 0.05$) on microbiology regarding the population of LAB, molds, and yeasts. LAB numbers peaked at 6.34 log₁₀ CFU/g when using the 4 kg/ha dose in pure corn silage. Inoculation with *A. brasilense* and fertigation with Si provided higher morphoagronomic yields for the number of live leaves, plant height, ear length with and without husk, green and dry matter production, grain production, as well as in the C:N ratio. A Si dose of 12 kg ha⁻¹ is recommended, and for the microbiological population of LAB, molds, and yeast, a Si dose of 4 kg ha⁻¹ is recommended.

Keywords: Chemical-bromatological composition, corn cob, microbiology, *Zea mays*

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

ACA = Acúmulo de água (t/ha)
AP = Altura da planta
APFB = Altura da planta até a folha bandeira
APIE = Altura da ligula até inserção da espiga
APPI = Altura da planta até a ponta da inflorescência
BAL = Bactérias ácido lácticas
BDA = Batata dextrose ágar
BOD = Biochemical oxygen demand
BPCP = Bactérias promotoras de crescimento em plantas
BV = Biomassa verde
C = Carbono
C/N = Relação carbono nitrogênio
cm = Centímetro
CT = Capacidade tampão
DBC = Delineamento em blocos casualizados
DC = Diâmetro de colmo
DECP = Diâmetro da espiga com palha
DESP = Diâmetro da espiga sem palha
EPM = Erro padrão da média
EUA = Eficiência do uso de água (kg /MS/ mm/ ha)
FDA = Fibra em detergente ácido
FDA = Fibra em detergente ácido
FDN = Fibra em detergente neutro
g = Grama
h = Hora
HEM = Hemicelulose
Kg = Kilograma
LIG = Lignina
ML = Mofos e leveduras
mm = Milímetro
MO = Matéria orgânica
MS = Matéria seca

MSC = Matéria seca de colmo
MSPI = Matéria seca de planta inteira.
N= Nitrogênio
NDT = Nutrientes digestíveis totais
NFMp = Número de folhas mortas por planta
NFVp = Número de folhas vivas por planta
NG = Número de grãos
PB = Proteína bruta
PC = Peso de colmo
PCOL = Produção de colmo (t/ha)
PE = Perdas por efluentes
PECP = Peso da espiga com palha (g/kg)
PES = Produção de espiga (t/ha)
PESP = Peso da espiga sem palha (g/kg)
PF = Produção de folhas (t/ha)
PG (g/kg) = Perdas por gases
PG = Produção de grãos (t/ha)
PGR = Peso dos grãos
pH = Potencial hidrogênio-iônico
PMS = Produção de matéria seca (t/ha)
PMSC – Produção de matéria seca de colmo (t/ha)
PMSF = Produção de matéria seca da folha (t/ha)
PMV = Produção de matéria verde (t/ha)
PPI = Peso da planta inteira (g/kg)
PRNT = Poder relativo de neutralização
RMS = Recuperação de matéria seca
Si = Silício
SRTB = Silagem de ração total para bovinos
SRTC = Silagem de ração total para cabras
UFC = Unidade formadora de colônia

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características químicas da análise de solo	26
Tabela 2 - Proporção dos ingredientes usados para a formulação das TMR	32
Tabela 3 - Composição químico-bromatológica dos ingredientes e das dietas	32
Tabela 4 - Características morfológicas de acordo com a inclusão do <i>Azospirillum</i> brasileiro no momento do plantio do milho safrinha.....	38
Tabela 5 - Características produtivas de acordo com a inclusão do <i>A. brasilense</i> no momento do plantio do milho safrinha.....	41
Tabela 6 - Sanidade das folhas, colmos e características dos grãos do milho safrinha fertirrigados com Si, e inoculados sem e com a utilização de <i>A. brasilense</i>	44
Tabela 7 - Relação C:N (g/kg) das partes da planta do milho safrinha com diferentes doses de Si, sem e com a utilização de <i>A. brasilense</i>	45
Tabela 8 - Valores médios de pH, perdas por efluentes, perdas por gases, capacidade tampão e recuperação de matéria seca em silagens de milho puro com doses de Si (kg/ha) e inoculação de <i>A. brasilense</i>	47
Tabela 9 - Valores médios de pH, perdas por efluentes, perdas por gases, capacidade tampão e recuperação de matéria seca em silagens para bovino de corte com doses de Si (kg/ha) e inoculação de <i>A. brasilense</i>	48
Tabela 10 - Valores médios de pH, perdas por efluentes, perdas por gases, capacidade tampão e recuperação de matéria seca em silagens para cabras de leite com doses de Si (kg/ha) e inoculação de <i>A. brasilense</i>	48
Tabela 11 - Composição química (g/kg MS) das silagens exclusivas de milho, com doses de Si (kg/ha), com e sem a utilização de <i>A. brasilense</i>	54
Tabela 12 - Composição química (g/kg MS) das silagens de bovino de corte, com doses de Si (kg/ha), com e sem a utilização de <i>A. brasilense</i>	54
Tabela 13 - Composição química (g/kg MS) das silagens de cabras de leite com doses de Si (kg/ha), com e sem a utilização de <i>A. brasilense</i>	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área experimental	24
Figura 2. Gráficos de temperatura (°C), umidade (%) e precipitação (mm) durante o período (meses) do experimento	25
Figura 3. Croqui da área experimental e distribuição dos tratamentos.....	27
Figura 4. Processos para a quantificação da população microbiana nas silagens de milho	35
Figura 5. Características morfológicas da planta do milho de acordo com as doses Si no momento do plantio do milho safrinha para número de folhas vivas (A); número de folhas mortas (B); altura da planta até a ponta da inflorescência (C); altura da planta até a inserção da folha bandeira (D); altura da planta até a inserção da espiga (E); diâmetro do colmo (F); diâmetro da espiga sem palha (G).....	37
Figura 6. Características produtivas de acordo com as doses de Si no momento do plantio do milho safrinha, para produção em matéria verde total (A); matéria verde das folhas (B); folhas mortas (C); matéria verde de colmo (D); matéria verde da espiga (E); acúmulo de água (F) e a eficiência do uso de água (kg/MS/mm/ha) (G).....	39
Figura 7. Peso da planta inteira (g) (A), peso da espiga sem (B) e com (C) palha (g) de acordo com as doses de Si aplicados via fertirrigação no milho safrinha	40
Figura 8. Características produtivas da planta do milho de acordo com as doses de Si no momento do plantio do milho safrinha para as variáveis de produção de matéria seca (t/ha) (A); produção de matéria seca das folhas (B); produção de matéria seca do colmo (C); produção de matéria seca de espiga (D).	41
Figura 9. Interação entre os níveis de Si e da inoculação sem (-Si) e com (+Si) <i>A. brasilense</i> sob o comprimento da espiga sem e com palha (cm) (A e B) e diâmetro da espiga sem palha (mm) (C) do milho safrinha.	43
Figura 10. Produção de grãos (t/ha) do milho safrinha fertirrigado com Si e inoculados com (+Si) e sem (-Si) <i>A. brasilense</i>	44
Figura 11. Efeito isolado do Si sob a deposição de C (g/kg) do milho safrinha.....	46
Figura 12. Efeito do Si e da inoculação com <i>A. brasilense</i> na cultura do milho para deposição de N (g/kg) e relação C/N (g/kg).	47
Figura 13. Contagens de bactérias ácido lácticas (BAL) (A), mofo (B) e leveduras (C) em silagens de milho puro com doses de Si (kg ha ⁻¹) sem e com inoculação de <i>A. brasilense</i> ...	50
Figura 14. Contagens de bactérias ácido lácticas (BAL) (A), mofo (B) e leveduras (C) em silagens de bovino de corte com doses de Si (kg ha ⁻¹) sem e com inoculação de <i>A. brasilense</i>	52
Figura 15. Contagens de bactérias ácido lácticas (BAL) (A), mofo (B) e leveduras (C) em silagens de cabra de leite com doses de Si (kg ha ⁻¹) sem e com inoculação de <i>A. brasilense</i>	53
Figura 16. Análise de correlação de Pearson entre as variáveis de produção e morfologia da planta do milho agrupadas por doses de Si (0, 4, 8 e 12).	57

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	Geral	17
2.2	Específicos.....	17
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
3.1	Cultivo do milho no Brasil	18
3.2	Bactérias do gênero <i>Azospirillum</i>	19
3.3	Silagem de milho	20
3.4	Silagem de ração total.....	21
3.5	Silício no sistema solo-planta.....	22
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	24
4.1	Localização do experimento	24
4.2	Tratamentos e delineamento experimental.....	25
4.3	Plantio e adubação	26
4.4	Aplicação do silício e irrigação	27
4.5	Tratos culturais.....	28
4.6	Avaliação morfoagronômica, produção de biomassa e grãos	28
4.7	Ensilagem.....	31
4.8	Perfil fermentativo	32
4.9	Perdas e recuperação de matéria seca	33
4.10	Microbiologia	34
4.11	Análises química-bromatológicas	35
4.12	Estatística.....	36
5	RESULTADOS.....	37
5.1	Características morfológicas e agronômicas	37
6	DISCUSSÃO	58
6.1	Características morfológicas e agronômicas	58
6.2	Sanidade das folhas, colmo e características dos grãos	64
6.3	Perfil fermentativo, perdas e recuperação de matéria seca	65
6.4	Microbiologia da silagem	65
6.5	Composição química-bromatológica das silagens	67
6.6	Efeitos da Correlação	67
7	CONCLUSÃO	69
	REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays*) é uma das culturas de grãos mais importantes do Brasil e do mundo tanto em termos social, quanto econômico, sendo ele pertencente à família Poaceae, com mecanismo fotossintético do tipo C4. Uma das principais fontes de utilizada como matéria prima, sendo os grãos um dos principais componentes nesse quesito para fabricação de produtos como biocombustível, álcool, farinha, e rações animais (DUARTE et al., 2007). É uma forrageira vastamente utilizada no processo de ensilagem, isso se dá pelo fato da planta apresentar características que favorecem a boa fermentação e conservação da massa ensilada, além de apresentar alta produtividade de massa seca por hectare, tecnologia de cultivo e bom valor nutritivo (MOREIRA et al., 2014).

O milho, assim como outras das principais culturas, acumulam significativas quantidades de silício, ainda que ele não seja um elemento essencial para o seu crescimento e desenvolvimento (MA J. F. et al., 2002; TUBANA B. S et al., 2016). Sua absorção pelas plantas ocorre através de proteínas de canais transmembranas na forma exclusiva de ácido silícico, a qual é polimerizado no tecido vegetal formando fitólitos de óxido amorfo inorgânico (DESHMUKH E BELANGER 2016; IMTIAZ et al. 2016; BAKHAT et al. 2018).

Entre os diversos elementos presente na crosta terrestre, o Si encontra-se na segunda posição com 27,7% (BAKHAT et al. 2018), representando até cerca de 45% da composição do solo (CURRIE e PERRY 2007), entretanto a disponibilidade de Si ainda é baixa (LIANG et al., 2018), sendo encontrado particularmente na sua forma insolúvel, não aproveitada pelas plantas.

Seus efeitos estão inteiramente ligados às interações entre a planta e o ambiente, pois sua atuação, proporciona maiores tolerâncias às condições adversas do meio, promovendo qualidade de produtos com melhores resultados e intensificando a produtividade (ZUFFO & AGUILERA, 2020).

Embora ele não seja classificado com um elemento essencial às plantas, ainda se torna útil e benéfico, pois pode atuar sob processos fisiológicos, metabólicos e estruturais, sendo capaz de estender, em condições de estresses a sobrevivência das plantas (OLIVERA-VICIEDO et al. 2019). Vários trabalhos mostram a eficácia do uso do Si sobre as diferentes espécies vegetais, atuando no aumento da fotossíntese, na produção de biomassa seca e na maior eficiência do uso de água (OLIVERA-VICIEDO et al. 2019, 2020).

Em trabalhos realizados por Sandim et al. (2010) utilizando o milho híbrido AGN 31A31 com 4 doses de Si (0, 1000, 2000 e 4000 kg ha⁻¹), observaram maior acúmulo de massa seca da dose de 4000 kg ha⁻¹, como maior comprimento de espiga com a dose de 2000 kg ha⁻¹. Demonstrando que a aplicação de Si em diferentes doses, alcançam diferentes resultados significativos.

As plantas sobre estresse limitam seu crescimento afetando diretamente o rendimento das culturas (ASLAM et al., 2022). Portanto, o uso de Si como visto em diversas pesquisas, tem reduzido esses efeitos deletérios dos estresses bióticos e abióticos. Adicionalmente, a literatura tem trazido o uso de biotecnologias utilizando inoculantes microbianos, para prevenir ou amenizar esses efeitos do meio.

De acordo com Santos et al. (2021) o uso da inoculação microbiana tem sido utilizado para diversas finalidades, como na nutrição, agindo como fertilizantes químicos ou nitrogenados e na atenuação ao estresse ambiental. Além disso, as rizobactérias promotoras de crescimento, podem atuar na atividade metabólica, impactando no crescimento e no rendimento das plantas, e nos diversos fatores entre a interação com as plantas que são gerados (FUKAMI et al., 2018; BARBOSA et al., 2022; NOTUNUNU et al., 2022).

Adicionalmente, o uso de *A. brasilense* produzem fitormônios como as auxinas, giberilinas e citocianinas responsáveis pelo crescimento da planta (FUKAMI et al., 2018), além de promover maior desenvolvimento radicular favorecendo a obtenção de nutriente e água (CAIRES et al., 2020). Dessa forma, hipotetizamos que a utilização de Si associado ao *A. brasilense* melhora as características morfoagronômicas e produtivas do milho e potencializa o valor nutricional de silagens de ração total na época de entressafra agrícola.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar as características morfoagrômicas, produção de grãos e valor nutricional das silagens de milho e na forma de ração total submetidos à fertirrigação com silício e inoculação com *A. brasilense* durante o período de entressafra agrícola

2.2 Específicos

Avaliar as características morfológicas e estruturais, produção e a quantificação da biomassa, sanidade do índice de colheita de grãos, eficácia agrônômica e a relação C:N do milho durante o período de entressafra agrícola

Avaliar a microbiologia, a perfil fermentativo e composição química-bromatológica das silagens de milho e na forma de ração total durante o período de entressafra agrícola

Avaliar a correlação de Pearson entre as características morfológicas e produtivas do milho durante o período de entressafra agrícola

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Cultivo do milho no Brasil

O milho (*Zea mays* L) pertence à família Gramineae/Poaceae, classificada como monoica herbácea, estando na lista dos cereais mais cultivados do mundo, pois sua escala de utilização permite seu fornecimento para o consumo animal e humano, e sua utilização como matéria-prima para o setor agroindustrial (OLIVEIRA et al. 2018). Em condições brasileiras, seu ciclo varia entre 110 e 180 dias, sendo descrito como normal, precoce e superprecoce. Adicionalmente, o milho é o segundo cereal mais exportado, estando apenas atrás dos EUA (LIMA et al., 2020).

Entre os países com maior produção de milho, o Brasil se destaca como o terceiro maior produtor. Entretanto, sua produtividade ainda é considerada baixa. Dados têm demonstrado um aumento sistemático na produtividade desde 1990, quando era de 1870 kg ha⁻¹. Esse número saltou para 3785 kg ha⁻¹ em 2007 e para 4300 kg ha⁻¹ em 2010/11 (SILVA et al., 2020). Esse crescimento é visível também na safra de 2021/22, que passou de 4550 kg ha⁻¹ em 2021 para 5267 kg ha⁻¹ em 2022, representando um aumento de 15,8% (IBGE, 2022).

De acordo com Oliveira et al. (2018), o milho destinado a produção de grãos consome em média 400 a 700 mm de água em seu ciclo, variando de acordo com as condições climáticas. Sendo ela, uma planta adaptada a diversos climas, permitindo o seu cultivo em diversos países, gerando subprodutos para a alimentação e na produção de etano. Nesse consto, as justificativas pelo interesse nutricional e econômico, estão associadas à sua eficiência de armazenamento de energia, construindo pesquisas para o desenvolvimento das variedades de milho dentro do melhoramento genético com o intuito de ser cultivado nas diversas variedades de clima (MAGALHÃES, 2002; ALMEIDA et al., 2017).

Segundo Cruz et al., (2019). o milho possui matéria seca em torno de 30 a 35%, baixo poder tampão e os níveis de carboidratos solúveis que chegam a 12%, favorecendo o crescimento de bactérias produtoras de ácido lático e, consequentemente, melhorando a qualidade nutricional da silagem. De acordo com a Tabela de Composição Química e Bromatológica de Alimentos (CQBAL 4.0), foram observados os seguintes valores para a silagem de milho, Matéria seca (MS): 31,15%, Proteína Bruta (PB): 7,18%, Fibra em detergente neutro (FDN): 53,98% de FDN, e Extrato etéreo (EE): 2,79%, valores que caracterizam a silagem de milho como um

volumoso de boa qualidade possibilitando o seu uso para alimentar animais de alta produção. O milho também apresenta alta aceitabilidade pelos animais e baixo custo operacional.

Com a necessidade da demanda global sobre diversos seguimentos do mercado, produzir mais tem se torna cada vez mais comum. Para isso, novas tecnologias devem ser lançadas e voltadas para os grãos, refletindo em maiores produtividades e condições de crescimento satisfatórias. Essas condições refletem sobre os suprimentos de minerais, sem ocorrências de volatilização erosões, e lixiviação, além de provocar efeitos controversos atenuando a produtividade (COELHO, 2021; SARTURI et al., 2022).

3.2 Bactérias do gênero *Azospirillum*

O uso de bactérias promotoras de crescimento vegetal na agricultura constitui alternativa vigente na busca pela redução do aporte de fertilizantes químicos e, ao mesmo tempo, aumentar a eficiência dos fertilizantes, favorecendo o uso reduzido de tais incrementos (CHANDRAN et al. 2021).

As bactérias promotoras de crescimento quando inoculadas por várias vias no organismo vegetal contribuem com o metabolismo de aquisição dos elementos contidos nos fertilizantes químicos, como compostos nitrogenados empregados em diversas culturas, como no cultivo do milho, por exemplo (Hungria et al. 2022).

Assim, quanto maior a eficiência metabólica da planta na aquisição de certos nutrientes, menor será o aporte de fertilizantes químicos necessários para o aumento na produção vegetal (DUARTE et al. 2020). Neste contexto, bactérias de vida livre no solo, como as do gênero *Azospirillum*, de utilização mundial, possuem elevada capacidade de associar o nitrogênio às plantas (fixação biológica do nitrogênio) por vários mecanismos, sem, no entanto, formarem nódulos radiculares complexos.

O gênero *Azospirillum* pertence à família Rhodospirillaceae e é composto de 22 espécies de bactérias, as quais são encontradas em diversos ambientes e isoladas principalmente do meio edáfico (CASSÁN et al. 2020). Uma das espécies de *Azospirillum* é a *A. brasilense*, disponível no mercado desde 2009, quando de seu lançamento.

Essa espécie ocorre em uma diversidade de solos de áreas tropicais e subtropicais, sendo, por isso, amplamente estudada. A produtividade e o crescimento vegetal são eficientemente promovidos por essa espécie de bactéria, com bons

resultados quando aplicados em diversas culturas, como a do milho (FERREIRA et al. 2020). O inóculo de *A. brasilense* no milho promove grandemente o desenvolvimento radicular, o aumento na produção de grãos e na concentração de nitrogênio nas folhas e nos grãos (BARBOSA et al. 2022, HUNGRIA et al. 2022).

Além de fixadoras de N, as bactérias do gênero *Azospirillum* exercem influência sobre outros mecanismos da planta, como a produção e liberação de fitormônios, liberação de aminoácidos, biossíntese, citocinas, giberelinas e poliamidas, que por sua vez beneficiam o crescimento das raízes o que favorece maior aporte de água e nutrientes (BASHAN e DE-BASHAN, 2010).

Deste modo, o uso de bactérias promotoras do crescimento vegetal que aumentam a eficiência do uso de fertilizantes e o fornecimento de nitrogênio por meio da fixação biológica pode ser considerada uma tática viável e mais econômica, além disso também podem ser citados benefícios relacionados ao meio ambiente, pois o uso do *A. brasilense* possibilita a redução do uso de fertilizantes sintéticos. Deste modo, o uso de bactérias promotoras do crescimento vegetal que aumentam a eficiência do uso de fertilizantes e o fornecimento de nitrogênio por meio da fixação biológica pode ser considerada uma tática viável e mais econômica, além disso também podem ser citados benefícios relacionados ao meio ambiente, pois o uso do *A. brasilense* possibilita a redução do uso de fertilizantes sintéticos

3.3 Silagem de milho

Fontes como a silagem de milho, fornecidas como alimentos com alta qualidade nutricional em dietas para bovinos, combinados com alimentos concentrados, é uma alternativa excepcional no mercado. Destacando-se por seu expressivo valor energético, decorrendo de uma maior digestibilidade do amido, comparada a utilização tradicional do milho na forma seca ou moída (FERRARETTO et al., 2018).

Existe no mercado uma ampla disponibilidade de materiais genéticos. As práticas que compõe o manejo e a seletividade da escolha da cultivar, impactará da qualidade da silagem (NEUMANN et al., 2007; KLEIN et al., 2018). De acordo com Godoy Gimenes et al. (2006), a silagem de milho é diversificadamente empregada por apresentar características nutricionais, agronômicas, produtividade de biomassa, digestibilidade e alto valor energético.

Agarussi et al. (2020) trabalhando com onze cultivares de milho sob os perfis de fermentação de ácidos graxos e no processamento das silagens de milho,

observaram que a qualidade das silagens foi expressiva, os valores médios de matéria seca igual a 36,2% e houve uma redução no teor de carboidratos solúveis.

Além da composição química, há uma grande importância nas características físicas das silagens, pois elas são fontes de energia e fibra, com recomendações de tamanho de partículas ideais para que os grãos sejam bem processados. Com isso, obtém-se um melhor aproveitamento das características da silagem, que incluem o amido e a FDN (KOERICH et al., 2021).

Dessa forma, trabalhar com teores ideais de matéria seca, aliados ao tamanho de partículas, compactação e vedação, auxiliam na qualidade das silagens. De acordo com Toledo et al., (2020) a qualidade da silagem é impactada pelo tamanho de partícula e pela compactação, pois afetam a presença de oxigênio no silo, o tempo de respiração celular, as perdas de carboidratos solúveis e de energia em forma de calor, além de causarem perdas de matéria seca e aumento do FDN.

3.4 Silagem de ração total

A ensilagem de ração total, não é uma atividade recente, seus estudos sobre a utilização das silagens de ração total são desde a década de 60 nos EUA (OWEN, F., 1965), contudo, os interesses pela sua utilização têm sido demonstrados em países como a Coreia do Sul e Japão e outros, pela indústria de produção de ruminantes (SCHMIDT, P., 2017; BORREANI, G., 2019).

A silagem de ração total é um método preponderante, na sua maior parte produzidas para bovinos leiteiros, com capacidade para diferentes proporções de ingredientes como grãos, suplementos proteicos, minerais, vitaminas e subprodutos (MARTINS et al., 2024).

Em trabalhos realizados por Zanine, A. et al. (2022) utilizando silagens de ração total a base de cana-de-açúcar com inclusão de subprodutos do babaçu em dietas de ovinos, observaram melhorias na composição química e na qualidade fermentativa da silagem, como exemplo as concentrações de MS ficaram entre 344,39 a 352,32 (g/kg), que de acordo com a classificação desses teores de MS proposto por McDonald et al. (1991) (300 a 350 g/kg), as silagens permaneceram dentro da faixa ideal.

No Brasil, os estudos com silagens de ração total, tendo em vista como estratégia de manejo e otimização com os métodos de manejo de capineira, além de melhorar a qualidade fermentativa das silagens (GUSMÃO et al., 2018), atenuando na utilização de mão-de-obra e viabilizando o corte do material.

Portanto, a formulação de silagens na forma de ração total à base de milho, é uma alternativa de grande potencial dentro do sistema de produção, sobretudo é uma das culturas com altos índices produtivos, sendo ela uma mais cultivadas no Brasil. Além disso, levando em consideração que as principais espécies animais exploradas comercialmente são os bovinos de corte e os caprinos de leite, essa técnica pode ser aplicada em todo o território nacional e até mesmo em outros países tropicais.

3.5 Silício no sistema solo-planta

As limitações das concentrações de Si em solos tropicais ocorrem devido aos baixos valores de pH, intemperismo e taxas de dissilicação elevadas (KEEPING, 2017), apesar de suas concentrações elevadas no solo. Solos tropicais são predominantemente Argissolos, Entissolos e Latossolos, com presença de caulinita na minealogia do solo (POPPIEL et al., 2018), com baixa disponibilidade de Si ($\leq 20 \text{ mg kg}^{-1}$ de Si) (extrator de 0,01 M de CaCl) (HAYNES, 2014). Contudo, a disponibilidade do Si pode ser reduzida até o processo de polimerização, formando ácido polissilícico e dímeros, avançando para a formação de uma sílica gel ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), inutilizável pelas plantas (SCHALLER et al., 2021).

Em condições de pH adequadas, o Si é liberado por meio de processos químicos e físicos do intemperismo. Os silicatos e a sílica nas argilas e nos solos, são gerados a partir dos minerais de Si intemperizados, como o feldspato e o quartzo presente na pedosfera (SHAKOOR et al., 2014; GREEN et al., 1991).

Estudos comprovam que o benefício no Si potencializa o crescimento e na produção de matéria seca, bem como na fotossíntese de plantas (CHEN et al. 2016; FLORES et al. 2018; YIN et al. 2013, 2016), assim também como em outras variedades de espécies acumuladoras, estando sob estresse ou não (CAMARGO et al. 2017; MORADTALAB et al. 2018). Além disso, a sua aplicabilidade pode atenuar no déficit nutricional, como a deficiência de ferro e manganês (BITYUTSKII et al. 2014; PAVLOVIC et al. 2016).

O Si impede os efeitos da ligação entre os minerais e as partículas de solo, ajudando-o em maior disponibilidade para absorção do sistema radicular pelas plantas (REA, R.S et al., 2022). De acordo com Greger, M et al. (2018), os desgaste natural provocado pelas atividades agrícolas constantes, a disponibilidade do Si tem diminuído.

Em várias pesquisas, o uso do Si beneficia efeitos controversos sobre fatores abióticos e bióticos (COSKUN et al., 2019; MEUNIER et al., 2017). Entretanto, seu papel ainda é muito contestado (EXLEY, C. & GUERRIERO, G. A, 2019), porém, a biodisponibilidade do Si no solo varia muito sob a produtividade das culturas (LIANG, Y. et al., 2015). Portanto, a biodisponibilidade do Si no solo, é uma situação promissora na agricultura, uma vez que sua utilização em solos que apresentam baixa biodisponibilidade de Si pode aumentar a produtividade (Guntzer, F. et al., 2012; Yan, G. et al., 2014).

Essa produtividade é mostrada por vários pesquisadores, a exemplo em pesquisas realizadas por Olivera-Viciedo D. et al. (2024) estudando a absorção e utilização de silício pelo capim *Panicum maximum*, utilizando a aplicação de Si sob duas condições de temperatura: temperatura ambiente (aT) e alta (eT) associados a dois níveis de disponibilidade hídrica (W): plantas irrigadas (sW) plantas não irrigadas - (wS), observaram ganhos na produção de matéria seca foliar. Além disso, observaram um aumento de 8% no primeiro e segundo ciclo de crescimento quando em condições de sTsW, e com uma crescente evolução, representando 25% na última avaliação. Adicionalmente, em trabalhos realizados por Teixeira et al. (2023) utilizando silicato de potássio e sódio, observaram na cultura da cana-de-açúcar, uma maior produção de matéria seca nas plantas sob deficiência de Fe.

Em plantas cultivadas sob limitações de Fe, quando submetidas aos efeitos antioxidantes do Si, mantiveram a preservação dos carotenoides e da clorofila, e quando em combinação com maiores concentrações de Fe, provocou maior síntese de clorofila, já que esse micronutriente constitui como um precursor desses pigmentos (DE MELLO PRADO, 2021).

Assim, ao utilizar o elemento em cultura de milho safrinha associado a época de seca, pode-se obter efeitos benéficos sobre a produtividade e composição morfoagronômicas. ainda seu uso se tornaria interessante do ponto de vista agrícola, principalmente em regiões com efeitos deletérios abióticos e bióticos, reduzindo a escala de irrigação e os ataques de pragas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido no campus IV da Universidade Federal do Maranhão no Centro de Ciências de Chapadinha UFMA/CCCh, localizada na mesorregião leste maranhense na cidade de Chapadinha, estado do Maranhão. A área está situada a 03°44'33" S de latitude e 43°21'21" W de longitude.

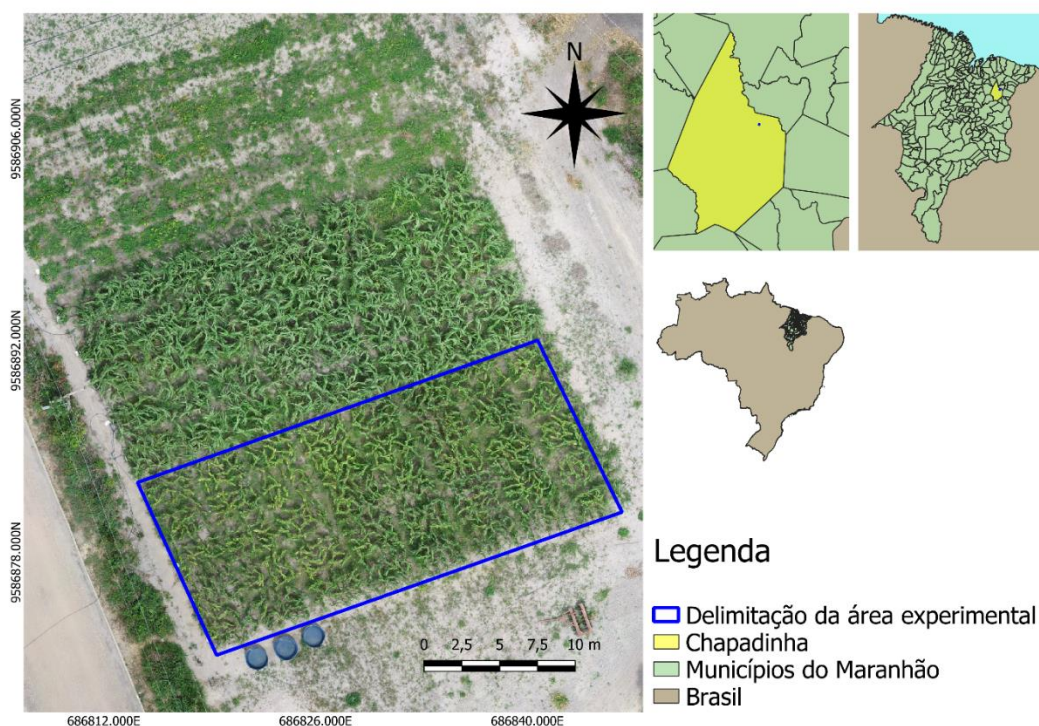


Figura 1. Localização da área experimental

A região de Chapadinha segundo Köppen (Alvares et al., 2013) é classificada como Aw – tropical quente e úmido, com dois períodos bem definidos, um chuvoso e um seco. As temperaturas atingem média anual superior a 27 ° C e precipitação pluvial média anual de 1835 mm, com chuvas nos meses de janeiro a junho e seca nos meses de julho a dezembro. A umidade relativa do ar varia entre 73 a 79%. Os dados de temperatura (°C), umidade relativa (%) e precipitação (mm) durante o período experimental são apresentados na Figura 2.

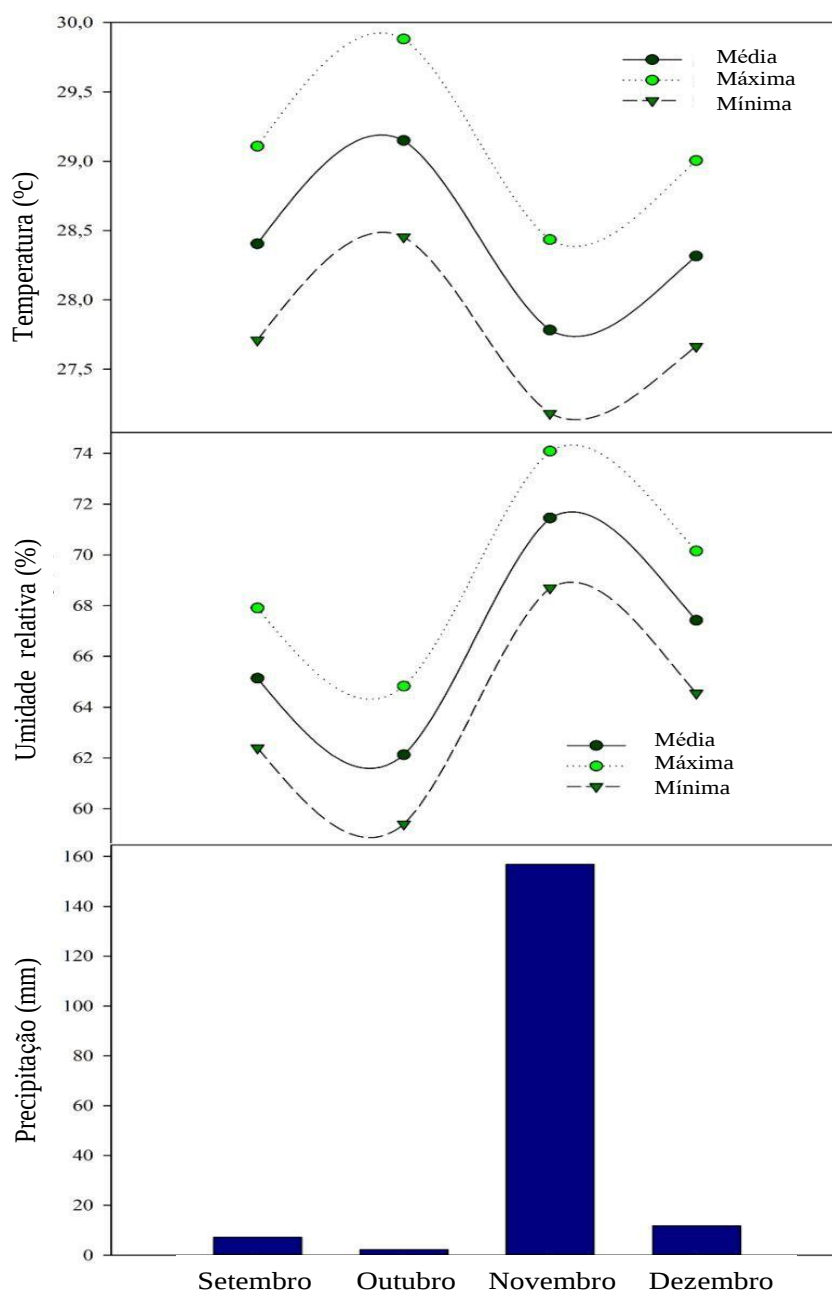


Figura 2. Gráficos de temperatura (°C), umidade (%) e precipitação (mm) durante o período (meses) do experimento

4.2 Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi realizado em delineamento em blocos ao acaso (DBC), em esquema fatorial 4x2, com cinco repetições, com um total de 40 unidades experimentais. A aplicação do silício correspondeu às dosagens 0, 4, 8 e 12 kg ha⁻¹, sem e com inoculação de *A. brasilense* Ab-V5 e Ab-V6 em proporção de 50% cada. A cultivar empregada foi o híbrido de milho (*Zea mays* L. AG - 1051) da Seminis. As

silagens seguiram o mesmo delineamento, e foram confeccionadas tanto na forma tradicional (apenas milho) quanto na forma de ração total (SRT).

4.3 Plantio e adubação

As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-20 cm e submetidas a análises para caracterização química e textural do solo. O solo na área experimental é classificado como Latossolo Amarelo, com textura franco-arenoso, com características granulométricas registradas de 72,6, 16,8 e 10,4% de areia, argila e silte, respectivamente.

Para às características químicas do solo, o perfil apresentou baixa fertilidade natural, com valores de saturação por base de 14,5% ficaram abaixo do recomendado para a produção de milho (60 a 70%) devido aos baixos teores de Ca^{+2} (0,5 a 1,0 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), valores muito baixos de K^{+} (0,06 a 0,12 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), e valores médios de Mg^{+2} (0,5 a 1,0 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$). Em relação ao pH (H_2O), P (mg dm^{-3}) e CTC (%) apresentaram teores muito baixo dos níveis adequados do solo (Tabela 1) (RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A., 2001).

Os teores de micronutrientes para boro (B) variaram entre 0,11 a 0,20 mg dm^{-3} e manganês (Mn) entre 5 a 15 mg dm^{-3} , sendo classificados como valores baixos nos níveis adequados do solo. Os valores de zinco (Zn) e cobre (Cu) apresentaram valores muito baixos dos níveis ideais, menor $<0,4 \text{ mg dm}^{-3}$ e $<0,2 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente. Os teores de enxofre no solo foram considerados médio e variaram entre 2,1 a 3,0 mg dm^{-3} (RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A., 2001).

A correção do solo foi realizada de acordo com as necessidades determinadas pela análise de solo. Foi utilizado calcário dolomítico, com PRNT de 115,10%, na quantidade de 2,3 toneladas por hectare, conforme recomendação para elevar a saturação de bases para 60%, de acordo com as práticas recomendadas para o cultivo do milho. A adubação de plantio (NPK) foi aplicada manualmente, seguindo as recomendações da análise de solo (Tabela 1). Foram aplicados 20 kg de N/ha, 100 kg de $\text{P}_2\text{O}_5/\text{ha}$ e 30 kg de $\text{K}_2\text{O}/\text{ha}$.

Tabela 1 - Características químicas da análise de solo

pH	P	K^{+}	$\text{H}^{+}+\text{Al}^{+3}$	Al^{+3}	Ca^{+2}	Mg^{+2}	SB	CTC	V	MO
H_2O	mg dm^{-3}			$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$			%	%	%	g kg^{-1}
4,7	4,0	0,5	24,0	1,7	9,0	5,0	14,5	39,0	37,0	17,0

Nota: pH: hidrogênio potencial; P: fósforo; K^{+} : potássio; $\text{H}^{+}+\text{Al}^{+3}$: acidez potencial; Al^{+3} : alumínio; Ca^{+2} : cálcio; Mg^{+2} : magnésio; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátion; V %: saturação base; MO: matéria orgânica.

A delimitação da área experimental utilizou 251 m², delimitada em 40 parcelas individuais com tamanho de 6 m² (3x2 m) cada, os espaçamentos entre linhas, covas e parcelas foi de 0,5 m e entre os blocos foi de 1 m (Figura 3). Cada parcela continha um total de 20 plantas, com um total de 160 plantas por bloco, e 800 plantas em toda a área experimental e uma densidade de 31.872,3 plantas ha⁻¹ (Figura 3). O plantio foi realizado de forma manual em covas com profundidades de 3-5 cm com o auxílio de uma enxada larga de cabo. Para a inoculação das sementes, foi pesado 0,5 kg de semente e inoculado com 2 ml do Inoculante GRAP NOD A L (1,5LT = 15 doses) – *A. Brasilense* – Agrocete.

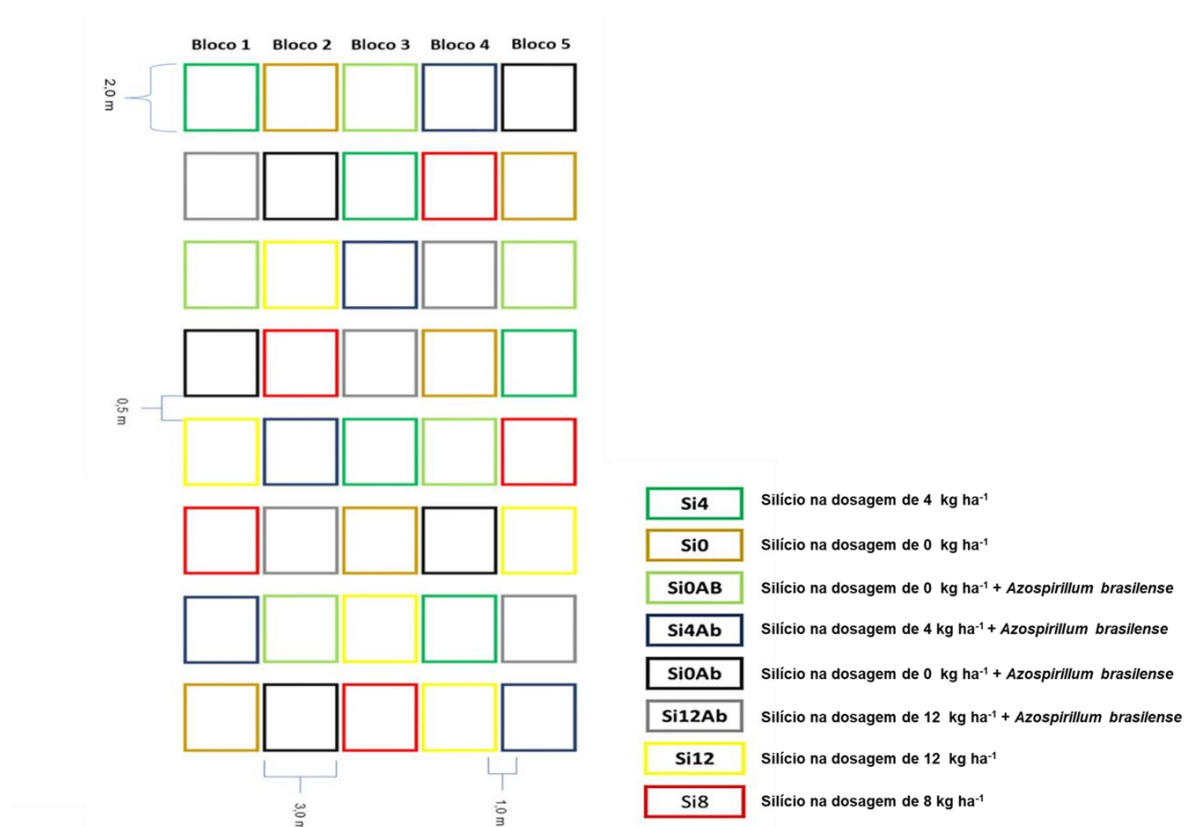


Figura 3. Croqui da área experimental e distribuição dos tratamentos

4.4 Aplicação do silício e irrigação

O silício foi aplicado 20 dias após a total emergência e continuando até 30 dias após o florescimento completo por meio de fertirrigação em seis aplicações, sendo três no estágio vegetativo e três no estágio reprodutivo da cultura do milho. A fonte utilizada foi o silicato de sódio estabilizado com sorbitol (Si = 115,2 g/L, Na₂O = 60,5 g/L). Para o processo de diluição do silício, foi utilizado uma caixa d'água de polietileno com capacidade para 1000L, com 70L de diluição a cada tratamento correspondente

(0; 4; 8 e 12 kg de silício), e cada planta recebeu 0,7 ml da solução diluída. Foi utilizado 15 L de água por parcela, com uma lâmina de água de 2,5 mm equivalente a 2,5 L/m².

Durante o período experimental, a área foi irrigada duas vezes ao dia (às 6:00 e às 17:00 horas) para manter a umidade do solo. Cinco fitas de irrigação microperfuradas (28,5 mm) foram utilizadas para a irrigação, sendo distribuídas na área experimental de modo que uma fita permanecesse no centro de cada bloco. O tempo de irrigação foi de 15 minutos a cada duas fitas.

4.5 Tratos culturais

Desbastou-se para manter uma única planta em cada cova. Durante o experimento, capinas manuais foram feitas aos 30 e 60 dias após a semeadura, com o intuito de reduzir o crescimento de plantas daninhas que poderiam afetar o desenvolvimento da cultura principal e garantir a segurança dos alunos durante a coleta de dados.

4.6 Avaliação morfoagronômica, produção de biomassa e grãos

Foram escolhidas duas plantas de cada parcela para realizar as medições e coletar dados das características morfoagronômicas, totalizando 80 plantas avaliadas. As plantas foram selecionadas de forma a excluir aquelas localizadas nas bordas e apresentavam altura e diâmetro de colmo semelhantes. As plantas foram avaliadas quanto a:

Número de folhas vivas por plantas: Foi quantificada por meio da contagem de folhas vivas expandidas por planta.

Número de folhas mortas por plantas: Foi quantificada por meio da contagem de folhas mortas expandidas por planta, considerando o comprometimento da folha igual ou acima de 50% de senescência.

A altura da planta até a ponta da inflorescência (cm) foi mensurada com uma fita milimetrada, registrando a distância da superfície do solo até a altura máxima da inflorescência.

A altura da planta até a folha bandeira (cm) foi mensurada com uma fita milimetrada, registrando a distância da superfície do solo até a inserção da folha bandeira.

A altura da planta até a inserção da espiga (cm): Foi mensurada com uma fita milimetrada, registrando a distância da superfície do solo até a inserção da espiga.

O diâmetro do colmo (mm): Foi medido no terceiro nó da planta a partir do solo, utilizando um paquímetro digital.

O diâmetro da espiga sem palha (mm): Foi mensurado utilizando um paquímetro digital, medindo-se a circunferência da espiga com a palha.

O diâmetro das espigas com palha (mm) foi determinado utilizando um paquímetro digital, medindo-se a circunferência da espiga com palha.

O comprimento da espiga com e sem palha (mm): Foi medido utilizando uma fita métrica, avaliando a distância entre a base e o ápice da espiga com e sem a palha.

Peso de colmo (g/kg): Os colmos foram pesados em uma balança digital com capacidade para 5 kg.

Peso de folhas vivas e mortas (g/kg): As folhas vivas foram removidas das plantas e pesadas utilizando uma balança digital de precisão.

Peso das espigas e de grãos (g/kg): pesados com uma balança digital de precisão de forma conjunta e separadamente (grãos separados).

Peso da planta inteira (g/kg): A planta inteira foi pesada com uma balança digital com capacidade para 15 kg.

Produtividade de grãos (t/ha): Foi determinada após a debulha das espigas colhidas dentro da área útil. Os grãos foram pesados em uma balança de precisão com duas casas decimais e os pesos foram posteriormente convertidos em kg/ha. A umidade dos grãos foi corrigida para 13%.

Produção de matéria seca (t/ha): Foi calculada multiplicando-se o peso da matéria verde pela porcentagem de matéria seca.

Produção de matéria seca de colmo (t/ha): Foi calculada multiplicando-se o peso do colmo pela porcentagem de matéria seca.

Produção de matéria seca de folha (t/ha): Foi calculada multiplicando-se o peso das folhas pela porcentagem de matéria seca.

Produção de matéria seca de espiga (t/ha): Foi calculada multiplicando-se o peso da espiga pela porcentagem de matéria seca.

Produção de matéria verde (t/ha): Foi calculada multiplicando-se o peso médio fresco por planta pela densidade de plantas equivalente por hectare.

Eficiência do uso de água (kg/MS/mm/ha): Foi determinada dividindo-se a produção de matéria seca pela soma da quantidade total de água recebida durante o período experimental e a precipitação durante o período experimental para cada tratamento, conforme Silva et al. (2014).

Produção de colmo (MV t/ha): Foi calculada multiplicando-se a medida correspondente a 1 hectare (10.000m²) pelo peso do colmo, dividido pelo tamanho da parcela.

Produção de folhas (t/ha): Foi calculada multiplicando-se a medida correspondente a 1 hectare (10.000m²) pelo peso das folhas, dividido pelo tamanho da parcela.

Produção de grãos (t/ha): Foi calculada multiplicando-se a medida correspondente a 1 hectare (10.000m²) pelo peso dos grãos, dividido pelo tamanho da parcela.

Produção de espiga (MV t/ha): Foi calculada multiplicando-se a medida correspondente a 1 hectare (10.000m²) pelo peso das espigas, dividido pelo tamanho da parcela.

Matéria seca de colmo (g/kg): Foi calculada multiplicando-se a produção de colmo por hectare pela porcentagem de matéria seca do colmo, dividido por 100.

Matéria seca de folhas vivas (g/kg): Foi calculada multiplicando-se a produção de folhas por hectare pela porcentagem de matéria seca das folhas, dividido por 100.

Matéria seca de espiga (g/kg): Foi calculada multiplicando-se a produção de espiga por hectare pela porcentagem de matéria seca da espiga, dividido por 100.

Acúmulo de água (t/ha): Foi determinado pela diferença entre o peso de matéria verde e o peso de matéria seca, conforme Perazzo et al. (2013).

Biomassa verde: As plantas foram cortadas a cerca de 20 cm do solo, pesadas em uma balança com capacidade para até 15 kg e os pesos foram extrapolados para kg/ha.

Avaliação da sanidade do colmo: Foi realizada visualmente durante a fase de maturação fisiológica do grão, atribuindo notas de 1 a 5 de acordo com o aspecto do colmo, sendo 1 = excelente e 5 = ruim.

Onde: nota 1: Excelente; nota 2: Bom; nota 3: médio; nota 4: pobre; nota 5: ruim.

Avaliação da sanidade de ataque da planta: Foi realizada visualmente durante a fase de maturação fisiológica do grão, atribuindo notas de 1 a 9 de acordo com o aspecto das folhas, onde 1 = altamente resistente (0%) e 9 = altamente susceptível (>80%).

Onde: nota 1 = altamente resistente (0%); nota 2 = resistente (1%); nota 3 = resistente (10%); nota 4 = medianamente (20%); nota 5 = medianamente susceptível (30%); nota 6 = medianamente susceptível (40%); nota 7 = susceptível (60%); nota 8 = susceptível (80%); nota 9 = altamente susceptível (>80%).

Avaliação de grãos ardidos: Realizada visualmente durante a fase de maturação fisiológica do grão, atribuindo notas de 1 a 5 de acordo com o aspecto das folhas, onde 1 = sem grãos ardidos (0%) e 5= grãos ardidos (76 a 100%).

Onde: nota 1: sem grãos ardidos (0%); nota 2: grãos ardidos (1 a 25%); nota 3: grãos ardidos (26 a 50%); nota 4: grãos ardidos (51 a 75%); nota 5: grãos ardidos (76 a 100%).

Avaliação de grãos falhados: Realizada visualmente durante a fase de maturação fisiológica do grão, atribuindo notas de 1 a 5 de acordo com o aspecto das folhas, onde 1 = sem grãos ardidos (0%) e 5= grãos ardidos (76 a 100%).

Onde: nota 1: sem falhas de grãos (0%); nota 2: com falhas (1 a 25%); nota 3: com falhas (26 a 50%); nota 4: com falhas (51 a 75%); nota 5: com falhas (76 a 100%).

Avaliação da cor e dureza dos grãos: Foram realizados visualmente. Em relação à coloração do grão, foram atribuídas quatro notas, sendo elas: alaranjado, amarelo, avermelhado, amarelo-alaranjado. Para a dureza dos grãos, foram atribuídas três notas: duro, semiduro e leitoso.

4.7 Ensilagem

Para o processo de ensilagem, o milho foi cortado aos 103 dias após a semeadura, a aproximadamente 20 cm do solo, quando os grãos apresentavam uma textura pastosa a farinácea. Logo após a colheita, o milho foi processado em uma máquina picadeira estacionária e então ensilado em silos experimentais de PVC. A picadeira foi ajustada para obter partículas com uma média de 2,0 cm. Em seguida, a mistura dos ingredientes foi realizada manualmente, e neste momento, foram coletadas amostras da mistura in natura para avaliação da composição química das dietas (Tabela 3). Essas amostras foram armazenadas em sacos de plástico e de papel; as amostras armazenadas em sacos de plástico foram mantidas em freezer para análises posteriores, enquanto as amostras em sacos de papel foram submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada a 65°C e moídas para as análises.

As silagens de ração total foram compostas por 60% de volumoso (milho puro) e 40% de concentrado, conforme o BR-corte 4.0 (Tabela 2). Os concentrados eram

compostos por farelo de soja, milho moído, ureia, fosfato bicálcico e sal mineralizado. A formulação das silagens de ração total foi feita para atender às exigências de bovinos de corte com peso médio de 450 kg. As dietas para cabras leiteiras foram formuladas para atender às exigências, conforme o NRC (2007), de cabras com peso médio de 40 kg e produção diária de 3,0 kg de leite, contendo 4,0% de gordura, com uma relação volumoso: concentrado de 50:50 (Tabela 2).

Tabela 2 - Proporção dos ingredientes usados para a formulação das TMR

Ingredientes (g/kg)	Milho	Dietas	
		SRTB ¹	SRTC ²
Silagem de Milho	1000,0	776,0	800,00
Milho moído	-	159,7	143,7
Farelo de soja	-	44,0	47,4
Ureia	-	3,14	2,28
Sal mineral	-	14,28	6,28
Fosf. Bicálcio	-	2,57	-

¹Silagem de ração total para bovinos de corte

²Silagens de ração total para cabras leiteiras

Tabela 3 - Composição químico-bromatológica dos ingredientes e das dietas

Composição química (g/kg)	Milho trit.	Soja	Milho	SRTB ¹	SRTC ²
Matéria seca	909,6	911,0	245,1	385,1	362,0
Cinzas	25,5	64,2	55,44	78,6	6,04
Proteína bruta	106,6	388,0	46,8	126,0	113,4
Fibra em detergente-neutro	209,8	148,0	514,7	335,5	329,9
Fibra em detergente-ácido	16,0	87,1	378,5	200,7	243,0

MS = Matéria seca; MM: Matéria mineral; PB: Proteína bruta; FDN; Fibra em detergente neutro, FDA: Fibra em detergente ácido

¹Silagem de ração total para bovinos de corte

²Silagens de ração total para cabras leiteiras

Após a mistura dos ingredientes ser homogeneizada, o material picado foi colocado nos silos experimentais, que tinham capacidade para 3,6 litros (comprimento: 191,4 mm, altura: 156,5 mm e largura: 193,6 mm). Todos os silos experimentais foram equipados com válvulas tipo Bunsen para permitir o escape dos gases gerados durante a fermentação. Cada silo foi preenchido com 1,0 kg de areia seca, que foi separada dos ingredientes por uma tela, com o objetivo de evitar contaminação e permitir a posterior quantificação dos efluentes. Após isso, os silos foram fechados, lacrados com fita adesiva, pesados e armazenados em ambiente coberto, seco e ventilado, à temperatura ambiente.

4.8 Perfil fermentativo

Após um período de 120 dias de armazenamento, os silos foram pesados e abertos. O material foi retirado dos silos manualmente, homogeneizado e amostras foram coletadas para realizar avaliações do perfil fermentativo e da composição químico-bromatológica.

Para determinar o pH, foram coletadas 25g de amostras das silagens, às quais foram adicionados 100 ml de água destilada. Após repouso de 1 hora, o pH foi medido com o auxílio de um potenciômetro, seguindo o método descrito por Bolsen et al. (1992).

O teor de nitrogênio amoniacal como parte do nitrogênio total (N-NH₃%) foi determinado utilizando-se 15g de silagem fresca. Essa amostra foi transferida para liquidificador, juntamente com 80 mL de solução de cloreto de potássio 15% e processada durante 5 minutos, sendo filtrados e coletados 10 mL. O material foi colocado em um tubo digestor contendo 250 mg de óxido de magnésio calcinado e posteriormente destilado para determinação do nitrogênio pelo método de Kjeldal e expresso em percentual do nitrogênio total da silagem (NOGUEIRA e SOUZA, 2005).

Para a determinação da capacidade tampão (CT), aproximadamente 15g de amostra de silagem foram coletados e colocados em um liquidificador industrial junto com 250 ml de água destilada, sendo então macerados. Em seguida, utilizando um potenciômetro, o material foi titulado primeiro até pH 3,0 com HCL 0,1 N para liberar os bicarbonatos como dióxido de carbono. Posteriormente, foi realizada a titulação até pH 6,0 com NaOH 0,1 N, registrando-se o volume gasto de NaOH necessário para atingir pH 4,0 e 6,0, conforme descrito por Playne e McDonald (1966).

4.9 Perdas e recuperação de matéria seca

As perdas por gases (PG), perdas por efluentes (PE) e a recuperação de matéria seca (RMS) foram determinadas por meio da diferença de peso, conforme as equações estabelecidas por Jobim et al. (2007). Essas equações se baseiam na pesagem dos silos no momento do fechamento e da abertura, em relação à massa de forragem armazenada.

Perdas por gases:

$$PG = [(PSf - PSa)] / [(MFf \times MSf)] \times 100$$

Em que:

PG = perda de gases durante o armazenamento (% da MS inicial);

PSf = peso do silo na ensilagem;

PSa = peso do silo na abertura;

MFf = massa de forragem na ensilagem;

MSf = teor de MS da forragem na ensilagem;

Perdas por Efluentes:

$$PE = (Pab - Pen) / (MVfe) \times 1000$$

Em que:

PE = Produção de efluente (kg/t de massa verde);

Pab = Peso do conjunto (silo+areia+ pano+tela) na abertura (kg);

Pen = Peso do conjunto (silo+areia+tela) na ensilagem (kg);

MVfe = Massa verde de forragem ensilada (kg);

A recuperação da matéria seca foi estimada através da equação abaixo:

$$RMS = (MFab \times MSab) / (MFfe \times MSfe) \times 100$$

Em que:

RMS = índice de recuperação de matéria seca;

MFab= massa de forragem na abertura;

MSab= teor de MS na abertura;

MFfe = massa de forragem no fechamento;

Msfe = teor de MS da forragem no fechamento.

4.10 Microbiologia

As análises das populações microbianas aconteceram no Laboratório de Microbiologia da UFMA/CCCh.

Para a análise microbiológica, foram coletados e pesados aproximadamente 10g de silagem fresca (Figura 5 A). Em seguida, utilizou-se o meio de cultura ágar MRS (Difco, Detroit, Michigan, EUA), ao qual foi adicionado 0,1% de ácido acético, para a contagem das bactérias ácido lácticas (BAL) (Figura 5 B). Mofos e leveduras foram quantificados utilizando a técnica de pour-plating em meio BDA (batata dextrose ágar, KASVI®), o qual foi acidificado com 1,5% de ácido tartárico (Figura 5 B). As culturas de BAL e ML foram incubadas em uma estufa BOD a 35 °C por 48 e 72 horas,

respectivamente. Foram realizadas diluições em série e em duplicata, abrangendo concentrações que variaram de 10^{-2} a 10^{-6} para o plaqueamento, seguindo a metodologia proposta por González et al. (2003) (Figura 5 C). As placas foram consideradas suscetíveis à contagem quando apresentavam valores entre 30 e 300 unidades formadoras de colônias (UFC) (Figura 5 D).

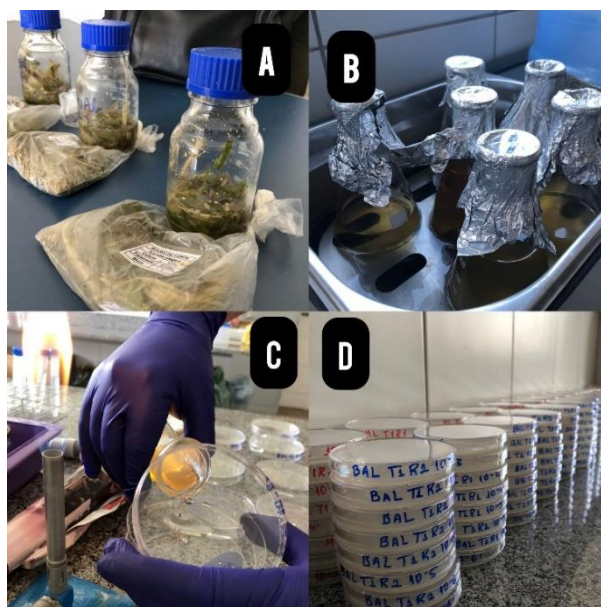


Figura 4. Processos para a quantificação da população microbiana nas silagens de milho

4.11 Análises química-bromatológicas

As análises químico-bromatológicas foram conduzidas no Laboratório de Produtos de Origem Animal (LAPOA) da UFMA/CCCh.

Para avaliar a composição química, foram coletadas amostras do material fresco antes da ensilagem e após o período de fermentação. Essas amostras passaram por um processo de pré-secagem por 72 horas em estufa de ventilação forçada a 65°C . Em seguida, as amostras foram moídas em moinho de facas com peneira de malha 1 mm e submetidas às análises químicas e bromatológicas.

Os teores de matéria seca (MS) foram determinados pelo método 934,01 (AOAC, 2016), proteína bruta (PB) pelo método de Kjeldahl 920,87 (AOAC, 2016), e cinzas pelo método 940,26 (AOAC, 2005). Os teores de detergente neutro (FDN) e detergente ácido (FDA) foram quantificados de acordo com Van Soest et al. (1991), com modificações de Senger et al. (2008), utilizando autoclave a 110°C por 40 minutos. A fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteínas (FDNcp) foi obtida conforme especificações descritas por Mertens (2002) e Licitra et al. (1996).

A hemicelulose (HEM) foi calculada como FDN_{cp} - FDA. A fração de lignina (LIG) foi extraída do resíduo da análise de FDA utilizando o método Klason, conforme descrito por Mizubuti et al. (2009). A matéria orgânica (MO) foi determinada pela equação $MO = 100 - MM$. O teor de hemicelulose (HEM) foi obtido pela subtração do FDN pela FDA, enquanto a lignina foi calculada conforme Van Soest et al., (1963).

4.12 Estatística

Foi adotado o delineamento em blocos casualizados com oito tratamentos e cinco repetições (DBC), representado pela equação $y_{ij} = \mu + T_i + B_j + e_{ij}$. Os dados foram analisados por meio de análise de variância a um nível de significância de 5%. Quando o teste F foi significativo, as médias foram ajustadas por meio de modelos linear ou quadrático por meio de análise de regressão. A análise estatística foi realizada utilizando o procedimento PROC MIXED do software estatístico SAS (2004) para avaliar os dados relativos à parte agronômica e produtiva.

Para a avaliação da silagem, foi adotado o delineamento em blocos casualizados em um esquema fatorial 4x2, totalizando oito tratamentos com cinco repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de médias utilizando o software estatístico (SAS, 2004), utilizando o procedimento de modelos mistos (PROC MIXED). Os tratamentos foram considerados como efeitos fixos, enquanto as repetições experimentais foram consideradas como efeitos aleatórios. As médias dos tratamentos foram estimadas pelo LSMEANS. Um modelo matemático foi utilizado para descrever as variáveis relacionadas à silagem:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + a_k + \varepsilon_{ijk}$$

onde:

- Y_{ijt} representa a variável resposta,
- μ é a média geral,
- T_i é o efeito fixo da dose de silício,
- β_j é o efeito fixo da inoculação com *A. brasilense*,
- $(\tau\beta)_{ij}$ é o efeito de interação entre a dose de silício e a inoculação com *A. brasilense*,
- a_k é o efeito aleatório das repetições,
- ε_{ijt} é o termo de erro experimental aleatório.

5 RESULTADOS

5.1 Características morfológicas e agrônômicas

Não foi observado interação entre a aplicação de Si e o uso de *A. brasilense* nas características morfológicas ($P>0,05$) (Figura 5). Contudo, houve efeito isolado para a aplicação de Si ($P<0,05$) (Figura 5). O número de folhas vivas, altura da planta até a ponta da inflorescência e altura da planta até a folha bandeira, cresceram linearmente com o aumento das doses de Si (Figuras 5 - A, C e D) com médias de 8,90 a 11, 197,27 a 219,00 (cm) e 153,85 a 175,69 (cm), respectivamente. Por outro lado, o número de folhas mortas reduziu linearmente com o acréscimo das doses, variando de 4,10 a 2,00 (Figura 5 - B). A altura da planta até a inserção da espiga apresentou efeito quadrático com o aumento das doses de Si, sendo observado altura máxima de 98,54 na dose de 7,49 kg ha⁻¹ de Si (Figura 5 - E). Não foi observado efeito para às variáveis diâmetro do colmo e diâmetro da espiga sem palha ($P>0,05$) (Figura 5 - F e G), respectivamente.

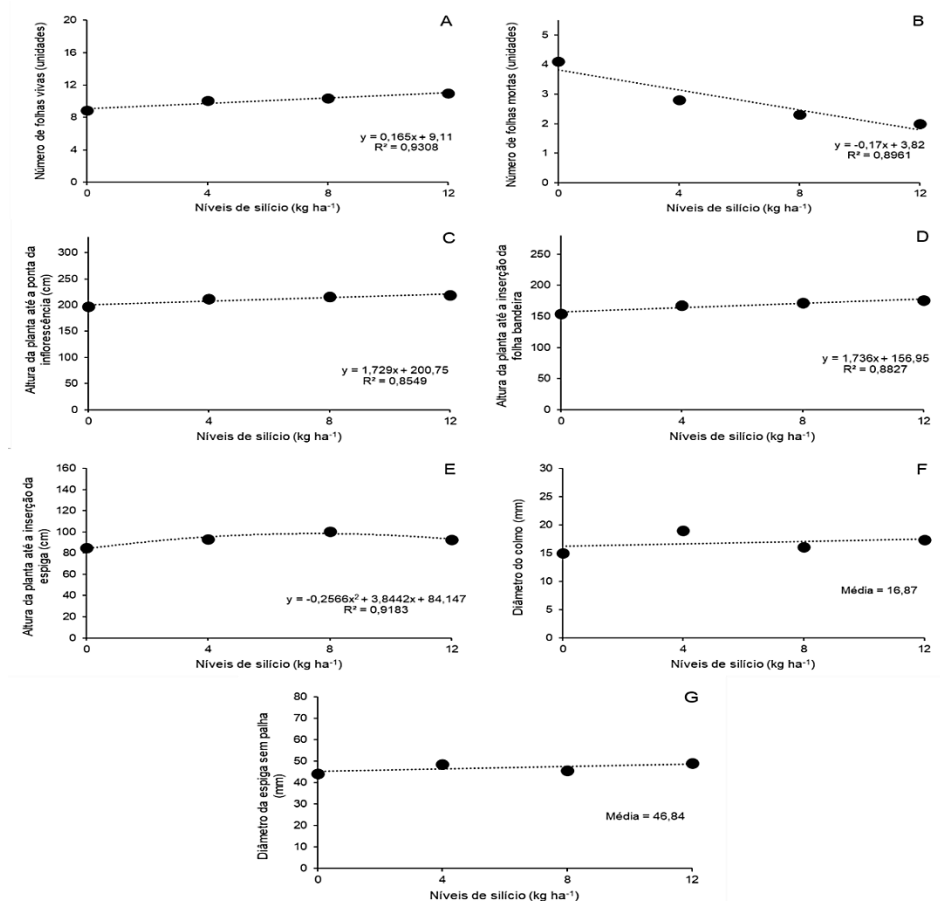


Figura 5. Características morfológicas da planta do milho de acordo com as doses Si no momento do plantio do milho safrinha para número de folhas vivas (A); número de folhas mortas (B); altura da planta até a ponta da inflorescência (C); altura da planta

até a inserção da folha bandeira (D); altura da planta até a inserção da espiga (E); diâmetro do colmo (F); diâmetro da espiga sem palha (G).

Não houve efeito ($P>0,05$) da utilização de *A. brasilense* para as características morfológicas do milho safrinha (Tabela 4).

Tabela 4. Características morfológicas de acordo com a inclusão do *Azospirillum brasilense* no momento do plantio do milho safrinha

<i>A. brasilense</i>	NFVp (n°)	NFMp (n°)	APIE (cm)	APPI (cm)	APFB (cm)	DC (mm)	DESP (mm)
COM	10,15	3,00	93,73	207,79	165,25	16,88	46,50
SEM	10,05	2,60	91,96	214,46	169,48	16,88	47,16
Média	10,10	2,80	92,84	211,12	167,36	16,88	46,83
EPM	0,307	0,266	1,760	3,470	3,353	0,543	0,934
P-valor	0,819	0,269	0,486	0,185	0,379	0,998	0,622

NFVp: Número de folhas vivas por planta; NFMp: Número de folhas mortas por planta; APIE: Altura de planta até inserção da espiga; APPI: Altura da planta até a ponta da inflorescência; APFB: Altura da planta até a folha bandeira; DC: Diâmetro do colmo; DESP: Diâmetro da espiga sem palha. EPM: Erro padrão da média.

Não houve interação para às características produtivas de acordo com as doses de Si no momento do plantio ($P>0,05$) (Figura 6). Houve efeito isolado para o uso do Si ($P<0,05$). Em função das doses de Si, observa-se uma produção linear à medida que aumentou os níveis de aplicação de Si para variáveis produção de matéria verde total (t/ha) de 33,76 a 52,38 (t/ha) (Figura 6 - A), produção de matéria verde das folhas vivas de 6,53 a 10,25 (t/ha) e do colmo de 15,15 a 23,76 (t/ha) (Figura 6 - B e D), acúmulo de água de 24,83 a 38,28 (t/ha) (Figura 6 - F) e eficiência do uso de água 19,02 a 30,06 (kg/MS/mm/ha) (Figura 6 - G). É observável que para cada aumento unitário de aplicação de Si, verificou-se um ganho em produção (t/ha) para ambas às variáveis.

A curva de melhor ajuste para à variável produção de matéria verde de espiga (t/ha) foi a polinomial quadrática ($P<0,05$). A variável foi beneficiada até as doses de máximo equivalente a 9,33 kg ha⁻¹ de Si, com uma produção de 17,03 t/ha (Figura 6 - E). Os níveis de Si influenciaram a produção de folhas mortas ($P<0,05$) com resposta

quadrática à medida que se aumentou as doses, com ponto de mínima de 1,18 (t/ha) na dose de 4,99 kg ha⁻¹ (Figura 6 - C).

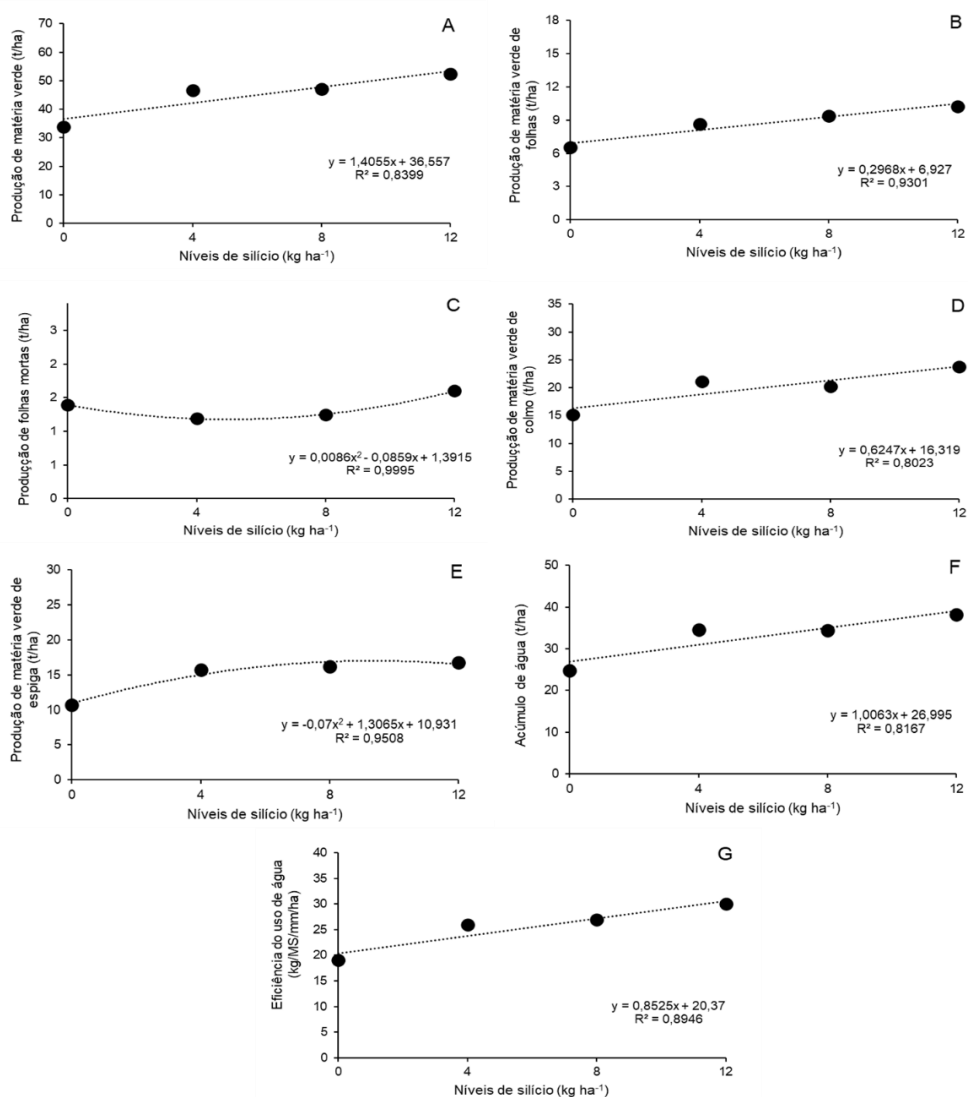


Figura 6. Características produtivas de acordo com as doses de Si no momento do plantio do milho safrinha, para produção em matéria verde total (A); matéria verde das folhas (B); folhas mortas (C); matéria verde de colmo (D); matéria verde da espiga (E); acúmulo de água (F) e a eficiência do uso de água (kg/MS/mm/ha) (G).

Não foi observado interação entre o Si e a inoculação com *A. brasilense* para às variáveis peso da planta inteira, peso da espiga com e sem palha ($P > 0,05$). Contudo, observou-se efeito isolado do Si ($P < 0,05$) (Figura 7). Para cada aumento unitário das doses de Si (kg ha⁻¹) aplicado sob as plantas de milho, ocorreu um incremento de 21,08 g para o peso da planta inteira e 6,9943 g para o peso da espiga sem palha (Figura 7 - A e B, respectivamente). O ponto de máximo para o peso da

espiga com palha foi de 359,1 g, na dose de Si equivalente a 10,48 kg/ha (Figura 7 - C).

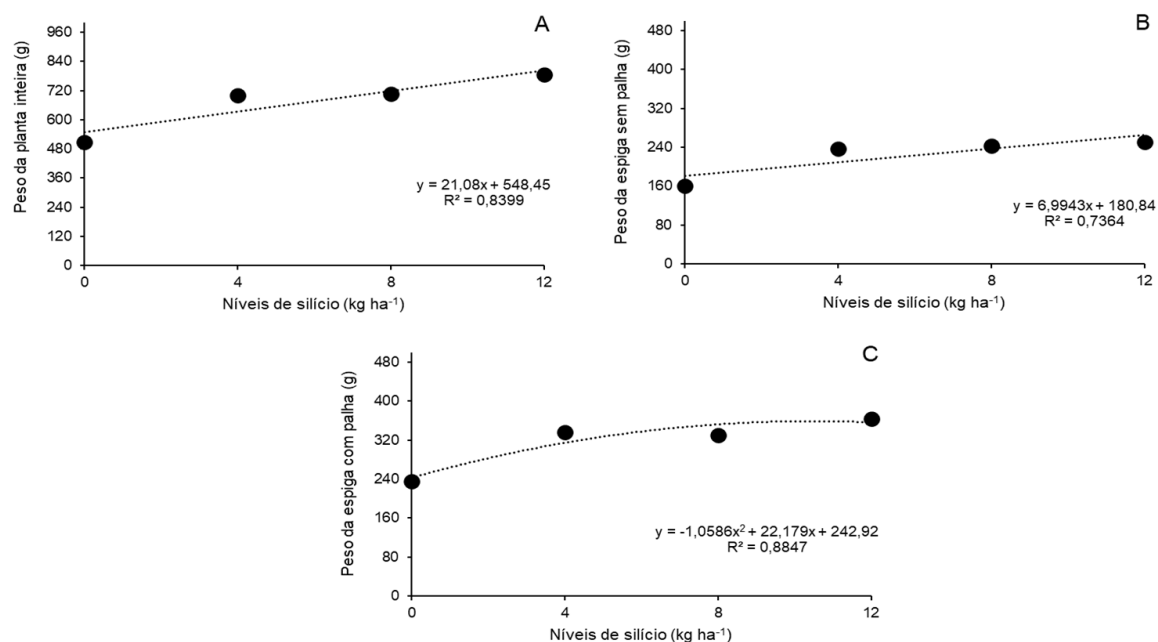


Figura 7. Peso da planta inteira (g) (A), peso da espiga sem (B) e com (C) palha (g) de acordo com as doses de Si aplicados via fertirrigação no milho safrinha

Não houve interação entre os níveis de Si e a inoculação com *A. brasilense* para a produção de matéria seca total, folhas, colmos e espiga (t/ha), ($P > 0,05$). Observou-se efeito isolado para às variáveis produção de matéria seca (t/ha) (Figura 8 - A), produção de matéria seca das folhas, colmo e espiga ($P < 0,05$) com resposta linear à medida que se aumentou as dosagens, obtendo-se médias em t/ha variado de 8,92 a 14,1 (Figura 8 - A), 2,19 a 3,18 (Figura 8 - B), 5,06 a 7,64 (Figura 8 - C) e 5,03 a 8,80 (Figura 8 - D), respectivamente.

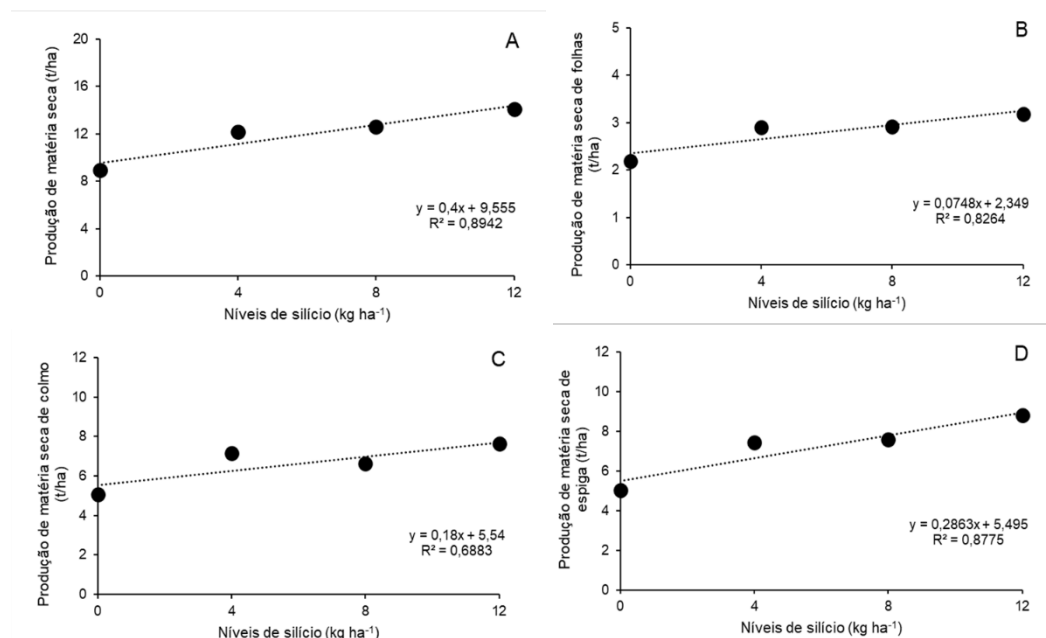


Figura 8. Características produtivas da planta do milho de acordo com as doses de Si no momento do plantio do milho safrinha para as variáveis de produção de matéria seca (t/ha) (A); produção de matéria seca das folhas (B); produção de matéria seca do colmo (C); produção de matéria seca de espiga (D).

Houve efeito da inoculação de *A. brasilense* apenas para a PES (t/ha MV), PPI (g/kg MV) e PECP (g/kg MV) ($P < 0,05$), apresentando médias superiores quando se utilizou a inoculação com *A. brasilense* para ambas às variáveis em relação àquelas que não foram inoculadas (Tabela 5). Em relação à variável PES, a inoculação promoveu um acréscimo de 1,42 t/ha MV a mais que o tratamento sem inoculação, o mesmo refletiu sobre às variáveis PESP e PECP com um aumento de 21,21 g/kg MV e 31,82 t/ha MV, respectivamente (Tabela 5).

Tabela 5 - Características produtivas de acordo com a inclusão do *A. brasilense* no momento do plantio do milho safrinha

Variáveis (t/ha)	COM ¹	SEM ²	Média	EPM	P-valor
Produção de MV (t/ha)					
PMVT	46,45	43,53	44,99	1,587	0,2048
PF	9,05	8,36	8,71	0,551	0,388
PFM	1,3	1,41	1,35	0,097	0,439
PC	20,53	19,6	20,07	0,753	0,392
PES	15,56a	14,14b	14,85	0,478	0,045
ACA	33,96	32,10	33,03	1,191	0,279
EUA (kg/MS/mm/ha)	26,61	24,36	25,49	0,857	0,074
Produção de MV (g/kg)					

PPI	696,79	653,06	674,92	23,813	0,204
PESP	233,41a	212,2b	222,8	7,179	0,045
PECP	332,62a	300,8b	316,71	10,899	0,048
Produção de MS (t/ha)					
PMST	12,43	11,43	11,95	0,402	0,074
PF	2,78	2,82	2,8	0,12	0,799
PC	6,81	6,43	6,62	0,254	0,294
PES	7,49	6,94	7,21	0,285	0,178

PMVT: Produção de matéria verde total; PF: Produção de folhas; PFM: Produção de folhas mortas; PC: Produção de colmo; PES: Produção de espiga; ACA: Acúmulo de água; EUA: Eficiência do uso de água; PPI: Peso da planta inteira; PESP: Peso da espiga sem palha; PECP: Peso da espiga com palha; PMST: Produção de matéria seca total; EPM: Erro padrão da média
 COM¹: Com inoculação de *Azospirillum brasilense*
 SEM²: Sem inoculação de *Azospirillum brasilense*

Houve interação ($P < 0,05$) entre os níveis de Si e da inoculação com *A. brasilense* sobre o comprimento da espiga sem e com palha (cm) (Figura 9 - A e B) e diâmetro da espiga com palha (mm) (Figura 9 - B). Foi observado efeito quadrático ($P < 0,05$) para ambas às variáveis analisadas, com exceção da variável diâmetro da espiga com palha, que apresentou efeito linear ($P < 0,05$) sem a inoculação com *A. brasilense* resultando em medias variando de 46,22 a 58,33 mm (Figura 9 – C). As estimativas pelo modelo de regressão apresentaram maior comprimento da espiga sem e com palha no nível de 7,83 e 9,33 kg ha⁻¹ de Si, obtendo um ponto de máximo de 33,0 e 20,7 cm, (Figura 9 - A e B). respectivamente.

Em relação ao comprimento da espiga sem palha (cm), não foi observado diferença ($P > 0,05$) da inoculação de *A. brasilense* nos níveis 4, 8 e 12 kg ha⁻¹, apresentando média geral de 20,40, 20,00 e 19,75, respectivamente (Figura 9 - A). Contudo observou-se diferença ($P < 0,05$) nos níveis de 0 kg ha⁻¹ (Figura 9 - A). O maior comprimento foi observado quando se utilizou a inoculação com *A. brasilense* apresentando uma média de 18,75 cm, em contrapartida o comprimento sem a utilização de *A. brasilense* apresentou média de 16,30 cm (Figura 9 – A). Para o comprimento da espiga com palha, não foi observado efeito do *A. brasilense* ($P > 0,05$) para os níveis 4 e 12 kg/ha, entretanto, houve efeito ($P < 0,05$) dos níveis 0 e 8 kg ha⁻¹, sendo o maior comprimento na dose 4 kg ha⁻¹ quando se utilizou a inoculação (30,75 cm), e na dose 8 kg ha⁻¹ quando não se utilizou a inoculação (33,00).

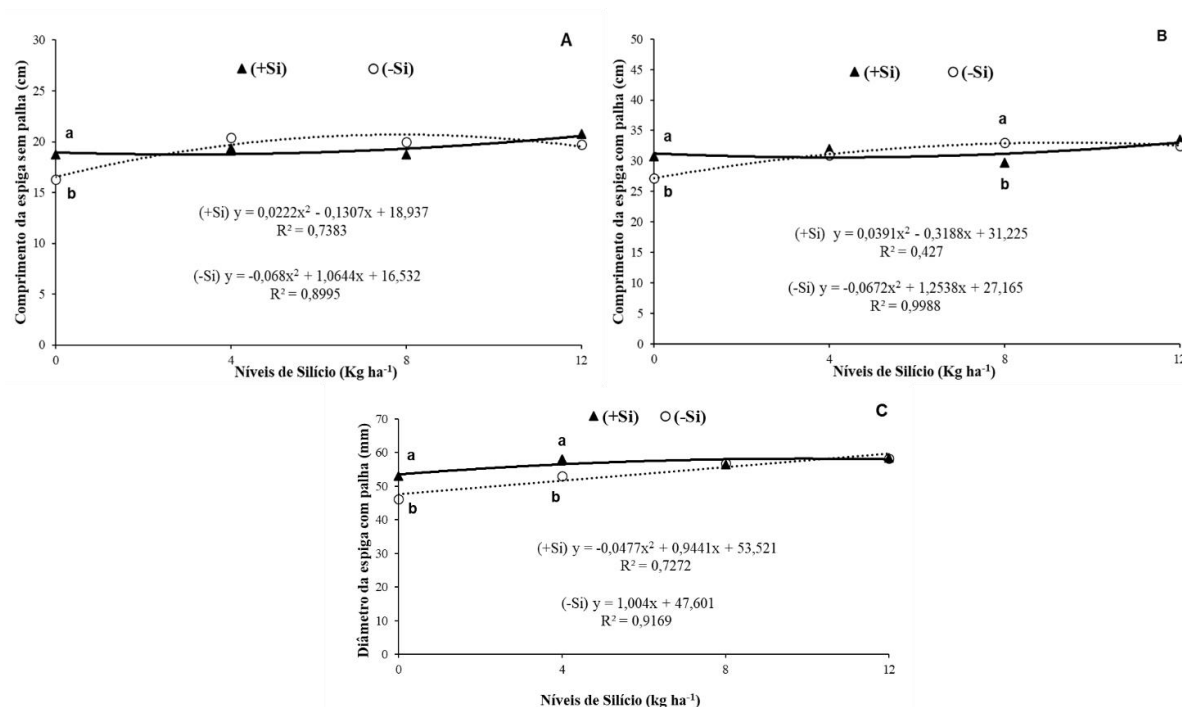


Figura 9. Interação entre os níveis de Si e da inoculação sem (-Si) e com (+Si) *A. brasilense* sob o comprimento da espiga sem e com palha (cm) (A e B) e diâmetro da espiga sem palha (mm) (C) do milho safrinha.

Houve interação ($P < 0,05$) entre os níveis de Si e a inoculação com *A. brasilense* na produção de grãos t/ha (Figura 10). Observou-se comportamento quadrático dos níveis de Si ($P < 0,05$) na produção de grãos quando sem inoculação com *A. brasilense*, com uma produção estimada pelo modelo de regressão para o nível de 7,98 kg ha⁻¹ de Si, com um ponto de máxima produção de 12,35 t/ha (Figura 10).

Em relação a produção de grãos, não foi observado diferença ($P > 0,05$) da inoculação de *A. brasilense* para produção de grãos nos níveis 4, 8 e 12 kg ha⁻¹, apresentando média geral de 12,07, 11,11, 11,91, respectivamente (Figura 10). Contudo observou-se diferença ($P < 0,05$) nos níveis de 0 kg ha⁻¹ (Figura 10). A maior produção de grãos foi observada quando se utilizou a inoculação com *A. brasilense* com uma média de 10,65 t/ha, em contrapartida a produção sem a utilização de *A. brasilense* apresentou média de 7,73 t/ha (Figura 10).

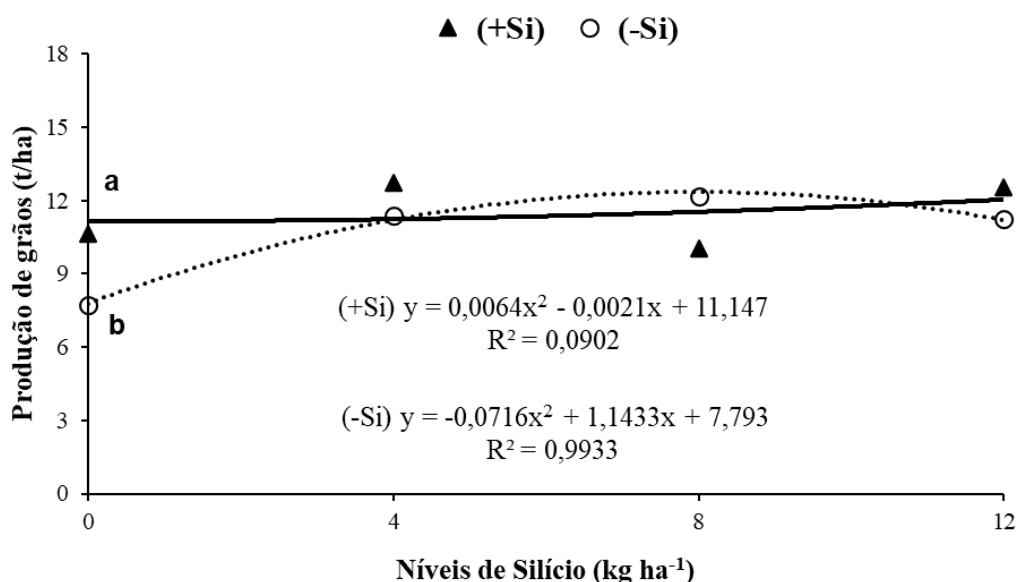


Figura 10. Produção de grãos (t/ha) do milho safrinha fertirrigado com Si e inoculados com (+Si) e sem (-Si) *A. brasilense*.

Não foi observado interação e efeito isolado do Si e da inoculação com *A. brasilense* para a sanidade de ataque de folhas e colmos e nas características dos grãos do milho safrinha ($P > 0,05$) (Tabela 6).

Tabela 6 - Sanidade das folhas, colmos e características dos grãos do milho safrinha fertirrigados com Si, e inoculados sem e com a utilização de *A. brasilense*

<i>A. brasilense</i>	Sanidade de ataques				Grãos			
	Colmo		Folhas		Dureza	Ardidos	Cor	Falhado
Si0	1	1	1	1	2	1	4	1
Si0AB	1	1	1	1	2	1	4	1
Si4	1	1	1	1	2	1	4	1
Si4AB	1	1	1	1	2	1	4	1
Si8	1	1	1	1	2	1	4	1
Si8AB	1	1	1	1	2	1	4	1
Si12	1	1	1	1	2	1	4	1
Si12AB	1	1	1	1	2	1	4	1
Níveis de Silício (Kg/ha)	Sanidade de ataques				Grãos			
	Colmo		Folhas		Dureza	Ardidos	Cor	Falhado
0	1	1	1	1	2	1	4	1
4	1	1	1	1	2	1	4	1
8	1	1	1	1	2	1	4	1
12	1	1	1	1	2	1	4	1

Si0: dose 0 de Si sem *Azospirillum*; Si0AB: dose 0 de Si com *Azospirillum*; Si4: dose 4 de Si sem *Azospirillum*; Si4AB: dose 4 de Si com *Azospirillum*; Si8: dose 8 de Si sem *Azospirillum*; Si8AB: dose 8 de Si com *Azospirillum*; Si12: dose 12 de Si sem *Azospirillum*; Si12AB: dose 12 de Si com *Azospirillum*.

Não houve efeito ($P>0,05$) para às fontes de variação das folhas, colmos e raiz ($P>0,05$) para às variáveis C, N e relação C:N (g/kg) do milho safrinha fertirrigado com Si e inoculado com *A. brasilense* (Tabela 7).

Tabela 7 - Relação C:N (g/kg) das partes da planta do milho safrinha com diferentes doses de Si, sem e com a utilização de *A. brasilense*.

Fontes de Variação	Níveis de Silício (kg ha ⁻¹)				EPM	Efeito		R²
	0	4	8	12		Lin.	Quad.	
Carbono (g/kg)								
Folhas	421,23	418,50	419,08	419,58	1,837	0,598	0,389	-
Colmo	414,91	414,33	414,38	412,90	1,992	0,509	0,825	-
Raiz	396,77	400,03	394,67	394,79	7,963	0,754	0,846	-
Nitrogênio (g/kg)								
Folhas	14,98	16,76	15,71	16,62	0,879	0,338	0,623	-
Colmo	2,41	2,58	2,34	2,48	0,127	0,945	0,907	-
Raiz	4,56	4,71	4,59	4,54	0,289	0,893	0,735	-
Carbono:Nitrigênio (g/kg)								
Folhas	287,86	257,66	269,22	257,09	14,894	0,239	0,551	-
Colmo	1753,86	1626,98	1795,88	1701,84	89,405	0,975	0,856	-
Raiz	885,80	904,77	877,23	887,25	69,998	0,942	0,950	-
Fator de Variação	COM ¹	SEM ²			Média	EPM	P-valor	
Carbono (g/kg)								
Folhas	420,27	418,93			419,60	1,299	0,476	
Colmo	413,12	415,14			414,13	1,408	0,323	
Grãos	420,18	416,83			418,50	1,660	0,168	
Raiz	398,66	394,47			396,57	5,630	0,604	
Nitrogênio (g/kg)								
Folhas	15,93	16,10			16,02	0,622	0,844	
Colmo	2,42	2,48			2,45	0,090	0,622	
Raiz	4,67	4,53			4,59	0,204	0,635	
Carbono:Nitrigênio (g/kg)								
Folhas	268,15	267,77			267,96	10,532	0,979	
Colmo	1732,28	1706,99			1719,64	63,219	0,780	
Raiz	867,69	909,83			888,76	49,496	0,554	

C: Carbono; N: Nitrogênio; C:N: Relação carbono nitrogênio.

COM¹: Com inoculação de *Azospirillum brasilense*

SEM¹: Sem inoculação de *Azospirillum brasilense*

Médias seguidas por letras diferentes nas colunas diferem ($P < 0,05$) de acordo com teste de Tukey.

Houve efeito do Si ($P < 0,05$) para a variável C (g/kg) dos grãos do milho safrinha. Observou-se um incremento de forma linear à medida que os níveis de silício aumentaram, com médias variando de 413,99 a 421,94 (g/kg de C) (Figura 11).

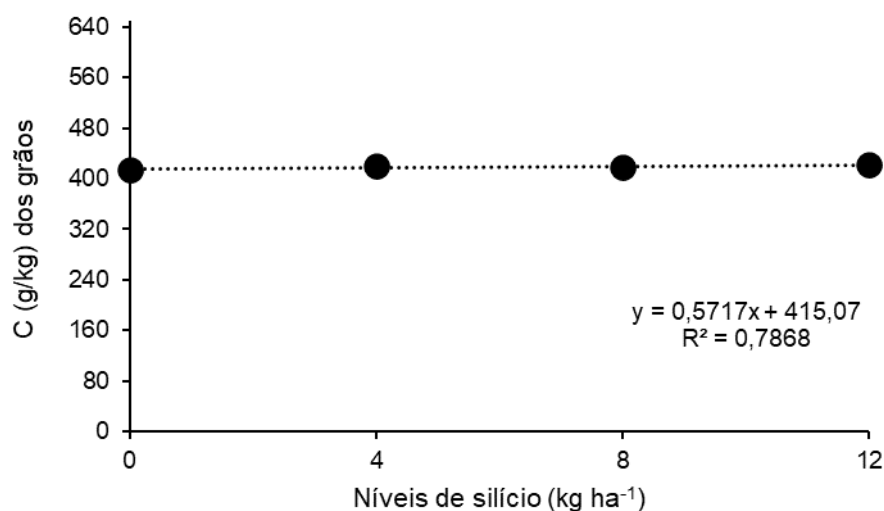


Figura 11. Efeito isolado do Si sob a deposição de C (g/kg) do milho safrinha.

Houve efeito de interação ($P < 0,05$) para N (g/kg) (Figura 12 - A) e relação C/N (g/kg) (Figura 12 - B) com o uso de Si e da inoculação com *A. brasilense*. Observou-se efeito linear dos níveis de Si ($P < 0,05$) para a deposição de N (g/kg) sem *A. brasilense* com deposição mínima de 9,61 e máxima deposição de 12,10 g/kg (Figura 12 - A). em contrapartida, a relação C/N reduziu de 431,32 a 351,37 g/kg à medida que as doses de Si aumentaram. Com relação ao *A. brasilense*, foi observado diferença ($P < 0,05$) apenas para o nível de 8 kg ha⁻¹ de Si para N (g/kg) e relação C/N (g/kg), sendo as maiores médias de deposições observada sem *A. brasilense* para o sem 10,74 g/kg e com *A. brasilense* de 398,54 g/kg (Figura 12 - B).

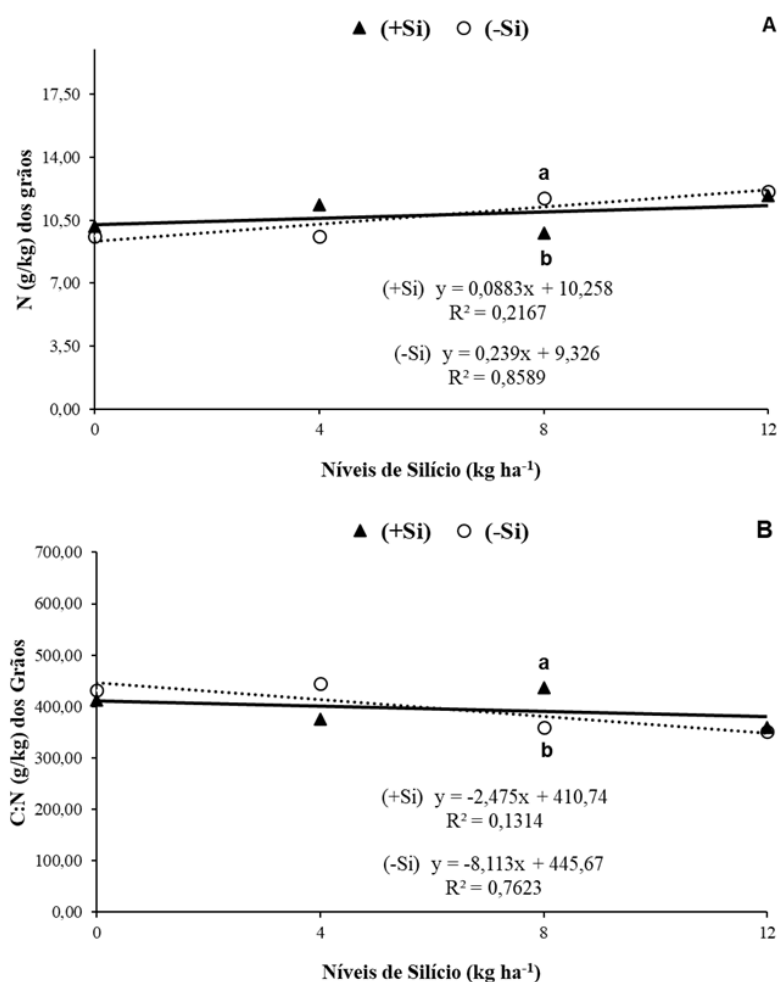


Figura 12. Efeito do Si e da inoculação com *A. brasilense* na cultura do milho para deposição de N (g/kg) e relação C/N (g/kg).

As diferentes doses de Si e a inoculação com *A. brasilense* não influenciaram a qualidade das silagens de milho puro ($P > 0,05$) para pH, a capacidade tampão, perdas por gases e efluentes e a recuperação de matéria seca (Tabela 8).

Tabela 8 - Valores médios de pH, perdas por efluentes, perdas por gases, capacidade tampão e recuperação de matéria seca em silagens de milho puro com doses de Si (kg/ha) e inoculação de *A. brasilense*

Variáveis	Níveis de Silício (kg ha ⁻¹)				EPM	Efeito		R ²
	0	4	8	12		Lin.	Quad.	
pH	4,03	4,02	3,85	3,98	0,063	0,305	0,271	-
PE t	13,47	15,80	17,34	14,57	1,428	0,460	0,096	-
PG (g/kg)	89,11	73,74	82,08	113,98	11,088	0,117	0,051	-
N-NH ₃ (% na MS)	0,29	0,28	0,33	0,30	0,026	0,479	0,680	-
CT (Nº E.mg/100g MS)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,002	0,056	0,495	-
RMS (g/kg)	893,99	913,25	905,70	866,93	12,040	0,121	0,060	-

Variáveis	COM ¹	SEM ²	Média	EPM	P-valor
pH	3,94	4,00	3,970	0,044	0,392
PE t	15,17	15,42	15,290	1,010	0,864
PG (g/kg)	86,05	93,41	89,730	7,840	0,517
N-NH ₃ (% na MS)	0,31	0,30	0,304	0,018	0,680
CT (Nº E.mg/100g MS)	0,05	0,05	0,053	0,002	0,494
RMS	898,35	891,58	894,97	8,488	0,581

CT (Nº E.mg/100g MS): Capacidade tampão; PG (g/kg): Perdas por gases; PE (ton⁻¹ MN): Perdas por efluentes; N-NH₃ (% na MS): Nitrogênio amoniacal na MS; RMS (g/kg): Recuperação de matéria seca; COM¹: Com inoculação de *Azospirillum brasilense*. SEM²: Sem inoculação de *Azospirillum brasilense*; EPM: Erro-padrão da média.

As diferentes doses de Si e a inoculação com *A. brasilense* não influenciou a qualidade das silagens de bovino de corte ($P>0,05$) para pH, a capacidade tampão, perdas por gases e efluentes e a recuperação de matéria seca (Tabela 9).

Tabela 9 - Valores médios de pH, perdas por efluentes, perdas por gases, capacidade tampão e recuperação de matéria seca em silagens para bovino de corte com doses de Si (kg/ha) e inoculação de *A. brasilense*

Variáveis	Níveis de Silício (kg ha ⁻¹)				EPM	Efeito		R ²
	0	4	8	12		Lin.	Quad.	
pH	4,40	4,45	4,39	4,41	0,047	0,889	0,809	-
PE t	10,63	11,56	9,61	14,90	2,232	0,295	0,344	-
PG (g/kg)	66,45	70,16	70,55	84,65	8,522	0,171	0,551	-
N-NH ₃ (% na MS)	3,52	3,83	4,71	4,87	0,737	0,179	0,914	-
CT (Nº E.mg/100g MS)	0,05	0,04	0,04	0,05	0,002	0,899	0,169	-
RMS (g/kg)	922,90	918,28	919,85	900,44	10,072	0,166	0,475	-

Variáveis	COM ¹	SEM ²	Média	EPM	P-valor
pH	4,41	4,42	4,41	0,033	0,944
PE t	10,59	12,76	11,678	1,578	0,349
PG (g/kg)	69,90	76,00	72,950	6,026	0,486
N-NH ₃ (% na MS)	4,31	4,16	4,235	0,521	0,848
CT (Nº E.mg/100g MS)	0,04	0,05	0,049	0,002	0,168
RMS (g/kg)	919,50	911,24	915,37	7,122	0,425

CT (Nº E.mg/100g MS): Capacidade tampão; PG (g/kg): Perdas por gases; PE (ton⁻¹ MN): Perdas por efluentes; N-NH₃ (% na MS): Nitrogênio amoniacal na MS; RMS (g/kg): Recuperação de matéria seca; COM¹: Com inoculação de *Azospirillum brasilense*. SEM²: Sem inoculação de *Azospirillum brasilense*; EPM: Erro-padrão da média.

As diferentes doses de silício e a inoculação com *A. brasilense* não influenciou a qualidade das silagens de cabras leiteiras ($P>0,05$) para pH, a capacidade tampão, perdas por gases e efluentes e a recuperação de matéria seca (Tabela 10).

Tabela 10 - Valores médios de pH, perdas por efluentes, perdas por gases, capacidade tampão e recuperação de matéria seca em silagens para cabras de leite

com doses de Si (kg/ha) e inoculação de *A. brasilense*

Variáveis	Níveis de Silício (kg ha ⁻¹)				EPM	Efeito		R ²
	0	4	8	12		Lin.	Quad.	
pH	4,37	4,41	4,37	4,53	0,050	0,069	0,241	-
PE t	10,72	11,75	10,74	8,44	1,070	0,124	0,140	-
PG (g/kg)	82,75	95,11	80,90	81,49	8,013	0,623	0,474	-
N-NH ₃ (% na MS)	6,35	5,65	7,50	7,33	0,994	0,320	0,792	-
CT (Nº E.mg/100g MS)	0,05	0,06	0,05	0,06	0,004	0,121	0,472	-
RMS (g/kg)	915,04	901,45	916,09	912,67	7,784	0,832	0,524	-

Variáveis	COM ¹	SEM ²	Média	EPM	P-valor
pH	4,41	4,32	4,42	0,035	0,673
PE t	9,43	11,4	10,410	0,757	0,087
PG (g/kg)	81,99	88,13	85,060	5,666	0,456
N-NH ₃ (% na MS)	6,49	6,53	6,713	0,703	0,673
CT (Nº E.mg/100g MS)	0,05	0,06	0,059	0,003	0,717
RMS	913,72	908,90	911,31	5,504	0,5545

CT (Nº E.mg/100g MS): Capacidade tampão; PG (g/kg): Perdas por gases; PE (ton⁻¹ MN): Perdas por efluentes; N-NH₃ (% na MS): Nitrogênio amoniacal na MS; RMS (g/kg): Recuperação de matéria seca; COM¹: Com inoculação de *Azospirillum brasilense*. SEM²: Sem inoculação de *Azospirillum brasilense*; EPM: Erro-padrão da média.

A contagem de BAL, mofos e leveduras das silagens de bovino de corte foram influenciados pelas doses de Si. O número de BAL atingiu um pico de contagem de 6,41 log₁₀ UFC/g quando se utilizou a dose de 4 kg ha⁻¹ de Si sem *A. brasilense*, seguido das doses 0, 12 e 8 kg ha⁻¹, apresentando 6,21, 5,31 e 4,48 log₁₀ UFC/g, respectivamente (Figura 13 - A). O maior pico de BAL com *A. brasilense* foi observado na dose de 4 kg ha⁻¹ de Si, seguido das doses 0, 8 e 12 kg ha⁻¹, com contagens de 6,58, 6,51, 5,66 e 5,38 log₁₀ UFC/g (Figura 13 – A). O maior pico de contagem de mofos foi observado na dose de 0 kg ha⁻¹ de Si sem *A. brasilense* com 3,63 log₁₀ UFC/g, em contrapartida, a menor contagem foi observada na dose de 12 kg ha⁻¹ de Si com 3,31 log₁₀ UFC/g (Figura 13 – B). O número de mofos atingiu um pico de contagem de 3,56 log₁₀ UFC/g quando se utilizou a dose de 8 kg ha⁻¹ de Si com *A. brasilense*, e reduziu nas demais doses de Si, sendo a menor contagem (3,41 log₁₀ UFC/g) na dose de 0 kg ha⁻¹ de Si (Figura 13 – B). A população de leveduras atingiu um pico de contagem de 5,67 log₁₀ UFC/g sem *A. brasilense* na dose de 12 kg ha⁻¹ de Si, seguindo das doses 8 e 0 kg ha⁻¹ (Figura 13 – C). O maior pico de contagem com *A. brasilense* foram semelhantes nas de 0, 8 e 12 kg ha⁻¹ de Si (Figura 13 – C).

Não foi observado contagem na dose de 4 kg ha⁻¹ de Si sem e com *A. brasilense* (Figura 13 – C).

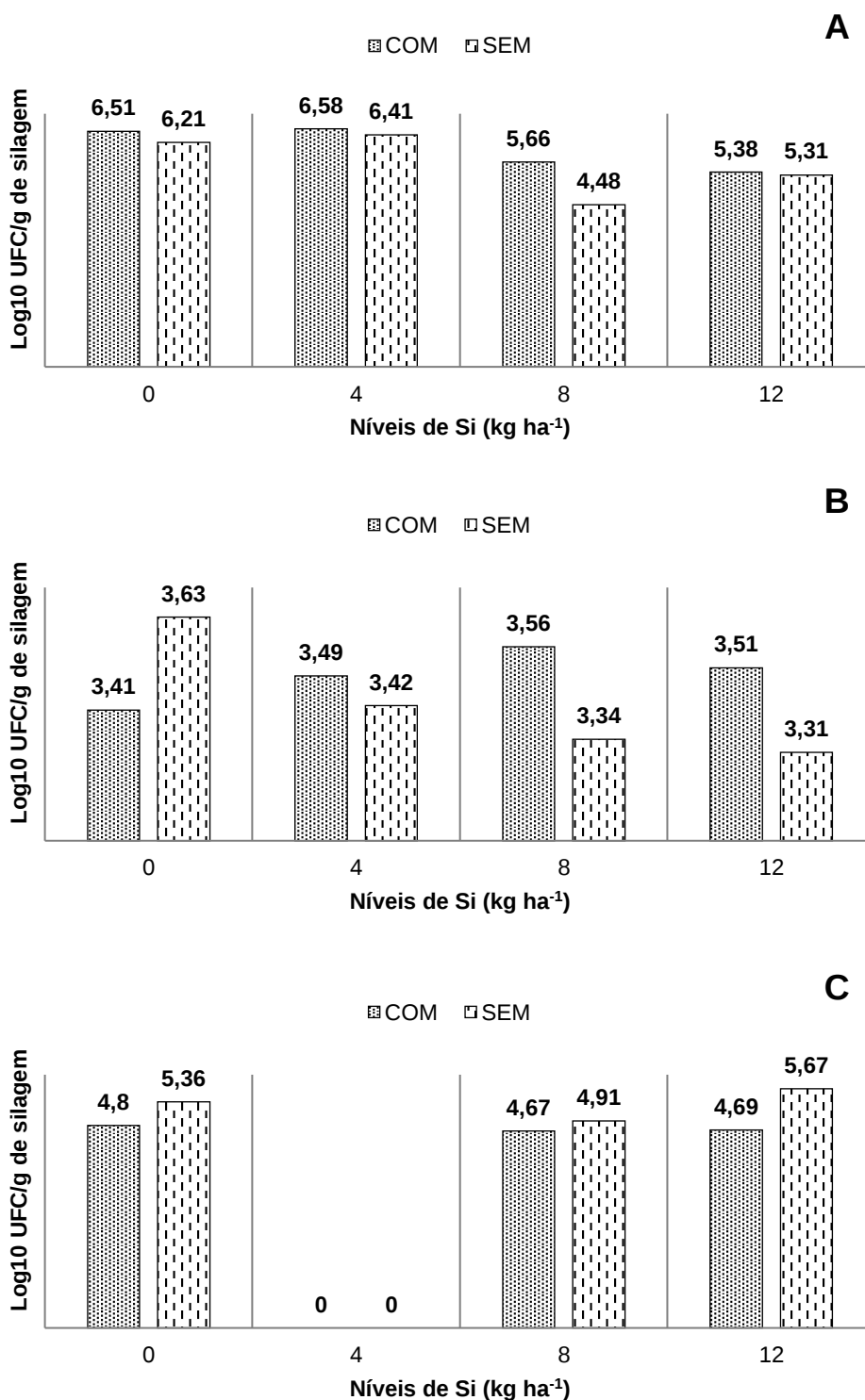
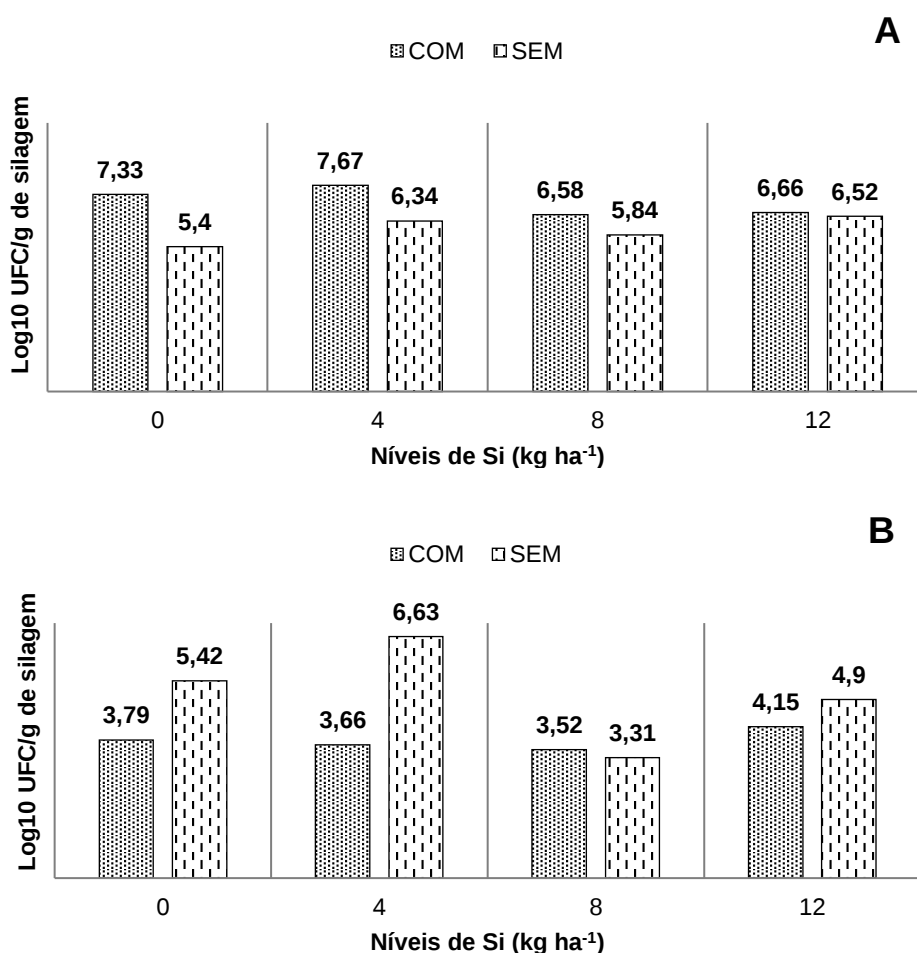


Figura 13. Contagens de bactérias ácido lácticas (BAL) (A), mofos (B) e leveduras (C) em silagens de milho puro com doses de Si (kg ha⁻¹) sem e com inoculação de *A. brasilense*.

A contagem de BAL, mofos e leveduras das silagens de bovino de corte foram influenciados pelas doses de Si. O número de BAL atingiu um pico de contagem de 6,52 log₁₀ UFC/g quando se utilizou a dose de 12 kg ha⁻¹ de Si sem *A. brasilense*, seguido das doses 4, 8 e 0 kg ha⁻¹, apresentando 6,34, 5,84 e 5,4 log₁₀ UFC/g, respectivamente (Figura 14 - A). O maior pico de BAL com *A. brasilense* foi observado na dose de 4 kg ha⁻¹ de Si, seguido das doses 0, 12 e 8 kg ha⁻¹ de Si, com contagens de 7,67, 7,33, 6,66 e 6,58 log₁₀ UFC/g (Figura 14 – A). O maior pico de contagem de mofos foi observado na dose de 4 kg ha⁻¹ de Si sem *A. brasilense* com 6,63 log₁₀ UFC/g, em contrapartida, a menor contagem foi observada na dose de 8 kg ha⁻¹ com 3,31 log₁₀ UFC/g (Figura 15 – B). O número de mofos atingiu um pico de contagem de 4,15 log₁₀ UFC/g quando se utilizou a dose de 12 kg ha⁻¹ de Si com *A. brasilense*, e reduziu nas demais doses de Si (Figura 14 – B). A população de leveduras atingiu um pico de contagem de 6,72 log₁₀ UFC/g sem *A. brasilense* na dose de 4 kg ha⁻¹ de Si, seguindo das doses 12, 8 e 0 kg ha⁻¹ (Figura 14 – C). O maior pico de contagem com *A. brasilense* é observado na dose 12 kg ha⁻¹ de Si com 6,57 log₁₀ UFC/g, sendo a menor contagem de 6,21 log₁₀ UFC/g na dose de 4 kg ha⁻¹ de Si (Figura 14 – C).



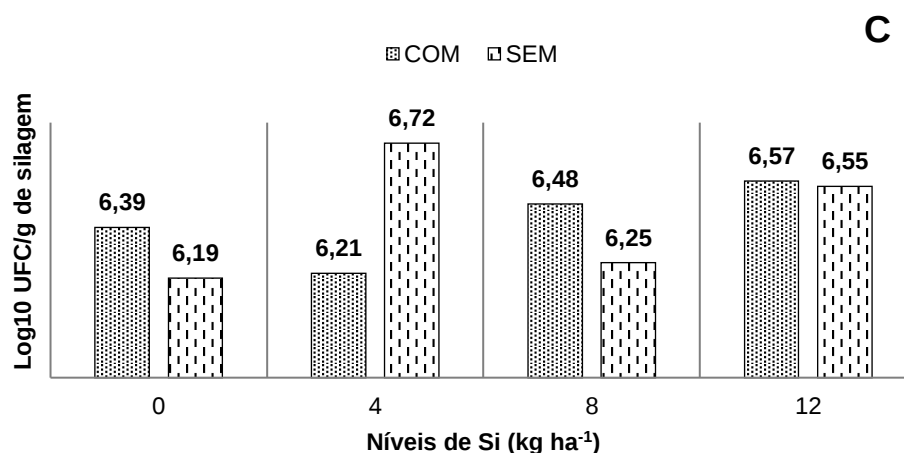


Figura 14. Contagens de bactérias ácido lácticas (BAL) (A), mofos (B) e leveduras (C) em silagens de bovino de corte com doses de Si (kg ha⁻¹) sem e com inoculação de *A. brasilense*.

A contagem de BAL, mofos e leveduras das silagens de cabra leiteira foram influenciados pelas doses de Si. O número de BAL atingiu um pico de contagem de 7,36 log₁₀ UFC/g quando se utilizou a dose de 0 kg ha⁻¹ de Si sem *A. brasilense*, seguido das doses 4, 8 e 12 kg ha⁻¹, apresentando 6,71, 6,36 e 4,16 log₁₀ UFC/g, respectivamente (Figura 15 - A). O maior pico de BAL com *A. brasilense* foi observado na dose de 4 kg ha⁻¹ de Si, seguido das doses 0, 12 e 8 kg ha⁻¹, com contagens de 7,22, 6,51, 5,23 e 5,19 log₁₀ UFC/g (Figura 15 – A). O maior pico de contagem de mofos foi observado na dose de 0 kg ha⁻¹ de Si sem *A. brasilense* com 5,64 log₁₀ UFC/g, em contrapartida, a menor contagem foi observada na dose de 8 kg ha⁻¹ com 3,33 log₁₀ UFC/g (Figura 15 – B). O número de mofos atingiu um pico de contagem de 3,6 log₁₀ UFC/g quando se utilizou a dose de 8 kg ha⁻¹ de Si com *A. brasilense*, e reduziu nas demais doses de Si (Figura 15 – B). A população de leveduras atingiu um pico de contagem de 6,28 log₁₀ UFC/g sem *A. brasilense* na dose de 4 kg ha⁻¹ de Si, seguindo das doses 8, 4 e 12 kg ha⁻¹ (Figura 15 – C). O maior pico de contagem com *A. brasilense* é observado na dose 0 kg ha⁻¹ de Si com 5,91 log₁₀ UFC/g, sendo a menor contagem de 3,68 log₁₀ UFC/g na dose de 12 kg ha⁻¹ de Si (Figura 15 – C).

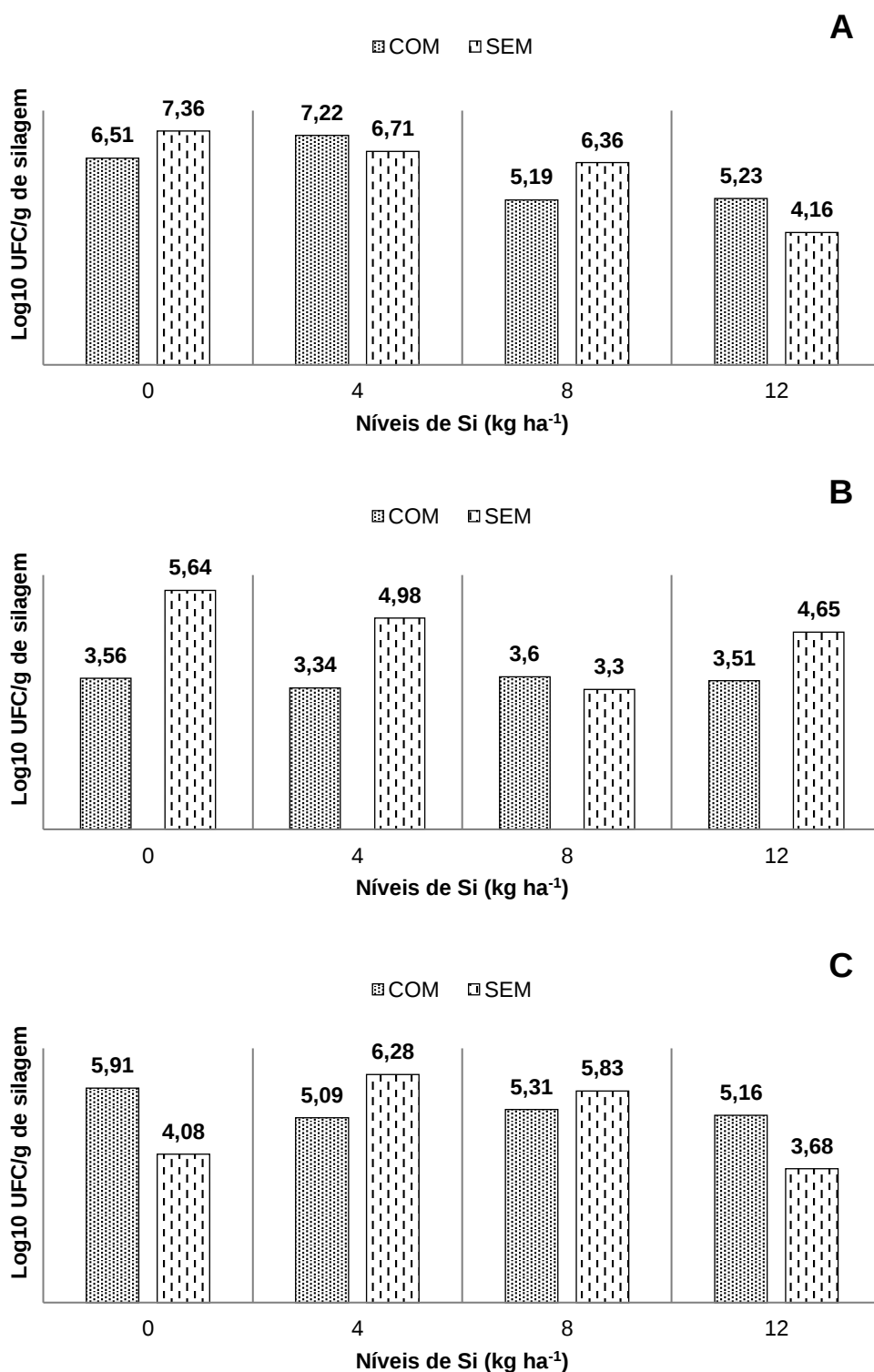


Figura 15. Contagens de bactérias ácido lácticas (BAL) (A), mofos (B) e leveduras (C) em silagens de cabra de leite com doses de Si (kg ha⁻¹) sem e com inoculação de *A. brasilense*.

Não houve efeito ($P>0,05$) para às variáveis matéria seca, matéria orgânica, proteína bruta, matéria mineral, fibra em detergente neutro, fibra em detergente

ácido, hemicelulose, e lignina nas silagens de milho puro, usando o Si inoculado com *A. brasilense* (Tabela 11).

Tabela 11 - Composição química (g/kg MS) das silagens exclusivas de milho, com doses de Si (kg/ha), com e sem a utilização de *A. brasilense*

Variáveis (g/kg)	Níveis de Silício (kg ha ⁻¹)				EPM	Efeito		R ²
	0	4	8	12		Lin.	Quad.	
MS	245,44	239,15	251,56	244,33	7,990	0,803	0,954	-
MO	947,42	948,28	947,95	952,66	2,468	0,185	0,449	-
MM	52,58	51,72	52,05	47,34	2,468	0,185	0,449	-
PB	49,35	44,93	45,49	47,51	2,220	0,626	0,169	-
FDN	517,27	527,42	518,91	495,02	29,624	0,579	0,575	-
FDA	381,02	385,48	387,61	359,97	24,481	0,586	0,523	-
HEM	136,24	141,94	131,30	135,05	14,178	0,826	0,946	-
LIG	33,93	34,87	32,21	33,91	3,724	0,872	0,919	-
Variáveis (g/kg)	COM ¹		SEM ²		Média		EPM	P-valor
MS	249,30		240,94		245,12		5,651	0,313
MO	951,62		946,54		949,08		1,745	0,058
MM	48,38		53,46		50,92		1,745	0,058
PB	45,94		47,69		46,82		1,570	0,445
FDN	499,39		529,92		514,65		20,947	0,320
FDA	373,76		383,28		378,52		17,310	0,703
HEM	125,63		146,64		136,13		10,020	0,160
LIG	34,21		33,25		33,73		2,633	0,801

MS: Matéria seca; MO: Matéria orgânica; MM: Matéria mineral; PB: Proteína bruta; FDN: Fibra em detergente neutro; FDA: Fibra em detergente ácido; HEM: Hemicelulose; LIG: Lignina; EPM: erro-padrão da média.

COM¹: Com inoculação de *Azospirillum brasilense*

SEM²: Sem inoculação de *Azospirillum brasilense*

Não houve efeito ($P > 0,05$) para às variáveis matéria seca, matéria orgânica, proteína bruta, matéria mineral, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido, hemicelulose, e lignina nas silagens de bovino de corte, usando o Si inoculado com *A. brasilense* (Tabela 12).

Tabela 12 - Composição química (g/kg MS) das silagens de bovino de corte, com doses de Si (kg ha⁻¹), com e sem a utilização de *A. brasilense*

Variáveis (g/kg)	Níveis de Silício (kg ha ⁻¹)				EPM	Efeito		R ²
	0	4	8	12		Lin.	Quad.	
MS	377,51	383,55	391,02	388,49	8,009	0,278	0,601	-
MO	913,69	915,76	922,53	933,53	5,587	0,059	0,437	-
MM	86,31	84,23	77,47	66,46	5,587	0,059	0,437	-

PB	132,87	123,13	125,71	122,22	5,943	0,288	0,670	-
FDN	336,50	293,31	342,67	369,44	20,263	0,124	0,106	-
FDA	259,31	231,48	274,14	277,81	25,534	0,405	0,547	-
HEM	77,19	61,83	68,53	91,63	12,683	0,393	0,152	-
LIG	28,64	36,35	26,71	22,70	4,313	0,176	0,196	-
Variáveis (g/kg)	COM ¹	SEM ²	Média	EPM	P-valor			
MS	389,21	381,07	385,14	5,663	0,326			
MO	922,28	920,48	921,38	3,951	0,751			
MM	77,71	79,52	78,62	3,951	0,751			
PB	124,12	127,84	125,98	4,202	0,540			
FDN	345,75	325,21	335,48	14,328	0,328			
FDA	274,67	246,69	260,68	18,050	0,291			
HEM	71,07	78,52	74,79	8,968	0,566			
LIG	31,31	25,89	28,60	3,049	0,229			

MS: Matéria seca; MO: Matéria orgânica; MM: Matéria mineral; PB: Proteína bruta; FDN: Fibra em detergente neutro; FDA: Fibra em detergente ácido; HEM: Hemicelulose; LIG: Lignina; EPM: erro-padrão da média.

COM¹: Com inoculação de *Azospirillum brasilense*

SEM²: Sem inoculação de *Azospirillum brasilense*

Não houve efeito ($P > 0,05$) para às variáveis matéria seca, matéria orgânica, proteína bruta, matéria mineral, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido, hemicelulose, e lignina nas silagens de bovino de corte, usando o Si inoculado com *A. brasilense* (Tabela 113).

Tabela 13 - Composição química (g/kg MS) das silagens de cabras de leite com doses de Si (kg ha^{-1}), com e sem a utilização de *A. brasilense*

Variáveis (g/kg)	Níveis de Silício (kg ha^{-1})				EPM	Efeito		R ²
	0	4	8	12		Lin.	Quad.	
MS	357,39	359,09	359,86	371,47	8,209	0,261	0,556	-
MO	942,43	939,67	941,77	934,36	2,669	0,085	0,399	-
MM	57,57	60,32	58,23	65,63	2,669	0,085	0,399	-
PB	112,50	116,89	100,33	120,73	4,749	0,708	0,114	-
FDN	347,03	340,15	312,83	319,76	21,044	0,266	0,748	-
FDA	249,95	256,67	228,65	236,62	14,136	0,3	0,965	-
HEM	97,07	83,47	84,18	83,14	8,983	0,323	0,496	-
LIG	26,19	29,23	24,87	24,41	1,578	0,191	0,286	-
Variáveis (g/kg)	COM ¹	SEM ²	Média	EPM	P-valor			
MS	362,17	361,74	361,95	5,805	0,959			
MO	941,21	937,90	939,56	1,887	0,235			
MM	58,78	62,10	60,44	1,887	0,235			
PB	114,28	110,95	112,61	3,358	0,493			
FDN	346,48	313,41	329,94	14,881	0,138			

FDA	256,63	229,32	242,97	9,996	0,073
HEM	89,84	84,08	86,98	6,352	0,532
LIG	24,76	27,58	26,17	1,116	0,095

MS: Matéria seca; MO: Matéria orgânica; MM: Matéria mineral; PB: Proteína bruta; FDN: Fibra em detergente neutro; FDA: Fibra em detergente  cido; HEM: Hemicelulose; LIG: Lignina; EPM: erro-padrão da m dia.

COM¹: Com inoculação de *Azospirillum brasilense*

SEM²: Sem inoculação de *Azospirillum brasilense*

A análise do coeficiente de correlação de Pearson indicado na figura 16 mostrou que houve associação significativa ($P < 0,05$) entre a produção e as características morfológicas em função da aplicação das doses de Si no milho. A produção de matéria verde das folhas (PMVF) foi positivamente correlacionada com todos os parâmetros, exceto com a produção de folhas mortas (PMVF) ($P > 0,05$) (Figura 16). A produção de matéria verde das folhas tem forte correlação com a produção de matéria verde por hectare (PMV/ha) ($r = 0,886$), seguido do acúmulo de  gua (ACA) ($r = 0,882$), produção de matéria seca por hectare (PMS/ha) ($r = 0,8712$), eficiência do uso de  gua (EUA) ($r = 0,872$), produção de matéria verde da espiga (PMVESPI) ($r = 0,813$), produção de matéria verde do colmo (PMVC) ($r = 0,750$), produção de matéria seca das folhas (PMSF) ($r = 0,655$), produção de grãos (PG/ha) ($r = 0,640$), produção de matéria seca da espiga (PMSESPI) ($r = 0,620$) e produção de matéria seca do colmo (PMSC) ($r = 0,438$) ($P < 0,05$) (Figura 16). A produção de matéria verde do colmo (PMVC) e produção de matéria verde da espiga (PMVESPI) correlacionou-se com todos os parâmetros, exceto para produção de folhas mortas ($P > 0,05$) (Figura 16). Entretanto, a produção de folhas mortas (PMVFM) não teve correlação entre às variáveis analisadas ($P > 0,05$) (Figura 16).

A produção de matéria seca das folhas teve forte correlação com a produção de matéria verde por hectare ($r = 0,725$), seguido do acúmulo de água, produção de matéria seca e eficiência do uso de água ($r = 0,720$), produção de matéria seca do colmo ($r = 0,626$), produção de matéria seca da espiga ($r = 0,497$) e produção de grãos ($r = 0,403$) ($P < 0,05$). A produção de matéria seca do colmo correlacionou-se positivamente com a eficiência do uso de água ($r = 0,703$), produção de matéria seca por hectare ($r = 0,703$), produção de matéria verde por hectare ($r = 0,695$), acúmulo de água ($r = 0,686$), produção de matéria seca da espiga ($r = 0,500$) e produção de grãos ($r = 0,460$) ($P < 0,05$) (Figura 16).

A produção de matéria seca da espiga teve alta correção com às variáveis produção de matéria verde por hectare ($r = 0,811$), produção de matéria seca por

hectare ($r=0,808$), eficiência do uso de água ($r=0,808$), acúmulo de água ($r=0,804$), e uma menor correlação entre produção de grãos ($r=0,742$) ($P<0,05$) (Figura 16). A produção de matéria verde por hectare teve alta correção positiva entre o acúmulo de água ($r=0,997$), seguido das demais variáveis correlacionadas. A produção de matéria seca teve alta correlação entre a eficiência do uso de água ($r=1,00$) e acúmulo de água ($r=0,962$), seguido da produção de grãos ($r=0,746$). Acúmulo de água correlacionou-se positivamente entre a eficiência do uso de água e a produção de grãos ($r=0,962$ e $0,739$), respectivamente, assim como, a eficiência do uso de água e produção de grãos ($r=0,747$) ($P<0,05$) (Figura 16).

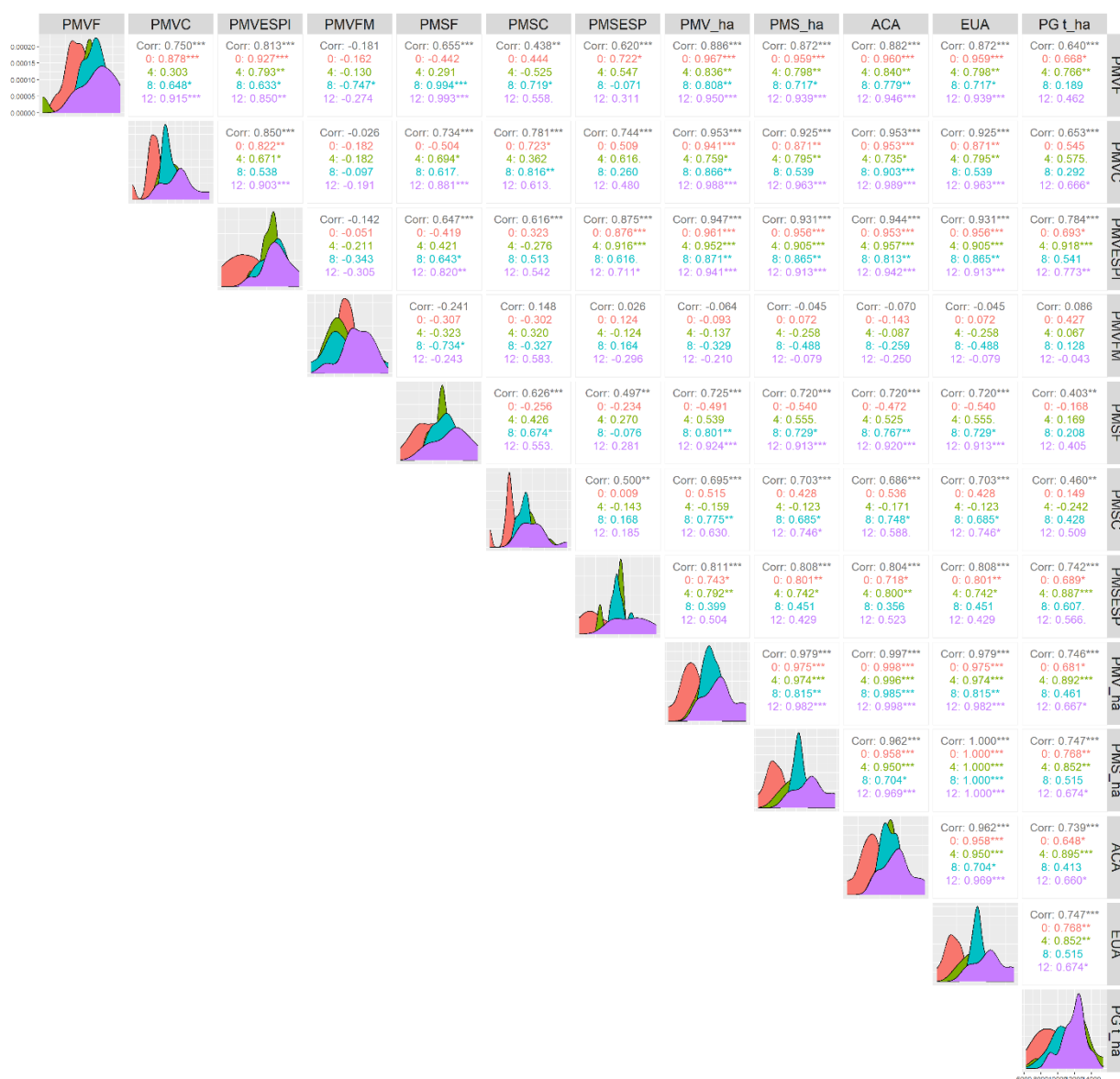


Figura 16. Análise de correlação de Pearson entre a variáveis de produção e morfologia da planta do milho agrupadas por doses de Si (0, 4, 8 e 12).

6 DISCUSSÃO

6.1 Características morfológicas e agronômicas

A presença do silício aumentou o número de folhas vivas, bem como reduziu o número de folhas mortas por planta (Figura 5). Possivelmente ocorreram mudanças anatômicas e fisiológicas nas plantas, com aumento na cera epicuticular e na espessura da epiderme das folhas, permitindo maiores taxas fotossintéticas e maior controle da água no interior das células.

Resultados semelhantes foram vistos em trabalhos realizados por Teixeira et al. (2022) utilizando o Si aplicado por meio de fertirrigação associado à pulverização foliar durante um período de 7 a 160 dias em regime de déficit hídrico grave e controlado nas culturas de cana-de-açúcar e cana-energia, observaram uma redução no número de folhas verdes em ambas os cultivares na ausência de Si sob grave déficit hídrico. Contudo, quando utilizaram a aplicação de Si, ocorreu um incremento benéfico no número de folhas verdes por planta quando estavam submetidos em regime hídrico deficitário, resultando em valores semelhantes às plantas cultivadas em regime hídrico controlado.

Para Feng et al. (2010) o Si depositado nas camadas abaxial das folhas, melhora a sua arquitetura, deixando-as mais eretas, aumentando a exposição da área foliar à captação de luz, além de melhorar o metabolismo de nitrogênio e a estrutura do cloroplasto, intensificando a atuação das enzimas responsáveis pela assimilação de N.

De acordo com Miranda et al. (2018), a dupla formação da camada sílica-cuticular nos estômatos com a aplicação do Si, reduz os efeitos da transpiração, melhorando a necessidade de uso de água pelas plantas, além de incrementar na altura e no diâmetro do colmo. Isso reduz o autosombreamento principalmente em plantas acumuladoras de Si como o milho, permitindo-lhes maior exposição aos raios solares, melhorando a conversão da energia luminosa em energia química na forma de açúcares, essenciais para seu crescimento e desenvolvimento.

Adicionalmente, Camargo et al. (2021), observaram que a utilização de silício na cultura da cana-de-açúcar refletiu em maior incremento na taxa líquida de assimilação de CO₂, na condutância osmótica, na transpiração, no crescimento de biomassa fresca, comprimento dos colmos, bem como na taxa de transporte de elétrons das folhas. Wang et al. (2021), utilizando a aplicação de silício nas espécies

como soja, pepino, milho e alfafa, observaram que a aplicação de Si regulou as trocas gasosas, e refletiu em maior contribuição de tolerância a seca, reduzindo o estresse hídrico e aumentando a eficiência do uso de água.

Em trabalhos realizados por Dutra et al. (2023) aplicando silício no solo e via foliar na cana-de-açúcar sob a estequiometria e na produtividade, observaram um incremento na altura das cultivares avaliadas bem como um aumento na produtividade para ambas às variáveis RB021754 e RB92579. Os efeitos da aplicação do Si no cultivo da cana-de-açúcar, é refletido por ganhos em produtividades sob ambientes tropicais diversos (OLIVEIRA FILHO, A. S. B. et al., 2021; CAMARGO, M. S. et al., 2014). O aumento da produção de massa verde durante a época de seca destaca os efeitos positivos da aplicação de Si no desenvolvimento das plantas, em função da melhor absorção de água, devido ao aumento nas atividades das aquaporinas e do ajuste osmótico nas células das raízes,

Sirisuntornlak, N. et al. (2021) trabalhando com a cultura do milho fertilizado com Si, observou melhorias quantitativas e qualitativas com sua aplicação. Amin, M. et al. (2018) utilizando duas variedades de milho híbrido P-33H25 e F-H810, em cultivo sob capacidade de campo de 60 e 100%, a aplicação do Si promoveu maior incremento para ambas às variedades em relação à altura (13,96 cm), comprimento da espiga (12,83 cm) e no diâmetro do colmo. Adicionalmente, os mesmos pesquisadores tiveram ganhos significativos sobre a produtividade de grãos (235,05 e 215,35). Esse maior comprimento das espigas e na produtividade de grãos refletiram comparavelmente com os resultados do presente estudo na interação entre a utilização do Si e *A. brasilense*, com uma produção no ponto de máxima de 12,35 t ha⁻¹ de grãos (Figura 9 e 10), respectivamente.

Em estudos realizados por Miranda et al. (2018) utilizaram adubação com silício (AgroSilício) via solo com aplicação parcelada nas doses de 2646 kg ou 6,0 kg ha⁻¹, verificaram de forma positiva um incremento na altura das plantas nos momentos iniciais de desenvolvimento e no diâmetro do colmo. Em estudos feitos por Nascimento et al. (2014) utilizando Si na cultura do sorgo BRS 800 e BRS 310 sob o estresse salino, concluíram que a variedades tiveram melhorias no crescimento das plantas e na redução dos efeitos deletérios da salinidade, nas concentrações de 3 mM e 1 mM de Si. Os mesmos autores observaram um aumento no comprimento e diâmetro da espiga da espiga quando utilizou o AgroSilício aplicado via solo de forma parcelada.

O uso de Si no incremento da altura da planta é observado em diversos estudos. A altura da espiga e o número de folhas são geralmente determinados pelo genótipo, mas fatores ambientais e a adubação, em especial ao uso de Si podem contribuir com efeitos distintos sobre as culturas. De acordo com Amaral Filho et al. (2005) o uso do elemento e a adubação induzem a expansão e divisão celular, conjuntamente com os processos fotossintéticos, favorecendo uma maior altura da espiga.

Em trabalhos realizados por Flores et al. (2021), usando três aplicações do Si no milho, distribuídos em cinco doses (0, 0,84, 1,68, 2,52 e 3,36 de Si L⁻¹) na forma de silicato de sódio e potássio estabilizado com sorbitol (Si = 62,9%; K₂O = 21,3%; N / D₂O = 15,7%; d = 1,15 g·L⁻¹), durante o estágio vegetativo, sendo aplicado 15 dias após a emergência das plantas, e as outras aplicações após 30 dias no início da pré-floração. Os autores observaram um aumento tanto na área foliar com na altura das plantas à medida que os níveis de Si aumentaram, obtendo valores máximos na dose de 3,36 g L⁻¹ de Si, com aumentou em aproximadamente 9 a 27% em relação ao tratamento controle. A área foliar e a altura responderam significativamente em até 93 e 82%, respectivamente.

Correa et al. (2005) afirma que o incremento na altura das plantas de milho pode estar relacionado com o maior acúmulo de matéria seca, devido aos efeitos que o silício exerce sobre o metabolismo celular sendo este responsável pela ativação de enzimas importantes. Além de atenuar sobre os impactos negativos da restrição hídrica.

Culturas sob regime de restrição hídrica, afeta a absorção de água através das raízes, desregulando a atividade e o fechamento osmótico, aumento da temperatura das folhas e reduzem as taxas de transpiração (TAIZ e ZEIGER, 2017; TEIXEIRA et al., 2021a). O fechamento dos estômatos altera a captação de CO₂, minimizando a síntese de carboidratos e de assimilação de carbono, bem como redução nas taxas fotossintéticas (TAIZ e ZEIGER, 2017), limitando o desenvolvimento das plantas e a produção de biomassa seca (CAMARGO et al., 2019; TEIXEIRA et al., 2021).

Em resposta à aplicação de silício, resultados confirmam que a adição desse elemento aumenta a produtividade do milho. O Si desempenha um papel eficaz em diversas condições de estresse hídrico, induzindo a planta no aumento da taxa fotossintética (SOUZA et al., 2015), e no uso de eficiente dos nutrientes (ALSAEEDI et al., 2019), resultando e um aumento no desenvolvimento da planta. De acordo com Sousa et al. (2010), o efeito positivo do sílico intensifica a produção de massa do

colmo, melhora a conformidade arquitetônica das folhas e no desempenho fotossintético, resultando em uma maior produção de biomassa fresca. Esse efeito acumulativo na produção, foi visto no presente trabalho (Figura 6).

A aplicação de silício influenciou de forma positiva a produção de matéria seca do milho (MS t/ha) (Figura 8). Em estudo realizado por Milton Garcia, Costa et al. (2022) utilizando a fertirrigação com silicato de sódio-potássio na concentração de 1,8 mM ($113,4 \text{ g Si L}^{-1}$, $18,9 \text{ g K}_2\text{O L}^{-1}$, $100 \text{ mL sorbitol L}^{-1}$) na cultura da cana-de-açúcar cultivadas sob duas condições hídricas: restrição hídrica com retenção hídrica de 35%, e a outra sem restrição hídrica com retenção hídrica a 70%, combinados com (1,8 mM) e sem combinação (0 mM) de Si em três solos tropicais, Latossolo Vermelho Eutroférico, Latossolo Vermelho Distrófico e Neossolo Quartzarênico, observaram que as plantas cultivadas com a aplicação do Si dentro das condições hídricas e de solos estudadas, tiveram aumentos na massa seca foliar e do caule, entretanto, a produção de massa seca do caule no Latossolo Vermelho Distrófico não demonstrou diferença significativa.

Um estudo avaliando os efeitos residuais do Si solúvel e seu uso em duas formas de aplicação, via pulverização foliar e via radicular em mudas pré-brotadas com 30 dias de transplante no solo na mitigação do déficit hídrico, os autores observaram que a aplicação radicular de Si proporcionaram efeitos satisfatórios, contribuindo com a redução dos efeitos deletérios ocasionados pelo déficit hídrico após o transplante das mudas para o campo, melhorando as variáveis fisiológicas e incrementando em maior produção de massa seca.

Em um experimento realizado na Índia, utilizando diferentes formas de aplicação de silício, via foliar (Silixol plus) e via solo (Silixol granulado), os autores constataram um aumento na produtividade e na qualidade dos grãos de milho, recomendando como opção mais rentável a adubação com NPK associado a $1 \text{ cm}^3 \text{ DM}^{-3}$ de Silixol plus via foliar e 25 kg de Silixol granulado no solo para o milho (JAWAHAR, S. et al., 2017). Liang, Y. et al. (2015) em trabalhos realizados na China, entre os anos de 2005 a 2006, a aplicação do silício aumentou a produção de milho em 5,6 10,4%, com uma média total de 7,7%, quando compararam com a variante controle.

Lima Filho e Tsai (2007) aplicaram silicato de sódio no solo na produção e no crescimento de trigo e aveia, observaram resultados significativos. As variedades de trigo e de aveia avaliadas tiveram uma maior produção de matéria seca da parte

aérea, assim como nos grãos e na espiga, aumentando o peso individual, além de observarem um maior comprimento na espiga. Esses incrementos sobre a produção ocorreram porque a distribuição do Si nas plantas forma componentes da parede celular, por meio do aumento da absorção e/ou da disponibilidade do elemento para o crescimento da planta (FRAZAO et al., 2020; HAO et al., 2020). O crescimento da planta tem grande relação com as características de produção.

Além desses fatores, Olivera-Viciedo D. et al. (2024), reportam que plantas sob estresse são favorecidas com a absorção do Si, uma vez que melhora na estequiometria e na homeostase elementar de C, N e P, contribuindo para o metabolismo vegetal e na produção de biomassa seca.

O uso de *Azospirillum*, estimulam o desenvolvimento em diversas culturas como observado em várias literaturas. Entre as vantagens do seu uso, incluem a capacidade de fixação de nitrogênio e produção de substâncias promotoras de crescimentos. Assim, quando se utiliza rizobactérias promotoras de crescimento nas plantas, pondera-se os maiores ganhos ambientais e econômicos, intensificando uma produção mais sustentável (BARBOSA et al., 2022). Os fitormônios, por sua vez, são capazes de promover aumento na densidade e no tamanho de raízes, fazendo com que as raízes têm maior contato com o solo, proporcionando melhora na absorção de nutrientes e de água, logo, por conseguinte a produção de biomassa é aumentada (HUNGRIA et al., 2010; ARDAKANI e MAFAKHERI, 2011).

A inoculação com *A. brasilense* foi eficaz sobre a produção de espiga ($t\ ha^{-1}$) (Figura 9), e no peso da espiga com e sem palha (g/kg) (Tabela 5). O *A. brasilense* demonstrou eficácia no aumento da produtividade de grãos (Figura 10). Costa et al. (2015), utilizando inoculação de *A. brasilense* observaram maior de massa de 1000 grãos (12%) e na produção de grãos (29%) em relação àquelas que não foram adubadas. Szilagyi-Zecchin et al. (2017) utilizando *A. brasilense* na cultura do milho, relataram acréscimos na produção de grãos (kg/ha), com um aumento de 20%, em contrapartida Lana et al. (2012) observaram ganhos de 15,4%.

Em trabalhos realizados por Porto et al. (2020), utilizando a cepaa comercial isolado do *A. brasilense* AbV5, nas concentrações de 1×10^8 UFC/mL (12 mL $5\ kg^{-1}$ de semente) na cultura milho híbrido simples BM 3063, aos 125 dias de colheita, observaram um aumento no comprimento da espiga, número de fileiras por/espigas e no diâmetro da espiga com a microbiolização.

Araújo et al. (2014), utilizando o produto comercial “Masterfi x® Gramíneas”, com *A. brasilense*, com cepas AbV5 e AbV6, nas concentrações de $1,0 \times 10^9$ células g⁻¹, observaram que a massa e o número das espigas aumentaram quando se utilizou a inoculação na semente, em relação ao tratamento sem *A. brasilense*, os tratamentos que passaram pela inoculação apresentaram médias de 6,2Mg ha⁻¹ e 15,2 mil ha⁻¹, respectivamente. Esse aumento na produção de massa e no número de espigas é associado ao melhor aproveitamento do N realizado pela fixação das bactérias, a qual é acumulado na biomassa aérea e posteriormente é translocado para as espigas, sendo depositado principalmente nos grãos.

Os tratamentos que apresentaram maior consumo de água demonstraram os maiores valores de eficiência do uso de água (EUA) neste estudo (Figura 6). Cultivares submetidas a graus de déficit hídrico constante ou periódicos, mostram uma maior eficiência do uso da água, por conseguinte, reduzem o volume de água consumida. Segundo Souza et al., (2015), a manutenção de água nos tecidos foliares aumentam nas plantas com doses crescentes de Si, o que possivelmente tenha ocorrido pela acumulação do Si nos tecidos foliares, que provocaram redução nas taxas de transpiração.

A eficiência no uso da água (EUA) e acúmulo de água aumentaram com a doses de Si (Figura 6). Em várias pesquisas, observa-se uma maior eficiência no uso da água em cultivos sujeitos a certo grau de déficit hídrico, resultando em menores volumes de água consumida. Considera que a eficiência é a diferença entre o rendimento total da colheita pela quantidade de água consumida (TEÓFILO et al., 2012). Portanto, o acúmulo e a eficiência do uso da água refletiram sobre os parâmetros produtivos do presente trabalho.

A matéria orgânica é um reservatório direto de nitrogênio no solo, quando em determinadas condições, podem ser utilizadas como dreno ou fonte deste nutriente. No decorrer dos processos de decomposição, a relação C/N no solo quando superior acaba resultando na imobilização do nitrogênio, que é absorvido pela microflora até que a relação diminua abaixo de 17 (FERREIRA et al., 2003a).

De acordo com Oliveira et al., (2019), a relação Carbono/Nitrogênio é a proporção entre as quantidades de carbono e nitrogênio presentes na biomassa de determinadas culturas, sendo um indicador de decomposição da matéria orgânica do solo. Culturas como as gramíneas, possuem baixa taxa de decomposição, devido à alta relação Carbono/Nitrogênio, resultando em maior permanência dos resíduos no

solo. No presente estudo, observou-se uma maior deposição de C (Figura 11) nos grãos, entretanto observou-se uma alta relação C/N, isso resulta em um maior aporte de compostos ricos em C, como a lignina e a celulose, importantes para a característica estrutural da planta.

Foi observado acúmulo de N (g/kg) nos grãos do milho safrinha (Figura 12 –A). O nitrogênio, permanece entre os nutrientes responsáveis pelo incremento produtivo das forrageiras, especialmente em espécies com alto potencial produtivo, quando em condições de solo ideais e os nutrientes essenciais estejam adequados, as gramíneas apresentam respostas significativas com a atividade de nitrogênio (GURGEL et al., 2018).

Os grãos de milho apresentaram relação C/N acima de 40 (Figura 12 B). Dessa forma, é esperado que a liberação do N contido na biomassa dos grãos seja mais lenta. Quando se tem altas concentrações de Nitrogênio, e baixas relações de Carbono/Nitrogênio, a necessidade de Nitrogênio pelos microorganismos é rapidamente satisfeita, e o Nitrogênio em excesso é liberado para o solo de forma mais rápida. Ao passo em que, as concentrações de Nitrogênio baixa, e alta relação Carbono/Nitrogênio, a quantidade de N não se torna suficiente para atender a demanda dos microorganismos, que atuam imobilizando o Nitrogênio mineral no solo, implicando na nutrição nitrogenada (MOREIRA E SIQUEIRA 2002).

6.2 Sanidade das folhas, colmo e características dos grãos

Em relação a sanidade do colmo e das folhas os tratamentos avaliados apresentaram excelentes resultados, em que foi possível observar que o colmo apresentou boa condição de sanidade e as folhas apresentaram boa resistência, levando em consideração os critérios de avaliação utilizados.

Em relação a sanidade de ataques folhas e colmos foi observado que ambas às variáveis apresentaram nota 1, denotando um grau de sanidade excelente. O mesmo ocorreu para os grãos ardidos e falhados (nota 1), sem relatos de grãos ardidos e falhos, respectivamente. Os grãos foram classificados como semiduros (nota 1) com coloração amarelo-alaranjado (nota 4) (Tabela 6).

A importância das folhas para as plantas se deve ao papel da realização da fotossíntese, na produção de fotoassimilados que são realocados principalmente para o enchimento dos grãos na época reprodutiva (LIMA et al., 2010). O milho safrinha possui boas resistências ao ataque de pragas, tendo em vista ao seu grau de

melhoramento genético por se tratar de uma cultura utilizada na época seca do ano. Além disso, o *Azospirillum* e o Si desenvolvem um papel importante no aporte nutricional da planta, resultando em uma planta mais vigorosa e menos susceptível a ataques.

6.3 Perfil fermentativo, perdas e recuperação de matéria seca

O reflexo da utilização do Si e do uso de *A. brasilense* sobre a qualidade fermentativa das silagens não demonstrou resultados sobre o pH ($P > 0,05$). Os valores de pH proposto por McDonald et al. (1991) considerados adequados, variam entre 3,8 e 4,2. As silagens de milho puro se mantiveram dentro dos valores recomendados. Em contrapartida, os valores elevados de pH das silagens de ração total foram superiores, e pode estar relacionado à disposição e as interações dos ingredientes (composição da dieta).

As perdas por efluentes são influenciadas pelo teor de MS antes da ensilagem, densidade de compactação, tamanho de partícula e seu processamento (BORREANI et al., 2018). No presente estudo, as perdas por efluentes das silagens ultrapassaram os 10 g/kg, acarretando maior lixiviação dos nutrientes.

A MS é um fator importante no milho, quando os teores de MS estão em seus níveis adequados, os nutrientes das plantas são preservados. Os teores de matéria seca, quando relacionados às perdas por gases, são reduzidos quando essas perdas interferem diretamente no processo da ensilagem, e além disso, acarreta nas perdas de carboidratos solúveis, aumentando a produção de água (BALIEIRO NETO et al., 2009). No presente trabalho, as perdas por gases não influenciaram as silagens, fato este que corrobora com os valores de RMS acima de 900 g/kg.

A capacidade tampão é fortemente influenciada pelos teores de minerais na planta, pelos ácidos orgânicos e pelos compostos nitrogenados (PLAYNE; MCDONALD, 1966). Como a capacidade tampão não afetou as silagens, não ocorreu desbalanço de minerais e nitrogênio, fato corroborado pelo teor de cinzas e de pH das silagens, além disso, o milho apresenta baixa capacidade tamponante, devido principalmente aos altos teores de carboidratos solúveis.

6.4 Microbiologia da silagem

O Si e o *A. brasilense* influenciou de forma positiva sobre a microbiologia (Figuras 13, 14 e 15). A população de BAL, mofos e leveduras variaram em função das doses. A presença de BAL são fundamentais para o processo de qualidade

fermentativa. Contudo, a variação desses grupos corresponde a um limite de detecção 10^7 em milho e sorgo (PAHLOW et al., 2003).

Quando mais rápido ocorrer a queda do pH, melhor será o controle de clostrídios e enterobactérias, os quais em condições com concentrações de ácidos dissociados ou pH baixos, sejam atingidos (PAHLOW et al., 2003). A inibição dos microrganismos é dependente dos teores de matéria seca presente na planta. No presente estudo as silagens de milho puro apresentaram em média 4,1 e valores mais alto para às silagens de ração total. As concentrações de mofos e leveduras foram expressivas, esse fato pode estar relacionado aos valores de pH e no percentual do teor de MS, e observado que a MS das silagens de milho ficaram abaixo de 30 a 35% (Tabela 11), isso pode ter levado a proliferação de microrganismos indesejáveis, devido ao expressivo teor de umidade presente no momento da ensilagem, mesmo que em condições de pH dentro do desejado, além disso os valores de recuperação de MS são relativamente inferiores ao recomendando (Tabela 9). A presença desses mofos foi significativa sobre a perda por efluente, mesmo não observado diferença significativa nessa variável (PE) ($P>0,05$) (Tabela 8, 9 e 10).

As silagens de ração completa apresentaram significativas população BAL, de mofos e leveduras, mesmo com teores de MS relativamente altos (Tabela 3), possivelmente influenciou a compactação, e provocou maior desenvolvimento de microrganismos anaeróbios e aeróbios facultativos indesejáveis (Tabela 11, 12 e 13). Outro ponto está relacionado aos teores de carboidratos solúveis residuais, que podem ter sido elevados, o que provocou essa acentuação de leveduras, mesmo em condições de pH relativamente altos para o seu desenvolvimento.

Outro fator que pode estar associado a essas populações de microorganismos diz respeito à temperatura dentro do silo. De acordo com Yamamoto et al. (2011), o crescimento ideal para as BAL varia em média de 27 a 38 °C. Uma silagem de milho deve apresentar em média dentro do silo 40°C, isso dificulta a presença de leveduras por volta de 82 dias de armazenamento (KIM e ADESOGAN, 2006).

Resultados semelhantes foram encontrados em trabalhos realizados com silagens de milho puro por Sousa F. C. S. (2023), onde o uso do Si e do *A. brasilense* influenciaram a população de BAL, mofos e leveduras. Nesses estudos, foram observado um pico de produção para BAL quando se utilizou a dose de 0 kg ha⁻¹ de Si (6,35 log₁₀ UFC/g), seguindo da dose 12 (7,45 log₁₀ UFC/g) e 8 kg ha⁻¹ de Si (6,18 log₁₀ UFC/g) para às silagens de milho puro. Enquanto que para mofos, o maior

pico de ocorreu na dose 0 kg ha⁻¹ de Si (3,03 35 log₁₀ UFC/g). As leveduras atingiram um pico quando aplicou a dose 8 kg ha⁻¹ de Si. Os resultados se assemelham com os obtidos no presente experimento (Figuras 13, 14 e 15). Adicionalmente, Costa R. S. (2023) encontrou valores e população de BAL, mofos e leveduras semelhantes.

Mais pesquisas devem ser desenvolvidas a ponto de identificar os efeitos das dosagens de silício e da inoculação com *A. brasiliense* sobre os parâmetros microbiológicos das silagens.

6.5 Composição química-bromatológica das silagens

A composição química-bromatológica das silagens não foram influenciadas pela aplicação do Si e da inoculação com *A. brasiliense*. Entender os teores de MS é de grande importância, pois as dietas animais são formuladas para atender uma determinada categoria animal que requerem quantidades específicas de nutrientes contidos na MS desses alimentos (PINEDO et al., 2022).

Os teores de FDN se mantiveram dentro do considerado faixa ótima (nível de 50%). Esses níveis variam de espécie para espécie vegetal, ou seja, altos teores de FDN limitam a ingestão de MS, fazendo com que às necessidades nutricionais pelo animal fiquem aquém, provocando perdas de desempenho (OLIVEIRA et al., 2014).

Portanto, observa-se que o uso de silício e a inoculação com *A. brasiliense* demonstram resultados positivos quando aplicados na cultura do milho safrinha, tanto em termos de produtividade quanto na qualidade da silagem, sugerindo ser uma alternativa viável para a utilização durante a entressafra agrícola. Contudo, mais estudo devem ser realizados afim de identificar os efeitos do silício provocado sobre os parâmetros microbiológicos e composição química de silagens.

6.6 Efeitos da Correlação

As características morfológicas controlam a produtividade de grãos, assim, o controle genético da produção é influenciado diretamente por fatores correlacionados com a produtividade. Essas características fisiológicas e morfológicas influenciam diretamente o aumento das características genéticas e da produtividade (MOUSAVI; NAGY, 2021).

Essas interações indicam que a produtividade final dos grãos é influenciada por características morfológicas e fisiológicas. A produção da planta é diretamente afetada pela produção de folhas e grãos, devido à redistribuição de fotoassimilados em função do número de drenos. No entanto, isso resultou em um acúmulo significativo de

matéria seca e matéria verde na planta. Resultados diferentes foram observados por Guimarães et al. (2014) e Ciappina (2019), que constataram que essa redistribuição de fotoassimilados resultou em menor acúmulo de massa nos grãos.

A correlação entre as variáveis na cultura do milho (Figura 16) mostrou que a produção de matéria seca foi mais influenciada pela eficiência do uso de água ($r=1,00$), e teve uma correlação menor com a produção de grãos ($r=0,747$). Em estudos realizados por Zopollatto et al. (2009), foi observada uma correlação de 0,72 entre a produção de matéria seca e a produção de grãos no momento da ensilagem, valor inferior ao encontrado neste trabalho.

A seleção da cultivar para ensilagem, de acordo com Crevelari et al. (2018), torna-se um desafio devido à produtividade da massa ser diretamente influenciada pela complexidade das características do híbrido. Os autores observaram uma correlação de 0,91 entre as variáveis analisadas ao selecionar híbridos com maior produção de massa de espiga.

A alta correlação entre a produção de folhas e a produção de matéria seca total ($r=0,872$) indica que o avanço da idade de corte sobre o teor de matéria seca é fortemente influenciado pela desidratação das folhas. Rocha Jr. et al. (2000) encontraram uma correlação positiva ($r = 0,78$; $P<0,01$) entre o teor de matéria seca e a produção de panícula do sorgo com a idade de corte. Em estudos realizados por Cummins (1981), a elevação dos teores de matéria seca sob o efeito da maturação dos grãos resultou em 27,2%, 22,3%, 32,9% e 24,6% de produção de matéria seca para as silagens com grãos nos estádios farináceo, leitoso, farináceo-duro e leitoso-farináceo, respectivamente.

Houve uma correlação significativa ($p<0,05$) entre o teor de matéria seca (MS) da silagem e a produção de espiga ($r = 0,931$) na planta, evidenciando a influência dessas frações na qualidade da silagem. Não apenas a proporção das partes da planta deve ser considerada, mas também o teor de umidade de cada uma delas. Conforme Gontijo Neto et al. (2004), as variações nas proporções das partes das plantas, especialmente nos percentuais de colmo e panícula do sorgo, têm impactos mais significativos no teor de matéria seca da planta como um todo do que o teor de água específico de cada uma dessas partes.

7 CONCLUSÃO

A inoculação com *A. brasilense* e a fertirrigação com Si proporcionam maiores rendimentos morfoagrômicos para o número de folhas vivas, altura da planta, comprimento da espiga com e sem palha, produção de matéria verde e seca e de grãos, assim como na relação C:N, sendo recomendada a dose de 12 kg ha⁻¹ de Si, e para a população microbológica de BAL, mofo e levedura recomenda-se a dose de 4 kg ha⁻¹ de Si. A maior correlação positiva entre as características morfoagrômicas e doses de silício para produção de matéria verde e acúmulo de água.

REFERÊNCIAS

AGARUSSI, M. C. N.; SILVA, V. P.; PAULA, E. M.; VYAS, D.; ADESOGAN, A. T.; PEREIRA, O. G.; & FERRARETTO, L. F. Effects of ensiling of whole-plant corn on silage processing score and fermentation and long-chain fatty acid profiles. **Applied Animal Science**, v. 36, n. 2, p. 167-171, 2020.

ALMEIDA, A. C. et al. Produtividade e eficiência de uso da água em milho cultivado com diferentes estratégias de manejo hídrico. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.11, n.3, p.1148-1457, 2017.

ALVARES, C. A.; STAP COSTA R. S. AMIN, M.; AHMAD, R.; ALI, A.; HUSSAIN, I.; MAHMOOD, R.; ASLAM, M.; LEE, D.J. Influence of Silicon Fertilization on Maize Performance Under Limited Water Supply. **Silicon**, 10, 177–183, 2018.

AOAC – Association of Official Agricultural Chemists. Official Methods of the Association of the Agricultural Chemists. 20. ed., Washington, 3172 p., 2016.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists International. Official methods of analysis of AOAC International, 18th ed. AOAC International, Gaithersburg, Maryland, 2005.

ARAÚJO, R. M., ARAÚJO, A. S. F. D., NUNES, L. A. P. L., & FIGUEIREDO, M. D. V. B. Resposta do milho verde à inoculação com *Azospirillum brasilense* e níveis de nitrogênio. **Ciência Rural**, 44(9), 1556-1560, 2014.

ASLAM, MM, IDRIS, AL, ZHANG, QIAN, WEIFENG, XU, KARANJA, JK, WEI, YUAN. Os microbiomas da rizosfera podem regular a tolerância das plantas à seca. **Pedofera** 32(1), 61–74, 2022

BAKHAT, HF, BIBI, N., ZIA, Z., ABBAS, S., HAMMAD, HM, FAHAD, S., ASHRAF, MR, SHAH, GM, RABBANI, F. E SAEED, S. O silício mitiga estresses bióticos em plantas cultivadas: uma revisão. *Proteção de Culturas*, 104, 21-34, 2018.

BALIEIRO NETO, G., SIQUEIRA, G. R., NOGUEIRA, J. R., REIS, R. A., ROTH, A. P. D. T. P., & ROTH, M. D. T. P. Perdas fermentativas e estabilidade aeróbia de silagens de cana-de-açúcar aditivadas com cal virgem. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, 10(1), 24-33, 2009.

BARBOSA, J.Z., DE ALMEIDA ROBERTO, L., HUNGRIA, M., CORREA, R.S., MAGRI, E., CORREIA, T.D. Meta-analysis of maize responses to *Azospirillum*

brasileense inoculation in Brazil: benefits and lessons to improve inoculation efficiency. *Appl. Soil Ecol* 170, 104276, 2022.

BARBOSA, Julierme Zimmer et al. Meta-analysis of maize responses to *Azospirillum* brasilense inoculation in Brazil: Benefits and lessons to improve inoculation efficiency. **Applied Soil Ecology**, v. 170, p. 104276, 2022.

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth: a critical assessment. **Advances in agronomy**, v. 108, p. 77–136, 2010.

BORREANI, G.; FERRERO, F.; TABACCO, E. Baled silage management. In Proceedings of the 6th International Symposium on Forage Quality and Conservation, Piracicaba, Brazil, 7–8 November 2019; Nussio, L.G., Da Silva, E.B., OLIVEIRA, K.S., GRITTI, V.C., SALVO, P.A.R., SALVATI, G.G.S., DE SOUSA, D.O., Eds.; ESALQ: Piracicaba, Brazil; pp. 219–246, 2019.

CAMARGO M.S., BEZERRA B.K.L., VITTI A.C., SILVA M.A., OLIVEIRA A.L. Silicon fertilization reduces the deleterious effects of water deficit in sugarcane. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(1), 99–111, 2017.

CAMARGO M.S., BEZERRA B.K.L., HOLANDA L.A., OLIVEIRA A.L., VITTI A.C., SILVA M.A. Silicon fertilization improves physiological responses in sugarcane cultivars grown under water deficit. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition** 19:81– 9, 2019.

CAMARGO M.S., FERNÁNDEZ HONAINÉ M., OSTERRIETH M., BOZZA N.G., DA MOTA SILVA V., BENVENUTO M.L., DE ALMEIDA SILVA M. Silicon fertilization increases gas-exchange and biomass by silicophytolith deposition in the leaves of contrasting drought-tolerant sugarcane cultivars under well-watered conditions. **Plant Soil** 466:581–595, 2021.

CAMARGO, M. S., KORNDÖRFER, G. H. & WYLER, P. Silicate fertilization of sugarcane cultivated in tropical soils. **Field Crops Res.** 167, 64–75, 2014.

CASSÁN, Fabricio et al. Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. **Biology and Fertility of Soils**, v. 56, p. 461–479, 2020.

CHANDRAN, Hema; MEENA, Mukesh; SWAPNIL, Prashant. Plant growth-promoting rhizobacteria as a green alternative for sustainable agriculture. **Sustainability**, v. 13, n. 19, p. 10986, 2021.

CHEN, D.; WANG, S.; CAO B.; CAO, D.; LENG, G.; LI, H.; YIN, L.; SHAN, L.; DENG, X. Genotypic variation in growth and physiological response to drought stress and re-watering reveals the critical role of recovery in drought adaptation in maize seedlings. *Frontiers in Plant Science*, v. 6, p. 1-15, 2016

CIAPPINA, A.L. Caracterização de Híbridos e Associação entre Caracteres para Produção de Silagem em Milho. Goiania: Universidade Federal do Goiás, 2019.

COELHO, J. D. Milho: Produção e Mercado. Caderno Setorial ETENE, 6(182), 2021. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da safra brasileira grãos – v.1, n.1 (2013) – Brasília: Conab, 2013- v., agosto 2022.

COSKUN, D. ET AL. The controversies of silicon's role in plant biology (As controvérsias sobre o papel do silício na biologia das plantas). **New Phytol.** 221, 67-85, 2019.

COSTA R. S. **Bioteecnologias aplicadas na viabilidade de plantio do sorgo forrageiro na produção de grãos e silagem em dietas de ruminantes na modulação do déficit hídrico no período da seca** . Dissertação (Mestrado), Programa de pós-graduação em Ciência Animal. Chapadinha-MA, 2023.

CREVELARI, J. A.; DURÃES, N. R. L.; BENDIA, L. C. R.; VETTORAZZI, J. C. F.; ENTRINGER, G. C.; FERREIRA JÚNIOR, J. A.; PEREIRA, M. G. Correlations between agronomic traits and path analysis for silage production in maize hybrids. *Bragantia*, v. 77, n. 2, p. 243-252, 2018.

CRUSCIOL, C. A. C. Silício para as gramíneas forrageiras. *Campo e Negócios*, Uberlândia, v. 4, n. 1, p. 14-15, jan. 2006.

CUMMINS, D. G. Yield and quality changes with maturity of silage type sorghum fodder. *Agronomy J.* v.73, n.6, p.988-990, 1981.

CURRIE, HA E PERRY, CC. Sílica em plantas: estudos biológicos, bioquímicos e químicos. *Anais de Botânica*, 100, 1383-1389, 2007.

DEBONA, D.; RODRIGUES, FA; DATNOFF, LE O papel do silício no estresse de plantas abióticas e bióticas. *Anu. Rev. Fitopatol.*, 55, 85–107, 2017.

DESHMUKH, R. E BELANGER, RR. Evolução molecular das aquaporinas e influxo de silício nas plantas. *Ecologia Funcional*, 30, 1277-1285, 2016.

DESHMUKH, R., SONAH, H., BELANGER, R., New evidence defining the evolutionary path of aquaporins regulating silicon uptake in land plants. *J. Exp. Bot.* 71, 6775–6788, 2020.

DUARTE, Camila Fernandes Domingues et al. Azospirillum spp. in grasses and forages. Review. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, v. 11, n. 1, 2020.

DUTRA, A.F., LEITE, M.R.L., MELO, C.C.D.F. et al. Soil and foliar Si fertilization alters elemental stoichiometry and increases yield of sugarcane cultivars. *Sci Rep*, 13, 16040, 2023.

EXLEY, C. & GUERRIERO, G. A reappraisal of biological silicification in plants? *New Phytol.* 223, 511-513, 2019.

FERRARETTO, L. F.; SHAVER, R. D.; LUCK, B. D. Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. *Journal of dairy science*, v. 101, n. 5, p. 3937-3951, 2018.

FERREIRA, Luiz Leonardo et al. Inoculation of Azospirillum brasilense in corn. *Communications*, v. 10, p. 037-045, 2020.

FLORES, R. A. .; PESSOA DE SOUSA, M. A. .; BUENO, A. M. .; ANDRADE, A. F. de .; SOUZA JUNIOR, J. P. de .; ABDALA, K. de O. .; PRADO, R. de M. .; SANTOS, G. G. .; MESQUITA, M. Does foliar silicon application enhance the biomass yield of millet silage, and does it provide significant economic gains?. Research, *Society and Development*, [S. l.], v. 10, n. 4, p. e41610414232, 2021.

FRAZAO, J.J., PRADO, R., DE, M., DE SOUZA JÚNIOR, J.P., ROSSATTO, D.R., Silicon changes C:N:P stoichiometry of sugarcane and its consequences for photosynthesis, biomass partitioning and plant growth. *Sci. Rep.* 10, 12492, 2020.

FUKAMI, J., CEREZINI, P., HUNGRIA, M. Azospirillum: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. *AMB Express* 8 (1), 1–12, 2018.

GONTIJO NETO, M. M., OBEID, J. A., PEREIRA, O. G. et al. Híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cultivados sob níveis crescentes de adubação. Características agronômicas, carboidratos solúveis e estruturais das plantas. *Ver. Bras. Zootec.*, v.33, n.6, p.1975-1984, 2004

GREEN, S.W.; PIPERNO, D.R. Phytolith Analysis: An Archaeological and Geological Perspective (Análise de fitólitos: uma perspectiva arqueológica e geológica). *Am. J. Archaeol*, 95, 741, 1991.

GREGER, M.; LANDBERG, T.; VACULÍK, M. Silicon Influences Soil Availability and Accumulation of Mineral Nutrients in Various Plant Species (O silício influencia a disponibilidade do solo e o acúmulo de nutrientes minerais em várias espécies de plantas). *Plants*, 7, 41, 2018.

GUIMARÃES, A.G. et al. Seleção de Genótipos Superiores de Milho para Cultivo no município Couto de Magalhães de Minas – MG. *Rev. Bras. Agropec. Sustentável*, v.9, n.2, p.110-119, 2019.

GUNTZER, F., KELLER, C. & MEUNIER, J.-D. Benefícios do silício vegetal para as culturas: A review. *Agron. Sustain. Dev.* 32, 201-213, 2012.

GURGEL, A. L. C.; DIFANTE, G. S.; MONTAGNER, D. B.; ARAUJO, A. R. ; VERAS, E. L. L. ; BRIXNER, B. M. ; RODRIGUES, J. G. ; PEREIRA, M. G. . Uso do nitrogênio em pastagens tropicais. In: XI MOSTRA CIENTÍFICA FAMEZ / UFMS, 2018, Campo Grande - MS. ANAIS DA XI MOSTRA CIENTÍFICA FAMEZ / UFMS, 2018.

GUSMÃO, J. O.; DANES, M. A. C.; CASAGRANDE, D. R. et al. Total mixed ration silage containing elephant grass for small-scale dairy farms. *Grass and Forage Science*, v. 73, n. 3, p. 717–726, 2018.

HAO, Q., YANG, S., SONG, Z., LI, Z., DING, F., YU, C., HU, G., LIU, H. Silicon affects plant stoichiometry and accumulation of C, N, and P in Grasslands. *Front. Plant Sci.* 11, 1304, 2020.

HAYNES, R. J. A contemporary overview of silicon availability in agricultural soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 177, 831–844, 2014.

HUNGRIA, Mariangela et al. Improving maize sustainability with partial replacement of N fertilizers by inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Agronomy Journal**, v. 114, n. 5, p. 2969-2980, 2022.

IMTIAZ, M., RIZWAN, MS, ASHRAF, M., YOUSAF, B., SAEED, DA, RIZWAN, M., NAWAZ, MA, MEHMOOD, S. E TU, S. Ocorrência, absorção, transporte e mecanismos de silício de metais pesados, minerais e tolerância aumentada à salinidade em plantas com perspectivas futuras: uma revisão. **Jornal de Gestão Ambiental**, 183, 521-529, 2016.

JAWAHAR, S.; KALAIYARASAN, C.; SRIRAMACHANDRASEKHARAN, M.V.; NEERU, J.; NAVEENKUMAR, M. Effect of ortosilicic acid formulations on growth and field of maize in different soils. In Proceedings of the 7th International Conference on Silicon in **Agriculture**, Bengaluru, India, 24–28 p. 132, 2017.

JOBIM, C. C.; NUSSIO, L. G.; REIS, R. A.; ET AL. AVANÇOS METODOLÓGICOS NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA FORRAGEM CONSERVADA. **REVISTA BRASILEIRA DE ZOOTECNIA**, V. 36, P. 101–119, 2007.

KEEPING, M. G. Uptake of silicon by sugarcane from applied sources may not reflect plant-available soil silicon and total silicon content of sources. **Front. Plant Sci.** 8:760, 2017.

KIM, S. C., & ADESOGAN, A. T. Influence of ensiling temperature, simulated rainfall, and delayed sealing on fermentation characteristics and aerobic stability of corn silage. **Journal of Dairy Science**, 89(8), 3122-3132, 2006.

KLEIN, J. L.; VIANA, A. F. P.; MARTINI, P. M.; ADAMS, S. M.; GUZATTO, C.; BONA, R. D. A.; & BRONDANI, I. L. Desempenho produtivo de híbridos de milho para a produção de silagem da planta inteira. **Brazilian Journal of Maize and Sorghum**, v. 17, n. 1, p. 101-110, 2018

KOERICH, G.; ZAMARCHI, G.; FORMIGHEIRI, I.; SANTOS, L. 2º Torneio de silagem – Palmas. Instituição de desenvolvimento rural do Paraná- IDR/ Paraná, 2021.

LIANG, Y., NIKOLIC, M., BÉLANGER, R., GONG, H. & SONG, A. Silicon in Agriculture (Springer, Dordrecht, 2015).

LIANG, Y., SUN, W., ZHU, YG E CHRISTIE, P. Mecanismos de alívio de estresses abióticos mediados pelo silício em plantas superiores: uma revisão. **Poluição Ambiental**, 147, 422-428, 2007.

LIANG, Y.; NIKOLIC, M.; BÉLANGER, R.; GONG, H.; SONG, A. Effect of silicon on crop growth, yield and quality. In *Silicon in Agriculture*; Springer Science + Business Media: **Dordrecht, The Netherlands**; pp. 209–224, 2015.

LIMA, Sebastião F. et al. Development and production of sweet corn applied with biostimulant as seed treatment. **Horticultura Brasileira**, v. 38, n. 1, p. 94-100, 2020.
MA, J. F., TAKAHASHI, E, Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan: **Elsevier, Amsterdam, Netherlands**, 1-294, 2002.

MA JF, TAMAI K, ICHII M, WU G. A rice mutant defective in Si uptake. *Plant Physiology* 132, 2111–2117, 2002.

MAGALHÃES, P.C. et al. **Fisiologia do Milho**. EMBRAPA Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 22p. (Circular Técnica, 22). 2002.

MCDONALD, P.; HENDERSON, AR; HERON, SJE. *A Bioquímica da Silagem*; Sholium Internacional: Marlow, Reino Unido, 155p., 1991.

MELLO PRADO, R. "Iron", em *Mineral nutrition of tropical plants* (Cham: Springer International Publishing), 215-224, 2021.

MEUNIER, J. D. ET AL. Effect of phytoliths for mitigating water stress in durum wheat (Efeito dos fitólitos para atenuar o estresse hídrico no trigo duro). **New Phytol.** 215, 229-239, 2017.

MILTON GARCIA, COSTA; SANTOS SARAH, M. M.; PRADO, R. M.; PALARETTI, L. F.; PICCOLO, M. C.; SOUZA JUNIOR, J. P. Impact of Si on C, N, and P stoichiometric homeostasis favors nutrition and stem dry mass accumulation in sugarcane cultivated in tropical soils with different water regimes. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 949909, 2022

MIRANDA, P. S., MORAES, T. R., SANTOS, J. R. E. DOS, CARVALHO, F. D., VIANA, J. P., & PÉREZ-MALUF, R. Aplicação de silício na cultura do milho. **Revista De Ciências Agro-Ambientais**, 16(1), 1–6, 2018.

MIRANDA, P. S., MORAES, T. R., SANTOS, J. R. E., CARVALHO, F. D., VIANA, J. P. & PÉREZ-MALUF, R. Aplicação de silício na cultura do milho. **Revista de Ciências Agroambientais**, 16 (1), 1-6, 2018.

MIZUBUTI, I. Y. Métodos laboratoriais de avaliação de alimentos para animais. Londrina: EDUEL, 2009.

MORADTALAB N., WEINMANN M., WALKER F., HOGLINGER B., LUDEWIG U., Neumann G. Silicon improves chilling tolerance during early growth of maize by effects on micronutrient homeostasis and hormonal balances. *Front. Plant Sci.* 9, 420, 2018.

MOREIRA, S. G.; LUPP, R. M.; LIMA, C. G.; MARUCCI, R. C.; RESENDE, A. V.; BORGES, I. D. Massa seca e macronutrientes acumulados em plantas de milho cultivadas sob diferentes espécies de cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 13, n. 2, p. 218-231, 2014.

MOUSAVI, S.M.N.; NAGY, J. Evaluation of plant characteristics related to grain yield of FAO410 and FAO340 hybrids using regression models. *Cereal Res. Com.*, v.49, n.1, p.161-169, 2021.

NASCIMENTO, E. H. S., RUPPENTHAL, V., NASCIMENTO, I. L., SILVA, M. L. S., SABÓIA, C. B. & ENEAS-FILHO, J. Utilização de silício na atenuação dos efeitos do estresse salino em plantas de sorgo. In: II INOVAGRI International Meeting, 2014.

NEUMANN, M.; MÜHLBACH, P. R. F.; NÖRNBERG, J. L.; OST, P. R.; RESTLE, J.; SANDINI, I. E.; ROMANO, M. A. Características da fermentação da silagem obtida em diferentes tipos de silos sob efeito do tamanho de partícula e da altura de colheita das plantas de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 847-854, 2007.

NOTUNUNU, I., MOLELEKI, L., ROOPNARAIN, A., ADELEKE, R., Effects of plant growthpromoting rhizobacteria on the molecular responses of maize under drought and heat stresses: a review. **Pedosphere** 32 (1), 90–106, 2022.

NRC. NUTRIENT REQUIREMENTS OF SMALL RUMINANTS: SHEEP, GOATS, CERVIDS, AND NEW WORLD CAMELIDS. **NATIONAL ACADEMY PRESS**, 2007.

OLIVEIRA FILHO, A. S. B., PRADO, R. M., TEIXEIRA, G. C. M., PICCOLO, M. C. & ROCHA, M. A. S. Water deficit modifies C:N:P stoichiometry affecting sugarcane and energy cane yield and its relationships with silicon supply. **Sci. Rep.** 11, 20916, 2021.

OLIVEIRA LA DE, MIRANDA JH DE, COOKE RAC. Water management for sugarcane and corn under future climate scenarios in Brazil. **Agric Water Manag** 201:199–206, 2018.

OLIVERA-VICIEDO D, DE MELLO PRADO R, LIZCANO TOLEDO R, et al. Silicon Supplementation Alleviates Ammonium Toxicity in Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.). **J Soil Sci Plant Nutr** 19:413–419, 2019.

OLIVERA-VICIEDO D, MELLO PRADO R, LIZCANO TOLEDO R, et al. Physiological role of silicon in radish seedlings under ammonium toxicity. **J Sci Food Agric** jsfa.10587, 2020.

OWEN, F.; HOWARD, W. Effect of ration moisture level on value of alfalfa plus cracked corn as a complete-feed silage for lactating cows. *J. Dairy Sci*, 48, 1310–1314, 1965.
PAHLOW, G.; MUCK, R.E.; DRIEHUIS, F. et al. Microbiology of ensiling. In: *SILAGE SCIENCE AND TECHNOLOGY*. Madison. Proceedings... Madison: ASCSSA-SSSA, **Agronomy** 42, p. 31-93, 2003.

PAVLOVIC, J.; SAMARDZIC, J.; KOSTIC, L.; LAURSEN, K. H.; NATIC, M.; TIMOTIJEVIC, G.; SCHJOERRING, J. K.; NIKOLIC, M. Silicon enhances leaf remobilization of iron in cucumber under limited iron conditions. *Ann Bot*, v. 118, p. 271–280, 2016.

PERAZZO, A. F.; SANTOS, E. M.; PINHO, R. M.; CAMPOS, F. S.; RAMOS, J. P. F.; AQUINO, M. M.; SILVA, T. C.; BEZERRA, H. F. C. Características agronômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semiárido. **Ciência Rural**, v.43, n.10, p.1771-1776, 2013.

PINEDO, L. A.; ARÉVALO, B. R. dos S. .; SANTOS, B. R. C. dos .; ASSIS, L. C. da S. L. C. .; RIBEIRO, A. A. .; AMORIM, D. S. .; GONZÁLEZ CHACÓN, S. A. R. .; OLIVEIRA, P. V. C. de .; FIRMINO, S. S. .; GOMES, R. N. . Dry matter losses and fermentative profile of sorghum silages cultivated in the Western Amazon. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 8, p. e20811830668, 2022.

PLAYNE, M.J. AND MCDONALD, P. The Buffering Constituents of Herbage and of Silage. **Journal of the Science Food and Agriculture** 17, 264-268, 1966.

POPPIEL, R. R., LACERDA, M. P. C., de Oliveira Junior, M. P., Demattê, J. A. M., Romero, D. J., Sato, M. V., et al. Surface spectroscopy of Oxisols, Entisols and Inceptisol and relationships with selected soil properties. **Rev. Bras. Cienc. Solo**. 42:e0160519, 2018.

PORTELA, YGOR; ZANINE, ANDERSON; FERREIRA, DANIELE; OLIVEIRA, MICHELLE; PARENTE, HENRIQUE; SANTOS, EDSON; PERAZZO, ALEXANDRE; NASCIMENTO, THIAGO; LEME, IVO; GRAYCY, ANNY; SANTOS, FRANCISCO;

BANDEIRA, DANRLEY. Mixed ration silage containing sugarcane and babassu byproducts as a nutritional alternative for livestock Mixed ration silage containing sugarcane and babassu byproducts as a nutritional alternative for livestock. New Zealand **Journal of Agricultural Research**. 66, 2022.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais. Campinas, Instituto Agrônômico, 285p. 2001.

RÊA, RS; ISLÃ, MR; RAHMAN, M.M.; NATH, B.; MIX, K. Crescimento, acúmulo de nutrientes e tolerância à seca em plantas cultivadas com aplicação de silício: uma revisão. *Sustentabilidade*, 14, 4525, 2022.

ROCHA JR., V. R., GONÇALVES, L. C., RODRIGUES, J. A. S. et al. Avaliação de sete genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para produção de silagem. III. Valor nutricional. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.52, n.6, p.627-633, 2000.

SANDIM, A. S. ET AL. Doses de silício na produtividade do milho (*Zea mays* L.) híbrido simples na região de Campo Grande – MS. *Cultivando o saber, Cascavel*, v.3, n.1, p.171- 178, 2010.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa, 356p. **Revista e ampliada**, 2018.

SANTOS, M.S., NOGUEIRA, M.A., HUNGRIA, M., Outstanding impact of *Azospirillum* brasilense strains Ab-V5 and Ab-V6 on the Brazilian agriculture: lessons that farmers are receptive to adopt new microbial inoculants. **Rev. Bras. Cienc. Solo** 45, 1 –31, 2021.

SCHALLER, J., PUPPE, D., KACZOREK, D., ELLERBROCK, R., AND SOMMER, M. Silicon Cycling in **Soils Revisited**. *Plants* 10:295, 2021.

SCHMIDT, P.; RESTELATTO, R.; ZOPOLLATTO, M. Ensiling total mixed rations—An innovative procedure. In *Proceedings of the V International Symposium on Forage Quality and Conservation*, Piracicaba, Brazil, 16–17 July 2017

SHAKOOR, S.A.; BHAT, M.A.; MIR, S.H. **Phytoliths in Plants: A Review**. *J. Bot. Sci.*, 3, 10-24, 2014.

SIRISUNTORNLAK, N.; ULLAH, H.; SONJAROON, W.; ANUSONTORNPERM, S.; ARIROB, W.; DATTA, A. Interactive Effects of Silicon and Soil pH on Growth, Yield and Nutrient Uptake of Maize. **Silicon**, 13, 289–299, 2021.

SOUSA F. C. S. **Mitigação do déficit hídrico utilizando a fertilização com silício e inoculação *Azospirillum brasilense* na produtividade e no valor nutricional da silagem na entressafra**. Dissertação (Mestrado), Programa de pós-graduação em Ciência Animal. Chapadinha-MA, 2023.

SOUZA, L.C.; MELO, N.C.; SIQUEIRA, J.A.M. et al. Comportamento bioquímico no milho submetido ao déficit hídrico e a diferentes concentrações de silício. **Revista Agrarian**, v.8, n.29, p.260-267, 2015.

TAIZ L, ZEIGER E, MOLLER IM, MURPHY A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. Artmed Editora, 2017.

TEIXEIRA GCM, DE MELLO PRADO R, ROCHA MAS. Low absorption of silicon via foliar in comparison to root application has an immediate antioxidant effect in mitigating water deficit damage in sugarcane. **Journal of Agronomy and Crop Science** 0: 1–10, 2021.

TEIXEIRA, G.C.M., DE MELLO PRADO, R., ROCHA, A.M.S. et al. Silicon in Pre-sprouted Sugarcane Seedlings Mitigates the Effects of Water Deficit After Transplanting. **J Soil Sci Plant Nutr** 20, 849–859, 2020.

TEIXEIRA, G.C.M., DE PRADO, R.M., ROCHA, A.M.S. *ET AL*. Action of silicon on the activity of antioxidant enzymes and on physiological mechanisms mitigates water deficit in sugarcane and energy cane plants. **Sci Rep** 12, 17487, 2022.

TEÓFILO, T. M. S., FREITAS, F. C. L., MEDEIROS, J. F., FERNANDES, D., GRANGEIRO, L. C., TOMAZ, H. V. Q., & RODRIGUES, A. P. M. S. Eficiência no uso da água e interferência de plantas daninhas no meloeiro cultivado nos sistemas de plantio direto e convencional. **Planta Daninha**, 30(3), 547–556, 2012.

TOLEDO, E. A.; PERTILE, S. F. N.; DOS SANTOS, J. S.; BARRETO, J. V. P.; BANCHERO, G.; DOS SANTOS, M. D.; & REGO, F. C. A. Does compaction degree and particle size influence bromatological composition and mycotoxin levels in corn silage?. **Scientia Plena**, v. 16, n. 7, 2020.

TUBANA, B. S., BABU, T., & DATNOFF, L. E. A Review of silicon in soils and plants and its role in US agriculture: history and future perspectives. *Soil Science*, 181, (9-10): 393-411, 2016.

USDA – United States Department of Agriculture. Grain and Feed Update. <https://www.fas.usda.gov/data/brazil-grain-and-feed-update-17> USDA. Zuffo, A. M. & Aguilera, J. G. **Agronomia**: Avanços e Perspectivas. Nova Xavantina. 137 p., 2020.
VAN SOEST, P.J. Nutritional ecology of the ruminant. **Cornell: Cornell University Press**. 2.ed., 476p., 1994.

VAN SOEST, P.J. Use of detergents in the analysis of fibrous feed. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. **Journal of the AOAC**, v.46, n.5, p.829-835, 1963.

VICIEDO, DILIER LIVEIRA, KAMILLA & PRADO, RENATO & HABERMANN, EDUARDO & MARTINEZ, CARLOS & ZANINE, ANDERSON. Silicon uptake and utilization on *Panicum maximum* grass modifies C:N:P stoichiometry under warming and soil water deficit. **Soil and Tillage Research**. 235. 105884, 2024.

WANG, F.; ISRAEL, D.; RAMÍREZ-VALIENTE, J. A.; SÁNCHEZ-GÓMEZ, D.; ARANDA, I.; APHALO, P. J.; ROBSON, T. M. Seedlings from marginal and core populations of European beech (*Fagus sylvatica* L.) respond differently to imposed drought and shade. **Trees**, v. 35, p. 53-67, 2021.

YAN, G., NIKOLIC, M., YE, M., XIAO, Z. & LIANG, Y. Aquisição e acúmulo de silício em plantas e sua importância para a agricultura. **J. Integr. Agric.** 17, 2138-2150, 2018.

YIN, L.; WANG, S.; LI, J.; TANAKA, K.; OKA, M. Application of silicon improves salt tolerance through ameliorating osmotic and ionic stresses in the seedling of *Sorghum bicolor*. *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 35, p. 3099-3107, 2013.

YIN, L.; WANG, S.; TANAKA, K.; FUJIHARA, S.; ITAI, A.; DENG, S.; ZHANG, S. Silicon-mediated changes in polyamines participate in silicon-induced salt tolerance in *Sorghum bicolor* L. *Plant, Cell & Environment*, v. 39, n. 2, p. 245-258, Feb. 2016.

ZANINE, A.; PORTELA, Y.; FERREIRA, D.; PARENTE, M.; PARENTE, H.; SANTOS, E.; OLIVEIRA, J.; PERAZZO, A.; NASCIMENTO, T.; DA CUNHA, I.A.; et al. Babassu Byproducts in Total Mixed Ration Silage Based on Sugarcane for Small Ruminants Diets. **Agronomy**, 12, 1641, 2022.

ZOPOLLATTO, M.; NUSSIO, L. G.; PAZIANI, S. F.; RIBEIRO, J. L.; SARTURI, J. O.; MOURÃO, G. B. Relações biométricas entre o estágio de maturação e a produção de híbridos de milho para produção de silagem. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 38, n. 2, p. 256-264, 2009.

APÊNDICES

Características morfológicas da planta do milho de acordo com as doses Si no momento do plantio do milho safrinha para número de folhas vivas (A); número de folhas mortas (B); altura da planta até a ponta da inflorescência (C); altura da planta até a inserção da folha bandeira (D); altura da planta até a inserção da espiga (E); diâmetro do colmo (F); diâmetro da espiga sem palha (G).

Variáveis	Níveis de Silício (kg ha ⁻¹)				EPM	Efeito		R²
	0	4	8	12		Lin.	Quad.	
nº médio								
NFVp	8,90	10,10	10,40	11,00	0,434	0,002	0,496	93,08
NFMp	4,10	2,80	2,30	2,00	0,376	0,001	0,195	89,61
--cm--								
APIE	84,86	93,28	100,62	92,62	2,497	0,011	0,003	91,83
APPI	197,27	212,13	216,10	219,00	4,908	0,004	0,233	85,49
APFB	153,85	168,00	171,93	175,69	4,742	0,003	0,283	88,27
--mm--								
DESP	44,13	48,61	45,64	48,96	1,32	0,061	0,664	-
DC	14,99	19,04	16,08	17,40	0,769	0,225	0,086	-

Características produtivas de acordo com as doses de Si no momento do plantio do milho safrinha, para produção em matéria verde total (PMVT) (t/ha MS), matéria verde das folhas (PF) (t/ha MV), folhas mortas (C); matéria verde de colmo (PC) (t/ha MV), matéria verde da espiga (PESP) (t/ha MV); acúmulo de água (ACA) (t/ha), eficiência do uso de água (EUA) (kg/MS/mm/ha), peso da planta inteira (PPI) (g MV), peso da espiga sem e com palha (PESP e PECP) (g MV), produção de matéria seca total (PMST) (t/ha MS), produção de matéria seca da folha (PF) (t/ha MS), produção de matéria seca do colmo (PC) (t/ha MS), produção de matéria seca de espiga (PES) (t/ha MS).

Variáveis	Níveis de <i>Silício</i> (Kg ha ⁻¹)				EPM	Efeito		R ²
	0	4	8	12		Lin.	Quad.	
Produção MV (t/ha)								
PMVT	33,76	46,73	47,09	52,38	2245,205	0,001	0,098	83,99
PF	6,53	8,67	9,38	10,25	780,020	0,001	0,090	92,95
PFM	1,39	1,19	1,25	1,60	137,380	0,276	0,055	99,98
PC	15,15	21,10	20,26	23,76	1065,280	0,001	0,260	80,30
PES	10,69	15,76	16,18	16,77	676,850	0,001	0,002	95,10
ACA	24,83	34,56	34,46	38,28	1685,210	0,001	0,091	81,68
EUA (kg/MS/mm/ha)	19,02	25,94	26,92	30,06	1,21	0,001	0,130	89,43
Produção de MV (g)								
PPI	506,50	701,03	706,40	785,78	33,678	0,001	0,098	83,99
PESP	160,35	236,53	242,85	251,50	10,15	0,001	0,002	73,64

PECP	235,55	336,80	330,50	364,00	15,41	0,001	0,036	88,47
Produção MS (t/ha)								
PMST	8,92	12,17	12,63	14,1	569,109	0,001	0,13	89,43
PF	2,19	2,90	2,92	3,18	171,063	0,001	0,208	83,05
PC	5,06	7,16	6,62	7,64	360,140	0,001	0,143	68,98
PES	5,03	7,44	7,58	8,80	404,300	0,001	0,150	87,75

Interação entre os níveis de Si e da inoculação sem e com *A. brasilense* sob o comprimento da espiga sem e com palha (cm) e diâmetro da espiga sem palha (mm) e produção de grãos (t/ha) do milho safrinha.

<i>Azospirillum brasilense</i>	Níveis de Silício (Kg ha ⁻¹)				EPM	Efeito		R ²
	0	4	8	12		Lin.	Quad.	
Comprimento da espiga com palha (cm)								
Com ¹	30,75A	32,00	29,75B	33,50	0,851	0,126	0,153	-
Sem ²	27,2B	31,00	33,00A	32,50		0,001	0,018	99,88
Média	28,98	31,50	31,38	33,00				
P-valor	0,0064	0,413	0,011	0,413				
Comprimento da espiga sem palha (cm)								
Com ³	18,75A	19,33	18,75	20,25	0,685	0,212	0,508	-
Sem ⁴	16,3B	20,40	20,00	19,75		0,003	0,004	89,95
Média	17,53	19,87	19,38	20,00				
P-valor	0,0174	0,278	0,207	0,609				
Diâmetro da espiga com palha (mm)								
Com ⁵	53,02A	58,04A	56,52	58,49	1,119	0,006	0,183	72,69
Sem ⁶	46,22B	53,06B	56,89	58,33		0,001	0,022	91,68
Média	49,615	55,55	56,7	58,405				
P-valor	0,0002	0,003	0,812	0,925				
Produção de grãos (t/ha)								
Com ⁵	10,65A	12,73	10,05	12,54	738,792	0,375	0,787	-
Sem ⁶	7,73B	11,41	12,17	11,27		0,002	0,004	99,33
Média	9,19	12,07	11,11	11,905				
P-valor	0,009	0,215	0,052	0,233				

Efeito do Si e da inoculação com *A. brasilense* na cultura do milho para deposição de N (g/kg) e relação C/N (g/kg).

<i>Azospirillum brasilense</i>	Níveis de Silício (Kg ha ⁻¹)				EPM	Efeito		R ²
	0	4	8	12		Lin.	Quad.	
Nitrogênio (g/kg)								
Com ¹	10,16	11,35	9,78B	11,86	0,629	0,216	0,483	-
Sem ²	9,61	9,62	11,71A	12,10		0,003	0,76	85,80
Média	9,885	10,485	10,745	11,980				
P-valor	0,550	0,066	0,042	0,805				

Carbono:Nitrogênio (g/kg)								
Com ¹	412,58	375,18	436,71A	359,07	23,893	0,365	0,409	-
Sem ²	431,32	444,97	360,36B	351,37		0,006	0,64	76,24
Média	421,95	410,08	398,54	355,22				
P-valor	0,585	0,052	0,034	0,822				