



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>



Universidade Federal do Maranhão
Programa de Pós-graduação em Ciência Animal

SILÍCIO E BACTÉRIAS FIXADORAS DE NITROGÊNIO NA QUALIDADE DE SILAGENS DE MILHO COM E SEM ESPIGA

JÉSSICA MARIA DE SOUSA OLIVEIRA

Chapadinha – MA, Brasil
2025



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>

JÉSSICA MARIA DE SOUSA OLIVEIRA

SILÍCIO E BACTÉRIAS FIXADORAS DE NITROGÊNIO NA QUALIDADE DE SILAGENS DE MILHO COM E SEM ESPIGA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em
Ciência Animal como requisito parcial para obtenção do
título de Mestre, sob a orientação do Profa. Dra. Daniele de
Jesus Ferreira e coorientação do Prof. Dr. Anderson de
Moura Zanine e do Dr. Fleming Sena Campos

Área de concentração: Produção e Avaliação de Plantas
Forrageiras e Conservação de Forragens

Chapadinha – MA, Brasil
2025

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

de Sousa Oliveira, Jessica Maria.

SILÍCIO E BACTÉRIAS FIXADORAS DE NITROGÊNIO NA
QUALIDADE DE SILAGENS DE MILHO COM E SEM
ESPIGA / Jessica Maria de Sousa
Oliveira. - 2025.

83 p.

Coorientador(a) 1: Anderson de Moura Zanine.

Orientador(a): Daniele de Jesus Ferreira.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Ciência Animal/ccch, Universidade Federal do Maranhão,
Chapadinha- Ma, 2025.

1. Zea Mays L. 2. Bactérias Promotoras de
Crescimento. 3. Nutrição Mineral. 4. Qualidade da
Forragem. 5. Valor Nutritivo. I. de Moura Zanine,
Anderson. II. de Jesus Ferreira, Daniele. III. Título.



JÉSSICA MARIA DE SOUSA OLIVEIRA

**SILÍCIO E BACTÉRIAS FIXADORAS DE NITROGÊNIO NA
QUALIDADE DE SILAGENS DE MILHO COM E SEM ESPIGA**

Aprovada em ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Daniele de Jesus Ferreira (Orientadora)
Universidade Federal do Maranhão

Dr. Fleming Sena Campos (Coorientador)
Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Anderson de Moura Zanine (Coorientador)
Universidade Federal do Maranhão

Dilier Olivera-Viciedo (Avaliador)
Universidad de O'Higgins San Fernando

Liliane Pereira Santana (Avaliadora)
Universidade Federal do Maranhão



Construí amigos, enfrentei derrotas, venci obstáculos, bati na porta da vida e disse-lhe:
não tenho medo de vivê-la. **Augusto Cury**



Primeiramente a Deus, pelo dom da vida e principalmente por ter me dado força para chegar até aqui. À minha família, em especial minha avó Maria Laura, aos meus irmãos José Neto, Wanessa Oliveira, Natalia Oliveira, ao meu sobrinho que tanto amo Gael Benicio, ao meu tio Antônio Lucas e a minha cunhada Ana karolline, e aos meus entes queridos que um dia em vida participaram dessa trajetória.

DEDICO



AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ser meu refúgio nos momentos difíceis, pela força, saúde e sabedoria dada a mim durante toda minha caminhada acadêmica.

À minha família, que em nenhum momento me negou ajuda, e sempre me apoiou, em especial minha avó Maria Laura Marques Sousa, aos meus irmãos José Martins de Oliveira Neto, Wanessa Cristina Sousa Oliveira e Natália Maria de Sousa Oliveira. Ao meu tio Antônio Lucas Marques Sousa e também a minha cunhada Ana Karolline Souza Barbosa de Oliveira, pelo exemplo de força e coragem, os teus desafios me ensinaram que não deveria desistir. Saibam que o amor incondicional da nossa família é o motivo de eu ter chegado até aqui.

Em especial ao meu sobrinho Gael Benicio de Sousa Portela, minha vida mudou completamente depois da sua chegada, e eu serei eternamente grata a Deus por tua vida, Obrigada por ter sido meu amparo nos meus dias mais difíceis, acreditem, ele tem o melhor abraço do mundo, te amo Gael.

À minha orientadora, Profa. Dra. Daniele de Jesus Ferreira, pela paciência, orientação e ensinamentos que foram essenciais para o meu crescimento pessoal e acadêmico. Obrigada pelas mensagens de incentivo, acredite, todas elas foram importantes para um melhor desempenho nessa reta final.

Ao Prof. Dr. Anderson de Moura Zanine, não existem palavras que expressem minha gratidão a você, um ser humano de coração grandioso, que serei eternamente grata pela orientação, conhecimento compartilhado e confiança durante esses dois anos de Mestrado.

Aos doutores e pesquisadores, Fleming Sena Campos, Francisco Naysson de Sousa Santos, Danillo Marte Pereira, Glayciane Costa Gois pelas orientações e dedicação a pesquisa.

À Liliane Santana, pela ajuda prestada a mim, serei eternamente grata.

Aos meus colegas e amigos do grupo de pesquisa George de Sousa Lima Paiva, Júlia Bianca Araújo Marinho, Diego Henrique Alves de Sousa, Victorya Maria Ferreira Martins e Felype Isac Meireles Boaventura, grata pelo carinho e ajuda durante todo esse processo, sem sombra de dúvidas esse caminho se tornou mais leve com as contribuições de vocês.

Ao Carlos Guilherme Silva Carvalho, meu amigo, que tenho grande admiração, pela pessoa maravilhosa que você mostrou ser comigo, seu cuidado e cada palavra de motivação levarei pra vida toda. Obrigada por sempre estar aqui quando eu mais precisei.

À Luana Milena Pinheiro Rodrigues pela amizade, paciência e generosidade. Nunca vou esquecer minha amiga, as palavras de carinho e a ajuda que me destes durante essa trajetória, principalmente no final do ano de 2024. Desejo tudo de bom em sua vida, você é um ser humano iluminado. Eterna gratidão.

Aos mestres e mestrandos, Juscélino da Silva Castelo Branco, Tomaz de Melo Neto e Pedro Lucas Oliveira Rocha pelo incentivo, por compartilhar seus conhecimentos e principalmente pela generosidade.



À Universidade Federal do Maranhão que me acolheu desde a minha graduação e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal (PPGCA), pela oportunidade de aprendizado me proporcionando crescimento pessoal e profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Ao Núcleo de Pesquisa em Produção e Conservação de Forragem, ao Grupo de Estudos em Produção de Ruminantes no Maranhão (GEPRUMA) e ao Laboratório de Produtos de Origem Animal (LAPOA) da UFMA, pelo conhecimento compartilhado com os demais integrantes e pela disponibilidade do laboratório para a execução das análises que tornaram possível o desenvolvimento desse trabalho.

Por fim, agradeço a todos que de forma direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse sonho.

Meus sinceros agradecimentos a cada um de vocês.

Obrigada.



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	16
2 OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivo geral.....	17
2.2 Objetivos específicos.....	17
3 REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1 Silício como elemento funcional no manejo de estresses abióticos.....	18
3.2 Inoculação com <i>Azospirillum brasilense</i> no incremento da eficiência nitrogenada	19
3.3 Cultura do milho.....	20
3.4 Silagem de Milho	21
3.5 Silagem de milho sem espiga.....	23
3.6 Silagem da espiga de milho.....	23
REFERÊNCIAS	25
CAPÍTULO I.....	27
1 INTRODUÇÃO	30
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
2.1 Local experimental, implantação e manejo do milho.....	31
2.2 Delineamento experimental, colheita e ensilagem.....	31
2.3 Coleta e preparo das amostras	32
2.4 Análise de macro e micronutrientes	32
2.5 Perfil fermentativo e perdas	32
2.6 População microbiana	33
2.7 Composição química.....	34
2.8 Estabilidade aeróbia	34
2.7 Análises estatísticas.....	35
3 RESULTADOS.....	36
4 DISCUSSÃO.....	44
5 CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS	48

CAPÍTULO II.....	27
1 INTRODUÇÃO	30
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
2.1 Local experimenyal, implantação e manejo do milho.....	31
2.2 Delineamento experimental, colheita e ensilagem.....	31
2.3 Coleta e preparo das amostras	32
2.4 Análise de macro e micronutrientes	32
2.5 Perfil fermentativo e perdas	32
2.6 População microbiana	33
2.7 Composição química.....	34
2.8 Estabilidade aeróbia	34
2.7 Análises estatísticas.....	35
3 RESULTADOS.....	36
4 DISCUSSÃO	44
5 CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS	48



LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

A. *brasiliense* - *Azospirillum brasiliense*, bactéria promotora de crescimento

Al - Alumínio

B - Boro

BAL - Bactérias ácido-láticas (em silagem)

Ca - Cálcio

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (Brasil)

Cu -Cobre

FDA - Fibra em detergente ácido

FDN - Fibra em detergente neutro

Fe - Ferro

g kg⁻¹- Grama por quilograma (conteúdo de nutriente na matéria seca)

Há- Hectare, unidade de área

HEMI - Hemicelulose

K - Potássio

kg ha⁻¹ - Quilograma por hectare (unidade de aplicação de insumos)

LEV - Leveduras (em silagem)

Mg - Magnésio

Mn - Manganês

MS - Matéria seca

N - Nitrogênio

Na - Sódio

P - Fósforo

pH - Potencial hidrogeniônico (medida de acidez)

R² - Coeficiente de determinação (estatística)

S - Enxofre

Si -Silício

SiO₂ - Dióxido de silício

SiO₂ -Dióxido de silício, forma mineral do silício

SiO₂ - Dióxido de silício

USDA - United States Department of Agriculture

Zea mays L. -Nome científico do milho

LISTA DE SÍMBOLOS

x, y - Variáveis independentes e dependentes em equações de regressão

$\rightarrow$ - Indica efeito, tendência ou transformação (ex.: Si $\rightarrow$ aumento da MS)

$<, >$ - Menor que, maior que (usado em testes estatísticos ou limites)

% - Porcentagem

$\times$ - Multiplicação (em fórmulas e espaçamento)

/ ou $\div$ - Divisão (ex.: cálculo de PG, PE, RMS)

$^{\circ}\text{C}$ - Graus Celsius (temperatura)

$\bar{M}$ - Média geral em modelo estatístico

τ - Efeito fixo de dose de silício

β - Efeito fixo da inoculação com A. brasilense

ε - Erro experimental aleatório

LISTA DE TABELAS

CAPITULO I

Tabela 1- Perdas por efluentes, perdas por gases e recuperação de matéria seca, pH e nitrogênio amoniacal de silagem de milho sem espiga fertirrigado com diferentes doses de silício, sem e com a utilização de <i>Azospirillum brasilense</i>	37
Tabela 2- Microbiologia de silagem de milho (sem espiga) fertirrigado com silício, sem e com a utilização de <i>A. brasilense</i>	38
Tabela 3- Composição químico-bromatológica da matéria fresca de milho sem espiga com diferentes doses de silício, sem e com a utilização de <i>Azospirillum brasilense</i>	39
Tabela 4- Composição químico-bromatológica da silagem de milho sem espiga com diferentes doses de silício, sem e com a utilização de <i>Azospirillum brasilense</i>	41
Tabela 5- Composição macro e micronutriente da matéria fresca de milho sem espiga fertirrigado com silício, sem e com a utilização de <i>A. brasilense</i>	42
Tabela 6 - Composição macro e micronutriente silagem de milho sem espiga fertirrigado com silício, sem e com a utilização de <i>A. brasilense</i>	
Erro! Indicador não definido.	

CAPITULO II

Tabela 2- Microbiologia de silagem de espiga de milho fertirrigado com silício, sem e com a utilização de <i>A. brasilense</i> . 64	
--	--



LISTA DE FIGURAS

CAPITULO I

Figura 1- Relação entre as doses de silício aplicadas (kg ha^{-1}) e o teor de matéria seca (MS) da matéria fresca de milho sem espiga.....38

Figura 2- Relação entre as doses de silício aplicadas (kg ha^{-1}) e o teor de matéria seca (MS) da matéria fresca de milho sem espiga.....40

Figura 3- Relação entre as doses de silício aplicadas (kg ha^{-1}) FDN (A) e hemicelulose (B) da matéria fresca de milho sem espiga.....41

Figura 4- Relação entre as doses de silício aplicadas (kg ha^{-1}) e os teores de cálcio (g kg^{-1}) na matéria fresca de milho.....43

Figura 5- Relação entre as doses de silício aplicadas (kg ha^{-1}) e Magnésio (C) e Zinco (D) da matéria fresca de milho sem espiga.....**Erro! Indicador não definido.**5

Figura 6- Estabilidade aerobia das silagens de milho de milho sem espiga fertirrigado com silício, sem e com a utilização de *A. brasilense*.....45

CAPITULO II

Figura 1- Comportamento quadrático da população de leveduras.....64

Figura 2- Valores da análise com Hemicelulose (%).....67

Figura 3- Valores para a análise com Fibra em detergente neutro (FDN).....67

Figura 4- Relação entre as doses de silício aplicadas (kg ha^{-1}) e Magnésio (C) e Zinco (D) da silagem de milho com espiga.....43

Figura 5- Estabilidade aerobia das silagens de espiga de milho fertirrigado com silício, sem e com a utilização de *A. brasilense*.....70

RESUMO

O trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da inoculação com *Azospirillum brasilense* e da aplicação de diferentes doses de silício sobre a composição química, composição de macro e microminerais, população microbiana, perfil fermentativo e estabilidade aeróbia de silagens de milho, com e sem presença de espigas. No primeiro capítulo referente à silagem de milho sem espiga, os teores médios de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e sódio não tiveram diferenças significativas ($P > 0,05$) em nenhum dos fatores específicos. O teor de nitrogênio variou de 1,57 a 1,62 g kg⁻¹ entre os tratamentos com e sem inoculação. Para a microbiologia, as contagens médias de bactérias ácido-láticas (BAL) foram de 0,976 e 2,093 log₁₀ UFC g⁻¹ para silagens sem e com *A. brasilense*, respectivamente, sem efeito significativo ($P = 0,171$). As contagens de fungos filamentosos (MOFO) variaram entre 3.318 e 3.143 log₁₀ UFC g⁻¹ ($P = 0,651$) e as de leveduras entre 0,773 e 1,128 log₁₀ UFC g⁻¹ ($P = 0,160$). Não houve interação entre silício e inoculante ($P > 0,05$). As perdas por gases e efluentes foram reduzidas, e a estabilidade aeróbia manteve-se acima de 120 horas. No segundo capítulo, referente à silagem da espiga de milho, observou-se a influência positiva da inoculação com *A. brasilense* e das doses crescentes de silício sobre o perfil fermentativo e a composição bromatológica. Os teores de matéria seca (MS) variaram de 45,3% a 48,7% ($P = 0,041$), com tendência de aumento nas doses mais elevadas de silício. A inoculação promoveu redução nos teores de N-NH₃/TN, diminuindo menor liberação proteica ($P = 0,038$). As perdas fermentativas foram significativamente menores ($P < 0,05$) nas silagens com inoculante e com 8 kg ha⁻¹ de silício, refletindo melhor conservação da matéria seca e menor produção de efluentes. A estabilidade aeróbia apresentou aumento expressivo, ultrapassando 140 h para os tratamentos combinados, enquanto os tratamentos sem inoculante ou com ausência de silício atingiram apenas cerca de 96 h antes do aumento de 2 °C na temperatura da silagem. A relação entre a maior matéria seca e a menor perda de substrato fermentável sugere que o silício contribuiu para a integridade estrutural dos grãos e redução da atividade microbiana indesejável, enquanto *A. brasilense* favoreceu a rápida colonização por bactérias ácido-láticas e consequente queda do pH. Essa sinergia resultou em maior estabilidade aeróbia e manutenção da qualidade nutricional após a abertura do silo. De forma geral, conclui-se que a associação entre o silício e *A. brasilense* é uma estratégia eficiente para melhorar a melhoria e a conservação das silagens de milho, especialmente na fração da espiga, promovendo aumento da matéria seca, redução de perdas e maior estabilidade aeróbia, sem comprometer o valor nutritivo da forragem.

Palavras-chave: *Zea mays* L., bactérias promotoras de crescimento, nutrição mineral, qualidade da forragem, valor nutritivo.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effects of inoculation with *Azospirillum brasilense* and the application of different silicon doses on the chemical composition, macro and micromineral composition, microbial population, fermentation profile, and aerobic stability of corn silages, with and without cobs. In the first chapter related to corn silage without cobs, the average contents of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulfur, and sodium showed no significant differences ($P > 0.05$) in any of the specific factors. The nitrogen content ranged from 1.57 to 1.62 g kg⁻¹ between treatments with and without inoculation. For microbiology, the average counts of lactic acid bacteria (LAB) were 0.976 and 2.093 log₁₀ CFU g⁻¹ for silages without and with *A. brasilense*, respectively, with no significant effect ($P = 0.171$). Filamentous fungi (MOLD) counts ranged from 3,318 to 3,143 log₁₀ CFU g⁻¹ ($P = 0.651$) and yeast counts from 0.773 to 1,128 log₁₀ CFU g⁻¹ ($P = 0.160$). There was no interaction between silicon and inoculant ($P > 0.05$). Gas and effluent losses were reduced, and aerobic stability was maintained for over 120 hours. In the second chapter, concerning corn cob silage, a positive influence of inoculation with *A. brasilense* and increasing silicon doses on the fermentation profile and chemical composition was observed. Dry matter (DM) contents ranged from 45.3% to 48.7% ($P = 0.041$), with an increasing trend at higher silicon doses. Inoculation reduced N-NH₃/TN levels, reducing protein release ($P = 0.038$). Fermentation losses were significantly lower ($P < 0.05$) in silages with inoculant and with 8 kg ha⁻¹ of silicon, reflecting better dry matter conservation and lower effluent production. Aerobic stability showed a significant increase, exceeding 140 h for the combined treatments, while treatments without inoculant or without silicon reached only approximately 96 h before a 2 °C increase in silage temperature. The relationship between higher dry matter and lower fermentable substrate loss suggests that silicon contributed to the structural integrity of the grains and reduced undesirable microbial activity, while *A. brasilense* favored the rapid colonization by lactic acid bacteria and a consequent drop in pH. This synergy resulted in greater aerobic stability and maintenance of nutritional quality after silo opening. Overall, it can be concluded that the combination of silicon and *A. brasilense* is an efficient strategy for improving the improvement and conservation of corn silages, especially in the ear fraction, promoting increased dry matter, reduced losses, and greater aerobic stability, without compromising the nutritional value of the forage.

Keywords: *Zea mays* L., growth-promoting bacteria, mineral nutrition, forage quality, nutritional value.

1 INTRODUÇÃO GERAL

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas agrícolas mais cultivadas e economicamente relevantes no cenário mundial, com aplicações que abrangem a alimentação humana, animal e o setor industrial. Sua expressiva produção global, que ultrapassa 1 bilhão de toneladas anuais, reflete não apenas sua elevada capacidade produtiva, mas também sua notável adaptação a diferentes condições edafoclimáticas (ERENSTEIN et al., 2022). No Brasil, essa versatilidade é reforçada pela viabilidade de cultivo na entressafra, consolidando o milho como componente estratégico em sistemas agrícolas intensivos.

Apesar de sua elevada produtividade, a cultura do milho apresenta baixa eficiência no aproveitamento de nutrientes, sobretudo o nitrogênio, cuja aplicação em excesso resulta em perdas econômicas e riscos ambientais. Esse desequilíbrio tem motivado o desenvolvimento de estratégias que aliem sustentabilidade e eficiência agronômica, com destaque para o uso de bioinsumos capazes de reduzir a dependência de fertilizantes sintéticos (HUNGRIA et al., 2023; GALINDO et al., 2024).

Entre as alternativas biotecnológicas, a inoculação com *Azospirillum brasilense* tem ganhado destaque pelos efeitos positivos no crescimento vegetal e rendimento da cultura. A bactéria atua como promotora de crescimento ao estimular o desenvolvimento radicular, aumentar a absorção de nutrientes e induzir mecanismos fisiológicos relacionados à tolerância ao estresse (BASHAN; DE-BASHAN et al., 2010; FUKAMI et al., 2018). Desde 2009, o Brasil se destaca entre os principais usuários de inoculantes à base de *A. brasilense*, especialmente as estirpes comerciais Ab-V5 e Ab-V6, com aplicação anual estimada em cerca de 10 milhões de doses (SANTOS et al., 2021).

Os benefícios proporcionados pela inoculação com *A. brasilense* são atribuídos, em grande parte, à sua capacidade de sintetizar fitormônios, como as auxinas, que regulam processos-chave do crescimento vegetal. Estudos demonstram que tanto a aplicação de células vivas quanto de metabólitos derivados é eficaz quando realizada via tratamento de sementes ou pulverização foliar, promovendo efeitos significativos sobre o sistema radicular e a expressão gênica relacionada à resistência ao estresse (FUKAMI et al., 2016; RONDINA et al., 2020).

Paralelamente, o silício (Si) tem se destacado como elemento funcional na agricultura moderna, mesmo não sendo considerado essencial à nutrição das plantas. Sua aplicação tem sido associada à indução de resistência a estresses bióticos e abióticos, ao fortalecimento da parede celular e a melhoria na eficiência de uso de água e nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo (NING et al., 2023; JADHAO; ROUT et al., 2020). No milho, o Si contribui para o aumento da produtividade e da qualidade do produto final, além de atuar na mitigação de efeitos adversos provocados por déficit hídrico, salinidade e infestação por pragas, como *Spodoptera frugiperda* (CHINNADURAI et al., 2023; HELIYON, 2024).

A aplicação foliar do silício, isolada ou em associação com outros nutrientes, tem se mostrado eficaz na ativação de respostas fisiológicas que promovem maior eficiência fotossintética, adaptação a

ambientes de baixa fertilidade e melhor aproveitamento dos recursos hídricos e nutricionais (SILVA et al., 2023). Essa resposta integrada resulta em incrementos significativos de produtividade mesmo sob condições de estresse ambiental.

Além de seu valor como cultura granífera, o milho é amplamente utilizado para ensilagem, configurando-se como uma das principais fontes de volumoso na alimentação de ruminantes. A silagem de planta inteira é preferida devido a seu elevado teor energético, conferido principalmente pela presença da espiga. Entretanto, condições adversas, como geadas, ataques de pragas e doenças, podem comprometer o desenvolvimento da espiga, forçando a colheita apenas da parte aérea da planta. Essa prática reduz o teor de amido e a digestibilidade, impactando negativamente a qualidade nutricional e a estabilidade fermentativa do material ensilado (MORAIS et al., 2012).

Diante desses desafios, a adoção de tecnologias que potencializem o desenvolvimento agrônomo da planta e melhorem a qualidade da silagem, independentemente da presença da espiga, torna-se essencial. Estratégias como a inoculação com *A. brasilense* e a aplicação de Si emergem como alternativas promissoras, embora os efeitos combinados desses insumos sobre os parâmetros da composição química da silagem de milho, colhida com ou sem espiga, ainda sejam pouco explorados na literatura.

A aplicação de silício, associada à inoculação com *Azospirillum brasilense*, melhora o valor nutricional e o perfil fermentativo da silagem da espiga de milho, tanto quanto sem espiga, por meio do aumento da eficiência fisiológica da planta, melhor absorção de nutrientes e maior acúmulo de compostos que favorecem a estabilidade do material ensilado.

Nesse contexto, o estudo propõe-se avaliar os efeitos da aplicação de diferentes doses de Si, associadas à inoculação com *A. brasilense*, sobre o valor nutricional da silagem de milho, considerando a presença ou ausência da espiga no momento da ensilagem.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o perfil fermentativo, composição química, perdas e estabilidade aeróbia de silagens de milho produzidas com e sem espiga, sob diferentes doses de silício, associadas ou não a inoculação com *A. brasilense*.

2.2 Objetivos específicos

Avaliar o efeito da aplicação de silício, em diferentes doses, sobre a composição químico-bromatológica e o perfil fermentativo da silagem de milho com e sem espiga;

Verificar a influência da inoculação com *Azospirillum brasilense* sob os parâmetros de fermentação, pH e estabilidade aeróbia da silagem de milho, em ambos os sistemas de colheita (com espiga e sem espiga);

Analisar a interação entre a aplicação de silício e a inoculação com *Azospirillum brasilense* na composição bromatológica e nas características fermentativas da silagem de milho;

Comparar a qualidade fermentativa e a composição química da silagem de milho produzida com espiga e sem espiga, sob diferentes estratégias de manejo com silício e inoculação microbiana.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Silício como elemento funcional no manejo de estresses abióticos

O silício (Si) tem ganhado destaque na agricultura contemporânea por seu papel funcional no metabolismo vegetal, sobretudo em situações de estresse abiótico. Embora não seja considerado um nutriente essencial, é amplamente reconhecido como um elemento benéfico, principalmente em culturas de elevada importância econômica. No solo, o silício ocorre predominantemente na forma de dióxido de silício (SiO_2), presente em minerais como quartzo e opala, cuja baixa solubilidade limita sua imediata disponibilidade para absorção radicular (GAUR et al., 2020).

A atuação do Si no sistema vegetal é amplamente associada à promoção de respostas fisiológicas e estruturais favoráveis. Entre os efeitos documentados, destacam-se o aumento da capacidade fotossintética, a melhoria na arquitetura radicular, a redução da taxa de transpiração e a maior resistência a acamamento (LIANG et al., 2005). Além disso, o Si desempenha papel relevante na indução de mecanismos de defesa, reduzindo a incidência de pragas e doenças, e atenuando os efeitos tóxicos de elementos como manganês (Mn), ferro (Fe), alumínio (Al) e sódio (Na), ao passo que favorece a absorção de nutrientes essenciais, como o fósforo (LANA et al., 2003).

No contexto da proteção contra estresses bióticos, evidências apontam que o Si atua como barreira física ao se depositar nos tecidos das partes aéreas, dificultando a penetração de patógenos, além disso, sua presença estimula vias metabólicas associadas à produção de compostos de defesa, com o ácido jasmônico, e pode ainda favorecer mecanismos indiretos de controle biológico, como o aumento da atração de inimigos naturais e parasitoides em situações de ataque por insetos-praga (BAKHAT et al., 2018).

Em experimento conduzido por Pulz et al. (2008), a substituição parcial do calcário dolomítico por silicato de cálcio e magnésio promoveu maior disponibilidade de fósforo e Si no solo e maior absorção desses elementos pela cultura da batata. Embora a deficiência hídrica tenha reduzido o rendimento de tubérculos, plantas submetidas ao tratamento de silicato apresentaram maior estatura, menor acamamento e superior produtividade comercial. Tais resultados evidenciam que o uso de silicatos pode representar alternativa viável para o aumento da resiliência e do desempenho produtivo em condições adversas.

Na cultura da soja, Pereira Júnior et al. (2010) observaram respostas morfológicas favoráveis à aplicação de silício no sulco de semeadura, como maior altura das plantas, elevação do ponto de inserção do primeiro legume e aumento no número de legumes por planta, especialmente na dose de 200 kg ha⁻¹ de silicato. Ainda que tais efeitos não tenham se refletido em incrementos significativos na produtividade de grãos, os dados indicam o potencial do silício para favorecer o desenvolvimento vegetativo sem provocar sintomas de fitotoxicidade.

A eficiência do Si também tem sido confirmada sob condições de estresse hídrico. Em estudo conduzido com cana-de-açúcar, Teixeira et al. (2022) verificaram que a aplicação de Si promoveu maior atividade de enzimas antioxidantes, melhoria da eficiência fotossintética e maior acúmulo de biomassa, além de favorecer a regulação osmótica e a absorção de nutrientes. Tais respostas fisiológicas revelam o papel do silício como modulador da resiliência vegetal diante da variabilidade climática.

Conforme destaca Rosa (2020), a aplicação de silício representa uma estratégia agronomicamente promissora para a mitigação dos efeitos da seca, ao reforçar a estrutura celular, aumentar a eficiência hídrica e promover o crescimento radicular. Esses mecanismos se mostram especialmente relevantes no contexto atual da agricultura, marcado por crescentes episódios de instabilidade hídrica e necessidade de práticas sustentáveis.

Nesse cenário, investigações que associem o uso de silício a outras tecnologias sustentáveis ganham relevância, especialmente quando se considera o potencial sinérgico com microrganismos promotores de crescimento, como *Azospirillum brasilense*, cuja atuação também contribui para o desempenho fisiológico e nutricional das plantas.

3.2 Inoculação com *Azospirillum brasilense* no incremento da eficiência nitrogenada

A adubação nitrogenada desempenha papel central no desenvolvimento das culturas agrícolas, sendo um dos principais fatores limitantes da produtividade quando não manejada de forma adequada. Por ser um elemento altamente móvel no solo, o nitrogênio está sujeito a perdas consideráveis por volatilização, lixiviação e desnitrificação, exigindo práticas de manejo criteriosas quanto à escolha da fonte, dose e época de aplicação (TEIXEIRA FILHO et al., 2010). Tais perdas, além de comprometerem o aproveitamento agrônomo do nutriente, geram impactos ambientais consideráveis, ampliando a necessidade por estratégias sustentáveis que aumentem a eficiência do uso do nitrogênio.

Dentre as alternativas estudadas, destaca-se a inoculação com bactérias promotoras de crescimento vegetal, especialmente do gênero *Azospirillum*, cuja capacidade de fixar nitrogênio atmosférico de forma associativa e sintetizar fitormônios, como auxinas, citocininas e giberelinas, confere vantagens fisiológicas expressivas às plantas (MUMBACH et al., 2017). Essas bactérias estimulam o crescimento radicular, ampliando o volume de solo explorado e favorecendo a absorção de nutrientes e água, o que resulta em maior eficiência agrônoma e, muitas vezes, na possibilidade de redução da adubação nitrogenada mineral.

Além da fixação biológica de nitrogênio, os efeitos benéficos da inoculação com *A. brasilense* incluem a modulação da atividade de enzimas antioxidantes, o aumento do teor de pigmentos fotossintéticos, como a clorofila, e a elevação dos níveis de ácido ascórbico nos tecidos vegetais (GALINDO et al., 2016). Tais respostas fisiológicas favorecem o desempenho das plantas mesmo em condições de estresse contribuindo para maior acúmulo de biomassa e incrementos significativos de produtividade (HUNGRIA et al., 2018).

Mumbach et al. (2017) investigaram o uso de *A. brasilense* em sementes de trigo e milho safrinha,

combinando a inoculação cm diferentes doses de nitrogênio mineral. Os resultados indicaram que, isoladamente, a inoculação não foi suficiente para promover efeitos significativos nos parâmetros produtivos. No entanto, quando associada a adubações com dose reduzida de nitrogênio (50%), observou-se desempenho equivalente ao da dose plena, com acréscimos na produtividade e na produção de matéria seca. Esses achados reforçam o potencial da inoculação como ferramenta complementar no manejo nutricional, contribuindo para a redução do uso de fertilizantes nitrogenados sem prejuízos ao rendimento.

Assim, o uso de *Azospirillum brasilense* desponta como uma estratégia eficiente e ecologicamente viável para aumentar a eficiência do uso de nitrogênio, especialmente em sistemas que buscam conciliar alta produtividade com sustentabilidade agrônômica. A continuidade dessa linha de investigação, associada a outros insumos de base biológica e mineral, permite o avanço de sistemas integrados de manejo que otimizem a produção de forragem e a qualidade da silagem em culturas como o milho (CASSÁN, GARCIA e SALAMONE et al., 2008)

3.3 Cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) destaca-se como uma das culturas agrícolas mais estratégicas para o agronegócio brasileiro, tanto pelo elevado valor nutricional dos grãos quanto pela sua versatilidade de uso. A cultura atende simultaneamente às demandas da alimentação humana e animal e figura como matéria-prima para diversas cadeias industriais, incluindo a produção de biocombustíveis, bebidas, polímeros e insumos químicos de base vegetal (GALVÃO et al., 2014; MIRANDA et al., 2018).

Esse protagonismo é sustentado por sua ampla adaptabilidade as diferentes condições edafoclimáticas do território nacional, o que favorece sua inserção em sistemas de produção diversificados. De acordo com Borges et al. (2020), o milho consolidou-se como insumo essencial para as cadeias produtivas agrícola, pecuária e industrial, ocupando posição estratégica no fortalecimento da economia nacional. A elevada produtividade observada nas últimas décadas reflete avanços tecnológicos no manejo agrônômico, no melhoramento genético e na intensificação sustentável da produção.

Dados recentes da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2024) apontam que, na safra 2023/24, o Brasil produziu 131,8 milhões de toneladas de milho, com estimativa de alcançar 132,7 milhões na safra 2024/25. Embora oscilações climáticas tenham impactado negativamente as exportações, o desempenho do milho de segunda safra manteve-se robusto, evidenciando a resiliência da cultura e sua contribuição contínua para a balança comercial.

A obtenção de elevados rendimentos, no entanto, depende de uma interação favorável entre diversos fatores, especialmente as condições edafoclimáticas e o manejo adotado ao longo do ciclo. Janini et al. (2022) ressaltam que variáveis como temperatura, radiação solar e precipitação influenciam diretamente o desenvolvimento morfofisiológico da planta, afetando não apenas seu potencial produtivo, mas também a estabilidade do rendimento entre safras. Em anos marcados por irregularidade climática,

essas variáveis podem induzir oscilações expressivas na produtividade (GUO et al., 2017; YANG et al., 2017).

Nesse contexto, o mercado de milho no Brasil assume comportamento dinâmico, caracterizado por sucessivas adaptações às condições de produção e às exigências do comércio nacional e internacional. Apesar dos desafios climáticos, o país figura entre os maiores produtores e exportadores globais da cultura, ocupando a terceira e segunda posição, respectivamente (USDA, 2021). Regiões de expansão agrícola, como Matopiba e Sealba, vêm se destacando na incorporação do milho aos sistemas produtivos, reforçando sua importância estratégica. Assim, a cultura consolida-se como um dos principais pilares da economia agroindustrial brasileira, contribuindo para a segurança alimentar, o desenvolvimento regional e a sustentabilidade econômica do setor (COELHO et al., 2021).

Além de sua importância como commodity, o milho apresenta expressivo potencial na produção de volumosos conservados, especialmente por meio da ensilagem, prática amplamente difundida na pecuária nacional (PAULA et al., 2021)

3.4 Silagem de milho

Diversas espécies forrageiras, tanto anuais quanto perenes, podem ser utilizadas na produção de silagem. No entanto, o milho se destaca como a cultura mais amplamente empregada no Brasil, em função do elevado rendimento de massa verde, da elevada eficiência do processo fermentativo e da capacidade de manter o valor nutritivo do material conservado (SCHELER et al., 2021). Quando há condições adequadas de manejo, o milho apresenta produção média de 40 a 60 toneladas de massa verde por hectare, com teor de matéria seca (MS) variando entre 30 e 35% no momento ideal de colheita (FERRARI JUNIOR et al., 2020). Do ponto de vista bromatológico, a silagem de milho é considerada um volumoso de alta qualidade, contendo, em média, 7 a 9% de proteína bruta (PB), 45 a 55% de fibra em detergente neutro (FDN) e cerca de 30 a 35% de amido na matéria seca, valores que favorecem o desempenho produtivo dos ruminantes (NEUMANN et al., 2018; PAZIANI et al., 2021).

Essas características tornam o milho uma das principais fontes de energia na dieta de bovinos leiteiros e de corte, além de contribuir para a estabilidade fermentativa da silagem, devido ao teor adequado de carboidratos solúveis e à rápida queda do pH durante o processo de conservação (FERREIRA et al., 2022). Esses atributos conferem à silagem de milho um papel central na alimentação de ruminantes, especialmente em sistemas de produção intensivos e em períodos de escassez de forragem.

O protagonismo do milho na ensilagem está diretamente relacionado à sua composição química e estrutura anatômica. A planta apresenta elevada concentração de carboidratos solúveis, que devem estar entre os níveis entre 6% e 16%, em água e baixa capacidade tamponante, condições que favorecem a rápida queda do pH, que deve estar na faixa de 3,7 a 4,2 que é o recomendado e a estabilização da massa ensilada (KALAC et al. 2017). A presença expressiva de espigas e, conseqüentemente, de grãos no material ensilado, contribui para o aumento da densidade energética da silagem, resultando em um volumoso de alta digestibilidade e elevado valor nutricional (BRITO et al., 2024). Em média, silagens

de milho com espigas apresentam digestibilidade da matéria seca (DMS) entre 65% e 72%, teor de amido variando de 30% a 35%, proteína bruta (PB) entre 7% e 9%, e fibra em detergente neutro (FDN) entre 45% e 50% (NEUMANN et al., 2018; PAZIANI et al., 2021; BRITO et al., 2024).

Esses parâmetros indicam um alimento com elevada concentração energética e boa fermentação ruminal, o que favorece o desempenho produtivo de bovinos leiteiros e de corte, além de melhorar a eficiência de conversão alimentar e a produção de leite e carne (FERREIRA et al., 2022). Essas características tornam a silagem de milho uma alternativa estratégica na formulação de dietas para ruminantes durante a estação seca, quando a oferta e a qualidade das pastagens naturais são substancialmente reduzidas.

A obtenção de silagens de alta qualidade exige a observação de uma série de critérios técnicos e operacionais ao longo do processo. Fatores como a escolha do híbrido, a adubação equilibrada, o manejo fitossanitário, o ponto fisiológico ideal de colheita, o tamanho das partículas no momento do corte, a eficiência da compactação e a vedação hermética do silo exercem influência direta sobre o perfil fermentativo e a estabilidade do material (FASOLO & CARVALHO et al., 2021). Além disso, a condução adequada da fermentação anaeróbia é essencial para minimizar perdas e garantir a preservação dos nutrientes.

Aspectos como o teor de matéria seca, a concentração de carboidratos solúveis e o pH final da silagem constituem indicadores cruciais de qualidade. Teores de matéria seca superiores a 25%, quando associados a níveis adequados de carboidratos solúveis, favorecem uma fermentação láctica eficiente (PAULA et al., 2021). Silagem bem preservadas tendem a apresentar pH entre 3,7 a 4,2; por outro lado, valores acima de 5,0 indicam fermentações indesejadas e comprometimento de estabilidade aeróbia (KUNG et al., 2018). Em termos estruturais, a proporção ideal de planta de milho para ensilagem envolve aproximadamente 60 a 65% de espigas, o que representa cerca de 45% de grãos no total da massa ensilada (NUSSIO, 1992).

Adicionalmente, fatores pós-ensilagem também podem comprometer a qualidade final da forragem conservada. Conforme salientado por Menezes et al. (2021), perdas significativas podem ocorrer devido à respiração vegetal residual, a atividade de enzimas endógenas e a ação de microrganismos indesejáveis, como *Clostridium* spp. e espécies aeróbias oportunistas, sobretudo após a abertura do silo. Dessa forma, práticas como a colheita no ponto correto de maturação, seguida de compactação imediata e vedação eficaz, são determinantes para garantir a estabilidade fermentativa e minimizar perdas quantitativas e qualitativas (MUCK et al., 2018).

3.5 Silagem de milho sem espiga

No Brasil, a produção de grãos de milho vem se destacando, com maior demanda na alimentação animal por ser a principal fonte na formulação de rações para ruminantes com maior valor energético. Em regiões semiáridas, a parte vegetativa também é utilizada para a produção de silagem, além do uso dos grãos, esses resíduos da cultura do milho é considerado um componente estratégico na dieta de ruminantes (SANCHES et al., 2018; ARTUZO et al., 2019).

Segundo informações disponibilizadas pela FAOSTAT (2017), a palha do milho sem espiga é um dos resíduos mais abundantes e com produção global estimada em aproximadamente 1,13 bilhão de toneladas, se destacando como fonte de alimento na pecuária, como também matéria-prima na produção de biocombustíveis.

A silagem de milho sem espiga concentra-se em colmos e folhas, com menor proporção de fibra e maior densidade energética proveniente de grãos incluídos de forma seletiva. Lima et al. (2007) observaram que a retirada das espigas primárias reduz o teor de matéria seca e fibra, mas aumenta a proporção de carboidratos solúveis, favorecendo a fermentação láctica. Apesar da redução da matéria seca, os valores de pH das silagens sem espiga permaneceram adequados, variando de 3,8 a 4,2, indicando uma fermentação satisfatória. Essa modalidade de silagem apresenta alto valor energético e digestibilidade "in vitro" da matéria seca em torno de 60%, sendo adequada para animais em fase de engorda intensiva (LYNCH et al., 2012).

Lima et al. (2007) e Marques (2010), afirma que a utilização da silagem de milho desprovida da espiga pode representar uma alternativa economicamente viável para a alimentação de ruminantes, uma vez que possibilita o aproveitamento da parte vegetativa da planta e, simultaneamente, a comercialização das espigas como fonte adicional de renda ao produtor.

Estudos posteriores reforçam essa perspectiva ao destacar que o uso dos resíduos da cultura do milho especialmente quando incorporados em dietas completas constitui uma estratégia alimentar sustentável frente ao aumento dos custos do grão e à necessidade de reduzir desperdícios na cadeia produtiva (RUSSEL et al., 2011; DUCKWORTH et al., 2014; CHAPPLE et al., 2015).

3.6 Silagem da espiga de milho

A espiga de milho é comumente colhida quando os grãos atingem o estágio de camada preta, o que indica maturidade fisiológica (Akins e Shaver, 2014). Nesse momento, a snaplage tem MS variando de 650 a 700 g/kg (Akins e Shaver, 2014). No Brasil, como os agricultores contrataram operadores personalizados para produzir snaplage, as espigas foram colhidas em diferentes maturidades, o que pode afetar o rendimento, o padrão de fermentação e o valor nutritivo da snaplage. Portanto, é crucial entender como a maturidade da espiga muda ao longo do período da janela de colheita, já que a snaplage é composta por diferentes componentes da espiga.

A produção de silagem de espiga de milho, conhecida como snaplage, tem se destacado como alternativa entre a silagem de planta inteira e o grão úmido ou seco. Essa modalidade consiste em ensilar predominantemente a espiga, incluindo grãos, sabugo e palha/cascas, com menor participação do caule, buscando equilíbrio entre valor energético, digestibilidade e rendimento por hectare (Ferraretto et al., 2018). O termo snaplage refere-se à ensilagem da espiga inteira colhida com cabeçote tipo “snapper” acoplado ao picador, enquanto earlage indica uma variante com menor incorporação de palha ou partes vegetativas. Essas formas de silagem situam-se entre o grão úmido e a silagem de planta inteira em termos de composição nutricional, densidade e manejo (Ferraretto et al., 2018).

A principal vantagem do snaplage é o potencial de maior rendimento por hectare, podendo ser 10 a 25% superior ao milho colhido exclusivamente em grão. Além disso, permite antecipação da colheita e simplificação operacional, uma vez que reduz etapas de detalhamento ou transporte separado do grão. Outro benefício é o balanço entre fibras e amido, que pode favorecer uma interferência mais estável em comparação ao grão úmido, desde que a ensilagem seja feita corretamente (Ferraretto et al., 2018). Entretanto, as limitações decorrem da menor densidade energética comparada ao grão puro, da variabilidade composicional incluindo a proporção de sabugo e da necessidade de processamento eficiente. Caso os grãos não sejam prejudicados quebrados, o valor do amido pode ser subaproveitado, e a presença de partes volumosas, como cascas e sabugos, dificultam a compactação, aumentando o risco de perdas por modificações limitações ou limitações aeróbias (Ferraretto et al., 2018).

O ponto de colheita do snaplage é crítico para garantir a qualidade da silagem. Recomenda-se uma umidade na faixa de 36 a 42% (base úmida), valor que permite bom enchimento, compactação e geração mínima de efluentes. Em algumas condições práticas, faixas de 40 a 50% podem ser aceitáveis, desde que o processamento e a compactação sejam adequados.

O processamento do grão é determinante para otimizar a digestibilidade do amido. Grãos e sabugos devem ser fragmentados especificamente, sendo necessário ajustar o processador do picador e realizar testes prévios em campo (Ferraretto et al., 2018). A compactação do material no silo é mais desafiadora do que na silagem de planta inteira, devido à presença de partes volumosas, e exige silos ou bolsas com boa capacidade de compactação e colocação. Também é importante controlar a produção de exsudato, uma vez que parte da umidade do snaplage pode se transformar em efluentes que são observados de coleta e quantificação, tanto para evitar perdas como para minimizar impactos ambientais (Pioneer, 2012).

Quando bem processado, o snaplage pode substituir parte do grão nas dietas de bovinos de leite ou corte, mantendo desempenho semelhante. Ajustes na formulação são necessários devido à composição diferenciada, com menor densidade de amido e maior fibra em relação ao grão puro. Além disso, partículas grossas de sabugo podem ser selecionadas pelos animais se o processamento não for adequado, comprometendo a ingestão e a digestibilidade (Ferraretto et al., 2018).

Para maximizar o aproveitamento do snaplage, recomenda-se definir previamente o seu papel na dieta, seja como substituição parcial do grão ou como componente da mistura forrageira, a fim de orientar a escolha do ponto de colheita. É essencial realizar análises laboratoriais das amostras, incluindo

matéria seca, amido eficaz, fibra em detergente neutro e proteína bruta, para ajustar a formulação da ração. A densidade de enchimento e a disposição do silo devem ser cuidadosamente realizadas, e o controle aeróbio no cocho é fundamental, evitando a retirada lenta e monitorando o aquecimento ou restrita (Ferraretto et al., 2018).

Em condições adequadas, a silagem de espiga de milho representa uma alternativa promissora, combinando vantagens do grão e da forragem, com potencial para maior rendimento por hectare e boa qualidade nutricional. Contudo, seu sucesso depende fortemente do manejo adequado em todas as etapas, desde a colheita até a alimentação dos animais, de modo a garantir a preservação da matéria seca, digestibilidade do amido e estabilidade fermentativa.

REFERÊNCIAS:

ARTUZO, F. D., FOGUESATTO, C. R., MACHADO, J. A. D.; OLIVEIRA, J.;

SOUZA, A. R. L. O potencial produtivo brasileiro: uma análise histórica da produção de milho. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 12, n. 2, pp. 515-540, 2019.

SANCHES, A.; ALVES, L. R. A. & BARROS, G. S. C. Oferta e demanda mensal de milho no Brasil - Impactos da segunda safra. *Revista da Política Agrícola*, v. 27, n. 4, pp. 73-97, 2018.

FAOSTAT, 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 08 de outubro de 2025.

LYNCH, JP; O'KIELY, P.; DOYLE, EM Características de produtividade, qualidade e ensilagem do milho integral e dos componentes espiga e palha: data de colheita e efeitos híbridos. *Grass and Forage Science*, v. 67, n. 4, p. 472-487, 2012.

Lima, J.A. et al. (2007). Composição química da silagem de plantas de milho com e sem espigas. *B. Ind. Anim.*, 64(3), 207–212.

MARQUES, F.; SILVEIRA, J. P. S. & MONTAGNA, G. M. R. B. Parâmetros qualitativos e quantitativos de silagem de milho sem espiga. In :VII Encontro de Zootecnia – UNESP, Dracena, 2010.

RUSSELL, J. R., LOY, D. D.; ANDERSON, J. A.; CECAVA, M. Potential of chemically treated corn stover and modified distiller grains as a partial replacement for corn grain in feedlot diets. Iowa State University. Animal Industry Report. ASL R2586. Iowa State Univ., Ames. 2011.

DUCKWORTH, M. J.; SCHROEDER, A. R.; SHIKE, D. W.; FAULKNER, D. B.; FELIX, P. A. S. Effects of feeding calcium oxide on growth performance, carcass characteristics, and ruminal metabolism of cattle. *The Professional Animal Science*. 30:551–560. <https://doi.org/10.15232/pas.2014->

01314. 2014.

CHAPPLE, W. P.; CECAVA, M.; FAULKNER, D. B.; FELIX, T. L. Effects of feeding processed corn stover and distillers grains on growth performance and metabolism of beef cattle. *Journal of Animal Science*. 93:4002–4011. [https://doi.org/ 10 .2527/jas. 9059](https://doi.org/10.2527/jas.9059) Circular Técnica, 16). 2015.

CRUZ, J. C. Milho para silagem. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo>. Acesso em: 09 de outubro de 2025.

GHEYSARI, M. et al. Comparação de estratégias de manejo de irrigação deficitária no crescimento de raízes, plantas e produtividade de biomassa de milho para silagem. *Agrícola. Gerenciamento de água*. v. 182, p. 126–138, 2017.

Kung, L., et al. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages.

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.

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

CAPÍTULO I

SILÍCIO E BACTÉRIAS FIXADORAS DE NITROGÊNIO NA QUALIDADE DE SILAGENS DE MILHO SEM ESPIGA

RESUMO

O estudo avaliou os efeitos da aplicação de silício e da inoculação com *Azospirillum brasilense* sobre o perfil fermentativo, população microbiana, composição química, perdas e estabilidade aeróbia de silagens de milho sem espiga. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 4×2 , correspondendo a quatro doses de silício (0, 3, 6 e 9 kg ha⁻¹) e dois níveis de inoculação (com e sem *A. brasilense*), com quatro repetições. Os resultados demonstraram que a aplicação de silício exerceu influência significativa sobre os teores de alguns macronutrientes. O fósforo apresentou efeito significativo ($p=0,0312$), com variação positiva em função das doses de silício. Cálcio ($p=0,0004$) e magnésio ($p=0,0024$) também foram afetados, indicando que o silício contribuiu para o aumento na absorção e acúmulo desses nutrientes nas plantas. Por outro lado, o nitrogênio, o enxofre e o sódio não apresentam diferenças significativas entre os tratamentos. A inoculação com *A. brasilense* não promoveu variações expressivas em nenhum dos nutrientes avaliados, embora tenha mantido tendência de incremento de nível nos teores de nitrogênio (1,57 a 1,62 g kg⁻¹). Para a microbiologia, as contagens médias de bactérias ácido-láticas (BAL) foram de 0,976 e 2,093 log₁₀ UFC g⁻¹ para silagens sem e com *A. brasilense*, respectivamente, sem efeito significativo ($P = 0,171$). As contagens de fungos filamentosos (MOFO) variaram entre 3.318 e 3.143 log₁₀ UFC g⁻¹ ($P = 0,651$) e as de leveduras entre 0,773 e 1,128 log₁₀ UFC g⁻¹ ($P = 0,160$). Não houve interação entre silício e inoculante ($P > 0,05$). As perdas por gases e efluentes foram reduzidas, e a estabilidade aeróbia manteve-se acima de 120 horas. A aplicação de silício associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* melhorou a qualidade da silagem de milho sem espiga, favorecendo a fermentação, o teor de matéria seca e a composição mineral. O silício impediu os teores de FDN e aumentou a hemicelulose e o zinco, enquanto o inoculante elevou cálcio, potássio e magnésio, evidenciando efeito sinérgico entre ambos. As silagens apresentaram elevada estabilidade aeróbia, com manutenção das temperaturas próximas ao ambiente por até 120 horas, queda boa conservação. Dessa forma, o uso combinado de silício e *A. brasilense* constitui uma alternativa promissora para aprimorar o valor nutritivo e a estabilidade de silagens de milho produzidas sem espiga.

Palavras-chave: *Azospirillum brasilense* ; *Zea mays* L., nutrição mineral, qualidade da forragem, valor nutritivo.

ABSTRACT

This study evaluated the effects of silicon application and inoculation with *Azospirillum brasilense* on the fermentation profile, microbial population, chemical composition, losses, and aerobic stability of corn silages without cobs. The experiment was conducted in a randomized complete block design, in a 4×2 factorial arrangement, corresponding to four silicon rates (0, 3, 6, and 9 kg ha⁻¹) and two inoculation levels (with and without *A. brasilense*), with four replicates. The results demonstrated that silicon application significantly influenced the levels of some macronutrients. Phosphorus showed a significant effect ($p=0.0312$), with positive variation as a function of silicon rates. Calcium ($p=0.0004$) and magnesium ($p=0.0024$) were also affected, indicating that silicon contributed to increased absorption and accumulation of these nutrients in plants. However, nitrogen, sulfur, and sodium did not show significant differences between treatments. Inoculation with *A. brasilense* did not promote significant variations in any of the nutrients evaluated, although it maintained a trend of increasing nitrogen levels (1.57 to 1.62 g kg⁻¹). For microbiology, the mean lactic acid bacteria (LAB) counts were 0.976 and 2.093 log₁₀ CFU g⁻¹ for silages without and with *A. brasilense*, respectively, with no significant effect ($P = 0.171$). The filamentous fungi (MOLD) counts ranged from 3,318 to 3,143 log₁₀ CFU g⁻¹ ($P = 0.651$) and yeast counts from 0.773 to 1.128 log₁₀ CFU g⁻¹ ($P = 0.160$). There was no interaction between silicon and inoculant ($P > 0.05$). Gas and effluent losses were reduced, and aerobic stability was maintained for over 120 hours. Silicon application combined with inoculation with *Azospirillum brasilense* improved the quality of corn silage without cobs, favoring fermentation, dry matter content, and mineral composition. Silicon inhibited NDF levels and increased hemicellulose and zinc, while the inoculant increased calcium, potassium, and magnesium, demonstrating a synergistic effect between the two. The silages exhibited high aerobic stability, maintaining temperatures close to ambient for up to 120 hours, while maintaining good shelf life. Therefore, the combined use of silicon and *A. brasilense* constitutes a promising alternative for improving the nutritional value and stability of corn silages produced without cobs.

Keywords: *Azospirillum brasilense*; *Zea mays* L., mineral nutrition, forage quality, nutritional value.

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais cultivados no Brasil e no mundo, destacando-se pela ampla aplicação na alimentação humana e animal, além de sua utilização como matéria-prima em diversos setores industriais (Miranda, 2018). No Brasil, essa cultura está presente em praticamente todas as regiões agrícolas, sendo cultivada tanto em pequenas propriedades voltadas à subsistência quanto em grandes lavouras que empregam tecnologias avançadas para alcançar elevados níveis de produtividade. Na safra 2021/2022, a produção nacional ultrapassou 117 milhões de toneladas, com uma média de 5.596 kg por hectare (Conab, 2021).

Além da sua relevância econômica, o milho se destaca como uma das principais forrageiras na produção de silagem, devido a atributos agronômicos e nutricionais que favorecem esse uso: elevada produtividade, ampla adaptação às condições brasileiras, facilidade de cultivo e colheita, e características fermentativas ideais, como baixa capacidade tampão, alto teor de carboidratos solúveis e umidade adequada no momento da ensilagem. Esses fatores garantem uma silagem de qualidade, com níveis apropriados de energia e proteína para atender às exigências nutricionais dos ruminantes (Neumann et al., 2019; Araújo et al., 2012; Guyader et al., 2017).

Para que a silagem alcance excelência, é fundamental utilizar espécies forrageiras que apresentem alto rendimento de matéria seca, boa qualidade nutricional e perfil fermentativo adequado (Paziani et al., 2009). O milho atende plenamente a esses critérios, justificando sua ampla adoção entre os produtores brasileiros (Júnior et al., 2017; Pereira et al., 2004).

Entre os resíduos gerados pela cultura, a palhada de milho sem espiga representa uma fração significativa. De acordo com dados da FAOSTAT (2017), esse resíduo corresponde a um dos maiores volumes agrícolas do mundo, com produção estimada em aproximadamente 1,13 bilhões de toneladas. Estudos indicam que a palhada de milho sem espiga possui teores relevantes de carboidratos solúveis em água e baixa capacidade tampão, características que contribuem para a estabilidade e qualidade da silagem durante o armazenamento (McDonald et al., 1991; Sun et al., 2019).

Dessa forma, a utilização da planta de milho sem espiga na produção de silagem apresenta-se como uma alternativa viável e estratégica na alimentação de ruminantes. Além de possibilitar a redução de custos e o aproveitamento eficiente dos recursos da lavoura, essa prática permite a comercialização das espigas separadamente, gerando benefícios econômicos adicionais ao produtor (Lima et al., 2007; Marques, 2010). O uso desse resíduo, especialmente em dietas de ração total, tem ganhado destaque diante do elevado custo do grão de milho, reforçando seu valor como componente nutricional acessível e funcional (Russel et al., 2011; Duckworth et al., 2014; Chapple et al., 2015).

Diante do exposto o estudo tem como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de silício e da inoculação com *Azospirillum brasilense* sobre o perfil fermentativo, população microbiana, composição química, perdas e estabilidade aerobia de silagens de milho sem espiga.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local experimental, implantação e manejo do milho

O estudo foi conduzido no Centro de Ciências de Chapadinha da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), situado no município de Chapadinha, estado do Maranhão, Brasil. Essa localidade integra a microrregião do Baixo Parnaíba Maranhense e apresenta as coordenadas geográficas 03°44'33" de latitude Sul e 43°21'21" de longitude Oeste, com altitude média de aproximadamente 105 m. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima predominante é do tipo A, caracterizado como tropical úmido com estação seca bem definida (ALVARES et al., 2013).

O híbrido de milho utilizado foi o Feroz Vip3 (SYN8A98 TLTG Viptera®, Syngenta, São Paulo-SP, Brasil), cultivado em uma área experimental de 263 m². O preparo do solo consistiu em uma aração seguida de gradagem, sendo posteriormente realizada a calagem com 0,79 t/ha de calcário dolomítico (PRNT 90%) para atingir 70% de saturação por bases, conforme as exigências da cultura.

A semeadura foi efetuada manualmente, utilizando enxadas para abertura das covas a uma profundidade entre 3 e 5 cm. O espaçamento adotado foi de 0,60 m entre linhas e 0,20 m entre plantas, resultando em uma densidade aproximada de 66.666 plantas por hectare. Cada unidade experimental apresentou dimensões de 3,0 x 2,0 m (6 m²), totalizando 32 parcelas e 1.280 plantas no ensaio.

A adubação de base foi realizada de acordo com os resultados da análise química do solo, utilizando a formulação 08-28-16. Aos 30 dias após a emergência das plantas, foi aplicada a adubação de cobertura com ureia, na dose de 40 kg/ha.

Para a inoculação, utilizou-se 0,5 kg de sementes tratadas com 2 mL do inoculante comercial Grap Nod A L® (Agrocete®, Brasil), contendo as estirpes *Azospirillum brasilense* Ab-V5 e Ab-V6, na proporção 1:1. Após a semeadura, o estande de plantas foi uniformizado por meio de raleio, mantendo-se uma planta por cova.

2.2 Delineamento experimental, colheita e ensilagem

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, adotando um arranjo fatorial 4 × 2, com quatro repetições, totalizando 32 parcelas experimentais. O fator principal correspondeu às doses de silício aplicadas (0, 4, 8 e 12 kg ha⁻¹), equivalentes a concentrações de 0, 0,96, 1,90 e 2,85 mmol L⁻¹ de silício na solução. O segundo fator foi constituído pela inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, utilizando as estirpes Ab-V5 e Ab-V6 em proporções iguais (1:1).

2.3 Coleta e preparo das amostras

O corte do milho destinado à produção de silagem foi realizado aos 81 dias após o plantio, quando as plantas apresentavam grãos em estágio farináceo-duro (aproximadamente 50% da linha do leite), ponto considerado ideal para o processo de ensilagem. O corte foi feito a cerca de 20 cm acima do solo. Em seguida, o material colhido foi processado em uma picadeira estacionária, obtendo-se partículas uniformes para o enchimento dos silos.

O material picado foi homogeneizado manualmente, e amostras da forragem in natura foram coletadas, acondicionadas em sacos plásticos e mantidas em freezer para análises posteriores. Parte do material foi destinada às análises químico-bromatológicas, sendo seca em estufa de ventilação forçada a 65 °C até peso constante.

A forragem foi acondicionada em silos experimentais confeccionados em tubos de policloreto de vinila (PVC), com capacidade de 3,6 L (96,8 mm de diâmetro, 156,5 mm de altura e 193,6 mm de largura), equipados com válvula tipo Bunsen para a liberação de gases durante a fermentação. No fundo de cada silo, adicionou-se 1 kg de areia seca (a 105 °C), coberta por um tecido de TNT (tecido não tecido), a fim de permitir o escoamento e a quantificação do efluente produzido. O material foi compactado com auxílio de soquetes de PVC, utilizando aproximadamente 3,5 kg de forragem fresca por silo.

Após o enchimento, os silos foram devidamente vedados com fita adesiva, pesados e armazenados em ambiente coberto, seco e bem ventilado, permanecendo à temperatura ambiente até a abertura para as análises.

2.4 Análise de macro e micronutrientes

Para a determinação dos teores de macro e micronutrientes, o material ensilado foi previamente seco e posteriormente triturado em moinho tipo faca, utilizando peneira com abertura de 1 mm. As amostras obtidas foram destinadas às análises de composição mineral.

A quantificação dos minerais seguiu a metodologia descrita por Nogueira e Souza (2005). Os teores de potássio (K) e sódio (Na) foram determinados por fotometria de chama. O cálcio (Ca) foi quantificado por titulação, enquanto o teor de magnésio (Mg) foi obtido pela diferença entre os valores de Ca e Ca+Mg. A concentração de fósforo (P) foi determinada por espectrofotometria de absorção molecular. O enxofre (S) foi estimado de forma indireta, a partir da concentração de sulfatos, considerando o peso molecular do elemento. Os teores de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) foram determinados por meio de espectrofotometria de absorção atômica.

2.5 Perfil fermentativo e perdas

As perdas por gases (PG), perdas por efluentes (PE) e a recuperação da matéria seca (RMS) foram determinadas por meio da variação de peso dos silos entre o fechamento e a abertura, conforme

as equações propostas por Jobim et al. (2007). Essas determinações consideraram a massa de forragem armazenada e os teores de matéria seca no momento da ensilagem e da abertura.

Perdas por gases (PG):

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

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.

2.6 População microbiana

As análises microbiológicas foram conduzidas no Laboratório de Microbiologia da Universidade Federal do Maranhão (UFMA/CCCh). Para cada amostra, aproximadamente 10 g de silagem fresca foram coletadas e pesadas.

A quantificação das bactérias ácido-láticas (BAL) foi realizada em meio de cultura MRS Ágar (Difco, Detroit, Michigan, EUA), suplementado com 0,1% de ácido acético e 1,5% de ácido tartárico, enquanto a contagem de mofos e leveduras foi efetuada pelo método de pour plate, utilizando meio BDA (Batata Dextrose Ágar, KASVI®).

As diluições seriadas das amostras foram preparadas em duplicata, com concentrações variando de 10^{-2} a 10^{-6} , conforme o protocolo descrito por González et al. (2003). As placas foram incubadas em estufa tipo B.O.D. a 35 °C, por 48 horas para as BAL e 72 horas para mofos e leveduras. Somente as placas que apresentaram contagens entre 30 e 300 unidades formadoras de colônia (UFC) foram consideradas adequadas para interpretação dos resultados.

2.7 Composição química

As análises químico-bromatológicas foram realizadas no Laboratório de Produtos de Origem Animal (LAPOA) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA/CCCh).

Foram coletadas amostras do material fresco (pré-ensilagem) e da silagem para determinação da composição química. As amostras foram submetidas à pré-secagem em estufa de ventilação forçada a 65 °C por 72 horas e, posteriormente, moídas em moinho tipo faca, utilizando peneira com abertura de 1 mm. O material moído foi destinado às análises químicas e bromatológicas.

Os teores de matéria seca (MS) foram determinados conforme o método 934.01 da AOAC (2016); a proteína bruta (PB) foi quantificada pelo método de Kjeldahl 920.87 (AOAC, 2016), e as cinzas pelo método 930.15 (AOAC, 2005). As frações de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foram determinadas de acordo com a metodologia de Van Soest et al. (1991), com modificações propostas por Senger et al. (2008), utilizando autoclave a 110 °C por 40 minutos.

A hemicelulose (HEM) foi calculada pela diferença entre FDN e FDA, enquanto a lignina foi determinada segundo o método descrito por Van Soest et al. (1963). O teor de matéria orgânica (MO) foi obtido pela equação:

$$MO = 100 - \text{MMMO} = 100 - \text{MMMO} = 100 - \text{MM}$$

onde MM representa o teor de matéria mineral.

2.8 Estabilidade aeróbia

A estabilidade aeróbia das silagens foi avaliada por meio do monitoramento contínuo da temperatura interna do material exposto ao ar. Após a abertura dos silos, aproximadamente 1,5 kg de cada silagem foram transferidos para silos limpos e utilizados para o ensaio.

Durante o período experimental, a temperatura ambiente foi mantida constante em 25 °C, e as temperaturas internas das silagens foram registradas a intervalos de 10 minutos ao longo de 200 horas de observação. As medições foram realizadas com sensores de temperatura encapsulados modelo

DS18B20 (Maxim Integrated™, Califórnia, EUA), com faixa operacional de -55 a 125 °C e precisão de $\pm 0,5$ °C.

Os sensores foram conectados a um microcontrolador ATmega2560 (Arduino® Mega 2560, Itália), programado para registrar automaticamente os dados de temperatura em intervalos regulares. Cada sensor foi inserido no centro da massa ensilada, a uma profundidade de aproximadamente 10 cm. A quebra da estabilidade aeróbia foi considerada quando a temperatura interna da silagem apresentou elevação de 2 °C em relação à temperatura ambiente, conforme o critério proposto por Taylor e Kung (2002).

2.9 Análises estatísticas

Para a avaliação da silagem, foi adotado o delineamento em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial 4x2x2, totalizando oito tratamentos com três repetições cada. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de médias utilizando o software estatístico (SAS, 2004), por meio do procedimento de modelos mistos (PROC MIXED). Os tratamentos foram considerados efeitos fixos, enquanto as repetições experimentais foram consideradas como efeitos aleatórios.

Para a representação estatística das variáveis relacionadas à silagem utilizou-se o seguinte modelo:

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

onde:

Y_{ijt} representa a variável resposta,

μ é a média geral,

τ_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*,

α_k é o efeito aleatório das repetições,

ε_{ijt} é o termo de erro experimental aleatório.

3 RESULTADOS

3.1 Perfil fermentativo, perdas e recuperação de matéria seca

A inoculação com *Azospirillum brasilense* não resultou em diferenças significativas ($p > 0,05$) para a maioria das variações encontradas, assim como a interação entre o inoculante e as doses de silício ($AB \times Si$) (Tabela 1).

As perdas por efluentes (PE) variaram de 16.396 a 17.519 kg t⁻¹ de matéria verde (MV), sem efeito significativo, o que indica que a interferência ocorreu de forma controlada, com baixa perda de líquidos. Para as perdas por gases (PG), verificou-se variações de 11.825 a 12.381 kg t⁻¹ de MV, também sem diferença estatística, observando que os processos fermentativos não resultaram em manipulação específica da matéria orgânica por respiração aeróbia ou fermentações indesejáveis.

A recuperação de matéria seca (RMS) apresentou percentuais elevados, entre 84,720% e 89,371%, demonstrando boa preservação da fração seca do material ensilado, independentemente dos tratamentos aplicados (Tabela 1). Os valores de capacidade moderada (CT) resultaram resultados, variando de 0,288 a 0,403, o que reflete baixa resistência à queda de pH e melhorando o estabelecimento rápido de condições anaeróbias adequadas para a conservação da silagem.

O teor de nitrogênio amoniacal (N-NH₃) variou entre 1.894 e 2.124% da matéria seca (MS), valores considerados baixos e indicativos de fermentação proteica mínima, característica de silagens bem preservadas. Entre todas as variáveis, apenas o pH apresentou efeito significativo ($p = 0,027$) em função das doses de silício, com redução de 4.871 na ausência de aplicação para 4.556 na dose de 12 kg ha⁻¹ de Si (Tabela 1).

A relação entre os níveis de silício aplicados e o pH da silagem de milho sem espiga é apresentada na Figura 1. Observe-se uma tendência quadrática decrescente, descrita pela equação $y = 4,879 + 0,0002x - 0,0023x^2$ ($R^2 = 0,98$), mostrando que o aumento das doses de silício promoveu uma redução progressiva do pH, atingindo o menor valor na dose de 12 kg ha⁻¹. Esse elevado coeficiente de determinação ($R^2 = 0,98$) demonstra excelente ajuste do modelo aos dados experimentais.

Tabela 1 - Perdas por efluentes, perdas por gases e recuperação de matéria seca, pH e nitrogênio amoniacal de silagem de milho sem espiga fertirrigado com diferentes doses de silício, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Variáveis	A. brasilense		EPM	Silício (kg ha ⁻¹)				EPM	P-valor		
	Sem	Com		0,0	4,0	8,0	12,0		AB	Si	AB x Si
PE	16,396	17,519	2,158	18,511	13,928	17,101	18,290	3,052	0,717	0,701	0,605
PG	11,825	12,381	1,132	14,896	12,006	10,110	11,401	1,602	0,733	0,229	0,241
RMS	88,600	87,136	1,297	84,720	89,371	89,345	88,038	1,834	0,436	0,272	0,400
pH	4,689	4,813	0,053	4,871	4,870	4,706	4,556	0,076	0,122	0,027	0,139
CT	0,352	0,358	0,034	0,403	0,358	0,288	0,371	0,048	0,905	0,415	0,533
N NH ₃	1,894	2,124	0,108	1,961	2,105	2,036	1,962	0,535	0,153	0,857	0,133

^aVariáveis.: PE, perdas por efluentes, PG, perdas por gases, RMS, recuperação de matéria seca, CT, capacidade tampão, N-NH₃, nitrogênio amoniacal; ^bEPM, Erro padrão da média; ^cP-valor, Probabilidade de efeitos para *Azospirillum brasilense* (AB), Silício (Si) e interação AB com Si (AB×Si)

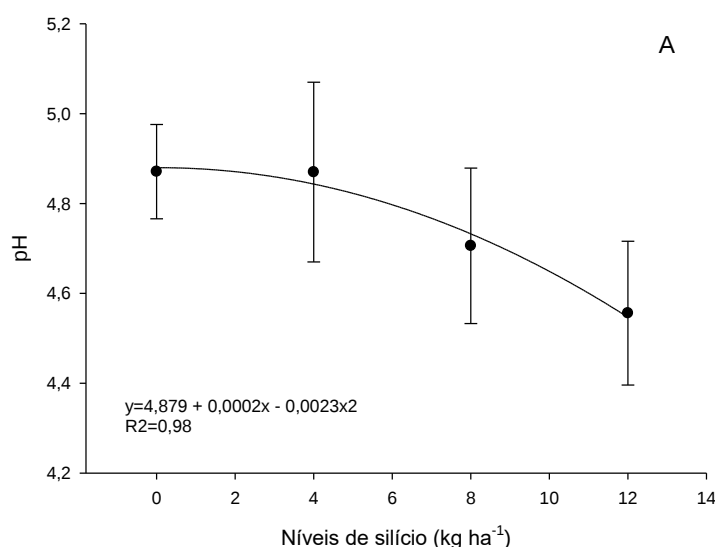


Figura 1- Relação entre as doses de silício aplicadas (kg ha⁻¹) e o pH da matéria fresca de milho sem espiga.

3.2 População microbianas

Os resultados referentes à microbiota da silagem de milho sem espiga são apresentados na Tabela 2. Observou-se que não houve efeito significativo ($p > 0,05$) da inoculação com *Azospirillum brasilense*, das doses de silício (Si) ou da interação entre esses fatores (AB × Si) sobre a contagem das principais populações microbianas avaliadas bactérias ácido-láticas (BAL), leveduras (LEV) e mofos.

As contagens de bactérias ácido-láticas (BAL) variaram de 0,976 a 2,093 log₁₀ UFC g⁻¹, sem diferença estatística entre os tratamentos.

A contagem de mofos apresentou valores médios entre 2,585 e 3,720 log₁₀ UFC g⁻¹, sem diferenças significativas ($p > 0,05$).

No caso das leveduras, as contagens oscilaram entre 0,715 e 2,057 log₁₀ UFC g⁻¹, sem efeito significativo dos fatores isolados ou da interação ($p > 0,05$).

Tabela 2- Microbiologia de silagem de milho (sem espiga) fertirrigado com silício, sem e com a utilização de *A. brasilense*.

Variáveis	<i>A. brasilense</i>		EPM	Silício (kg ha ⁻¹)				EPM	P-valor		
	Sem	Com		0,0	4,0	8,0	12,0		AB	Si	AB x Si
BAL (log₁₀ UFC/g)	0,976	2,093	0,525	1,915	1,952	0,787	1,485	0,742	0,171	0,673	0,131
MOFO(log₁₀ UFC/g)	3,318	3,143	0,264	3,582	3,037	3,720	2,585	0,373	0,651	0,199	0,098
LEV(log₁₀ UFC/g)	0,773	1,128	0,403	2,057	0,000	1,032	0,715	0,570	0,160	0,551	0,255

BAL: bactérias ácido láticas, LEV: leveduras; EPM, Erro padrão da média; P-valor, Probabilidade de efeitos; log₁₀ UFC/g, Unidade formadora de colônia/g forragem na escala logarítmica de base 10.

3.3 Composição bromatológica

A inoculação com *Azospirillum brasilense* promoveu incremento no teor de MS, com valores médios de 31,377% no tratamento inoculado e 29,110% no tratamento sem inoculação. Quanto às doses de silício, estimulado-se um incremento gradativo da MS com o aumento da dose aplicada: 25.816, 30.529, 31.245 e 33.384% para 0, 4, 8 e 12 kg ha⁻¹, respectivamente. A matéria mineral variou entre 4.117 e 5.324%, apresentando valores mais elevados na presença de *A. brasilense* (5.226%) e sob a dose de 8 kg ha⁻¹ de silício (5.324%), embora tais efeitos não tenham sido estatisticamente significativos ($p = 0,085$ e $p = 0,147$, respectivamente).

O teor de proteína não foi influenciado significativamente pelos tratamentos, com valores entre 6.369 e 8.321%. Para FDN e FDA, não se observaram diferenças estatísticas relevantes.

O comportamento dos dados (Figura 2) evidencia uma resposta linear positiva da variável à medida que as doses de silício aumentam. A solução da regressão indica que, para cada incremento de 1 kg ha⁻¹ de silício, há um aumento médio de 0,585 pontos percentuais no teor de MS. O maior valor (33.384%) foi distribuído na dose de 12 kg ha⁻¹. Esse incremento reflete a contribuição do silício para o acúmulo de matéria seca nas plantas de milho, característica fundamental para a produção de silagem, pois favorece a conservação e eleva o valor nutritivo do volumoso.

Tabela 3 - Composição químico-bromatológica da matéria fresca de milho sem espiga com diferentes doses de silício, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Variáveis	<i>A. brasilense</i>			Silício (kg ha ⁻¹)				EPM	P-valor		
	Sem	Com	EPM	0,0	4,0	8,0	12,0		AB	Si	AB x Si
MS	29,110b	31,377a	0,581	25,816	30,529	31,245	33,384	0,822	0,014	0,001	0,215
MM	4,547	5,226	0,261	4,117	5,105	5,324	4,999	0,370	0,085	0,147	0,919
PB	7,296	7,427	0,444	7,142	6,369	7,615	8,321	0,629	0,837	0,207	0,480
FDN	62,528	61,786	0,906	62,505	62,711	61,368	62,044	1,281	0,571	0,884	0,823
FDA	33,118	29,585	2,056	32,541	26,698	33,043	33,123	2,907	0,242	0,360	0,619

MS- Matéria seca; MM- matéria mineral; FDN- Fibra em detergente neutro; EPM: Erro padrão da média.*g/100g = % matéria verde. ^bEPM, Erro padrão da média; ^cP-valor, Probabilidade de efeitos para *Azospirillum brasilense* (AB), Silício (Si) e interação AB com Si (AB×Si)

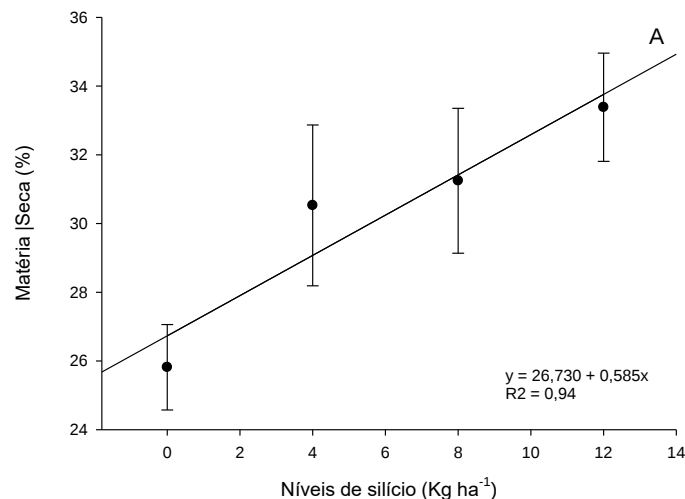


Figura 2- Relação entre as doses de silício aplicadas (kg ha⁻¹) e o teor de matéria seca (MS) da matéria fresca de milho sem espiga.

A composição química-bromatológica da silagem de milho sem espiga apresentou variações sutis entre os tratamentos, sem efeitos significativos ($p > 0,05$) para a maioria das variações verificadas (Tabela 4). A teoria da matéria seca (MS) não foi influenciada significativamente nem pela inoculação com *Azospirillum brasilense* ($p = 0,571$) nem pelas doses de silício ($p = 0,124$), embora tenha sido observada tendência de interação entre os fatores ($p = 0,079$). Os valores médios de MS variaram de 28.363 a 34.346%, com o maior valor registrado na dose de 8 kg ha⁻¹ de silício, diminuindo discreto aumento no teor de MS em doses transmitidas.

Os teores de matéria mineral (MM) oscilaram entre 6.035 e 6.576%, sem diferença significativa entre tratamentos. A inoculação com *A. brasilense* proporcionou nível de incremento no teor médio de MM (6.402%) em relação à ausência do inoculante (6.134%), contudo, sem significância estatística ($p = 0,456$).

O teor de proteína bruta (PB) variou de 5,378 a 5,925%, sem diferenças para os fatores inoculação ($p = 0,619$), silício ($p = 0,665$) ou interação ($p = 0,366$).

A fibra em detergente neutro (FDN) apresentou resposta significativa ao aumento das doses de silício ($p = 0,001$), embora não tenha sido influenciada pela inoculação ($p = 0,159$). Observa-se comportamento quadrático, com os maiores valores de FDN nas doses de 4 e 0 kg ha⁻¹ (71,72 e 70,57%, respectivamente) e o menor na dose de 8 kg ha⁻¹ (63,68%), conforme ilustrado na Figura 3A.

A fibra em detergente ácido (FDA) não apresentou diferença significativa entre os tratamentos ($p > 0,05$), com valores médios próximos de 41%, proporção estável na fração menos digestível da fibra.

Em relação à hemicelulose (Hem), observou-se diferença significativa para as doses de silício ($p = 0,020$), mas não para o inoculante ($p = 0,114$). A Figura 3B ilustra a tendência de incremento da hemicelulose nas doses intermediárias (4 e 8 kg ha⁻¹), com estabilização nas doses mais altas, apontando um possível efeito positivo do silício na estrutura da parede celular das plantas, possivelmente associado ao reforço das ligações entre celulose e lignina.

Os teores de celulose e lignina variaram de 39.092 a 41.084% e de 2.003 a 2,784%, respectivamente, sem diferenças estatísticas reveladas ($p > 0,05$). Esses resultados indicam que o silício

e a inoculação bacteriana não afetaram de forma expressiva a deposição desses compostos estruturais na fração fibrosa da silagem.

Tabela 4 - Composição químico-bromatológica da silagem de milho sem espiga com diferentes doses de silício, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Variáveis	<i>A. brasilense</i>		EPM	Silício (kg ha ⁻¹)				EPM	P-valor		
	Sem	Com		0,0	4,0	8,0	12,0		AB	Si	AB x Si
MS	31,571	30,587	1,204	28,363	31,585	34,346	30,023	1,703	0,571	0,124	0,079
MM	6,134	6,402	0,248	6,576	6,035	6,201	6,260	0,351	0,456	0,744	0,651
Proteína	5,535	5,693	0,219	5,925	5,378	5,586	5,568	0,311	0,619	0,665	0,366
FDN	67,91	69,68	0,848	70,57	71,72	63,68	69,21	1,200	0,159	0,001	0,144
FDA	41,955	41,408	1,107	42,233	43,466	40,041	40,985	1,566	0,731	0,460	0,707
Hem	26,314	28,278	0,831	28,346	28,961	28,961	28,346	1,176	0,114	0,020	0,068
Celulose	40,011	40,316	0,849	41,084	40,577	39,092	39,903	1,201	0,802	0,667	0,735
Lignina	2,626	2,213	0,235	2,784	2,735	2,157	2,003	0,333	0,233	0,273	0,226

MS- Matéria seca ; MM- matéria mineral; FDN- Fibra em detergente neutro; EPM: Erro padrão da média. *g/Kg matéria verde. ^bEPM, Erro padrão da média; ^cP-valor, Probabilidade de efeitos para *Azospirillum brasilense* (AB), Silício (Si) e interação AB com Si (AB×Si)

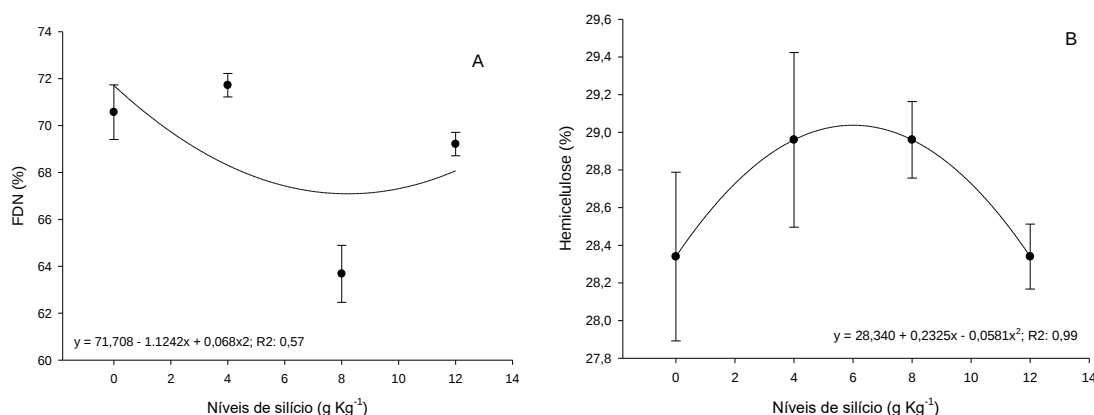


Figura 3- Relação entre as doses de silício aplicadas (kg ha⁻¹) FDN (A) e hemicelulose (B) da matéria fresca de milho sem espiga.

3.4 Composição bromatológica de Macro e micronutrientes da planta e silagem

Dentre os macronutrientes, o potássio foi significativamente influenciado pela inoculação ($p = 0,018$), com teores médios de 12,437 g kg⁻¹ sem e 13,875 g kg⁻¹ com inoculação. O cálcio respondeu tanto à inoculação ($p = 0,008$) quanto ao silício ($p = 0,002$), com os maiores teores no tratamento com inoculação 0,705 g kg⁻¹ e nas doses de 8,0 e 12,0 kg ha⁻¹ de silício.

O magnésio não apresentou efeitos significativos para inoculação ($p = 0,972$) no entanto, houve efeito significativo da interação entre inoculação e para o silício ($p = 0,001$), com teores variando de 5,030 g kg⁻¹ sem inoculação a 6,056 g kg⁻¹ com inoculação), e de 5,226 a 6,257 g kg⁻¹ entre as doses de

silício.

Já os teores de nitrogênio e sódio não apresentaram variações significativas para nenhum dos fatores ($p > 0,05$). Os teores de boro oscilaram entre 66,306 e 71,143 mg kg⁻¹, enquanto o cobre variou de 4,029 a 6,045 mg kg⁻¹

Tabela 5 - Composição macro e micronutriente da matéria fresca de milho sem espiga fertirrigado com silício, sem e com a utilização de *A. brasilense*.

Variáveis	A. brasilense		EPM	Silício (kg ha ⁻¹)				EPM	P-valor		
	Sem	Com		0,0	4,0	8,0	12,0		AB	Si	AB x Si
Macronutrientes (g kg ⁻¹)											
Nitrogênio											
Fósforo	1,197	1,360	0,094	1,461	1,148	1,136	1,368	0,133	0,242	0,263	0,187
Potássio	12,437	13,875	0,382	12,625	12,625	12,750	14,625	0,541	0,018	0,052	0,023
Cálcio	0,325b	0,705a	0,087	0,340	0,215	0,503	1,003	0,124	0,008	0,002	0,096
Magnésio	5,030	5,036	0,119	5,226	5,035	4,975	4,898	0,168	0,972	0,573	0,001
Enxofre	1,215	2,196	0,214	2,198	1,605	1,655	1,366	0,303	0,006	0,300	0,087
Sódio											
Micronutrientes (mg kg)											
Boro	70,088	69,675	3,868	71,,143	67,748	66,306	74,330	5,471	0,941	0,734	0,676
Cobre	4,540	4,029	4,247	4,958	5,615	6,045	4,520	6,000	0,076	0,089	0,247
Ferro	202,64	197,66	3,630	237,29	179,73	182,91	200,68	5,134	0,349	<0,001	<0,001
Manganês	19,500	20,150	1,381	17,745	20,733	19,963	20,860	1,953	0,743	0,659	0,012
Zinco	26,171	28,570	1,154	32,510	26,171	24,498	26,303	1,632	0,163	0,018	0,488

Períodos	Níveis de suplementação (%MS)				Média	P-Valor
	0,0	4,0	8,0	12,0		
Potássio (g kg ⁻¹)						
Sem	12,750ab	10,25Bb	12,500ab	14,250 ^a	12,437	0,018
Com	15,500 ^a	15,000Aa	13,000a	15,00a	13,875	0,069
Média	12,625	12,625	12,750	14,625		
P-Valor	0,820	<0,001	0,651	0,499		
Magnésio (g kg ⁻¹)						
Sem	4,966ab	5,110ab	4,460Bb	5,586Ba	5,030	0,035
Com	5,486 ^a	4,960ab	5,490Aa	4,210Ab	5,036	0,005
Média	5,226	5,035	4,975	4,898		
P-Valor	0,146	0,663	0,008	0,001		
Ferro (mg kg ⁻¹)						
Sem	297,100 ^a	150,616c	166,280b	196,580b	202,64	<0,001
Com	177,480b	208,850a	199,546ab	204,796ab	197,66	0,037
Média	237,29	179,73	182,91	200,68		
P-Valor	<0,001	<0,001	0,005	0,437		

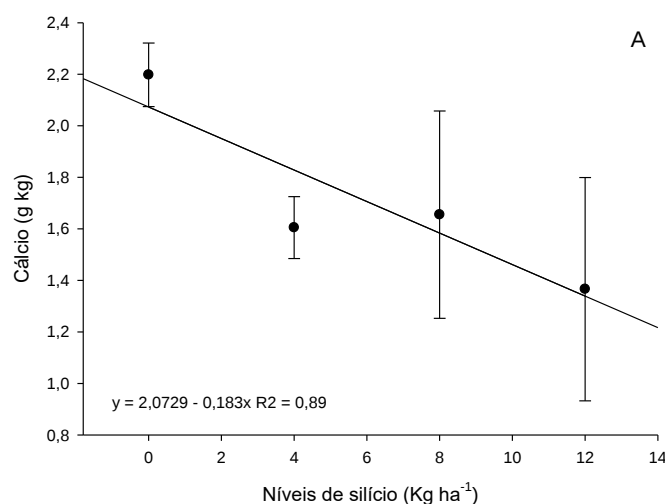


Figura 2- Relação entre as doses de silício aplicadas (kg ha⁻¹) e os teores de cálcio (g kg⁻¹) na matéria fresca de milho

Entre os macronutrientes, o fósforo apresentou efeito significativo do silício, com $p=0,0312$, indicando variação influenciada pelas doses aplicadas. O cálcio também teve influência significativa do silício com $p=0,0004$, assim como o magnésio e $p=0,0024$.

O enxofre (S) mostrou efeito significativo na interação entre inoculação e silício com $p=0,0011$), sugerindo que a combinação desses fatores afeta a concentração desse nutriente na silagem. Além do silício isoladamente apresentar efeito significativo sobre o enxofre ($p=0,0155$), reforçando a influência da dose de silício na concentração desse nutriente, embora a significância seja menor do que a previamente indicada no texto.

Quanto aos micronutrientes, o zinco teve variação significativa em função do silício, com $p=0,0008$, apontando para uma forte influência do silício na concentração desse elemento. Os demais nutrientes, como nitrogênio, potássio, sódio, boro, cobre, ferro e manganês, não apresentaram diferenças significativas para os fatores testados, com p -valores superiores a 0,05.

Onde os demais nutrientes analisados não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$), o que pode estar relacionado à baixa sensibilidade desses elementos à variação das doses de silício ou à inoculação com *A. brasilense* nas condições do estudo.

Tabela 6 - Composição macro e micronutriente silagem de milho sem espiga fertirrigado com silício, sem e com a utilização de *A. brasilense*.

Variáveis	A. brasilense		EPM	Silício (kg ha ⁻¹)				EPM	P-valor		
	Sem	Com		0,0	4,0	8,0	12,0		AB	Si	AB x Si
Macronutrientes (g kg)											
Nitrogênio	0,88	0,91	0,033	0,94	0,86	0,89	0,89	0,047	0,6033	0,6415	0,3372
Fósforo	1,33	1,25	0,076	1,41	1,53	1,06	1,17	0,107	0,4876	0,0312	0,0961
Potássio	6,15	6,83	0,576	6,87	6,06	5,60	7,42	0,815	0,4164	0,4225	0,1131
Cálcio	3,10	3,15	0,093	3,63	3,37	2,65	2,86	0,132	0,7253	0,0004	0,0528

Magnésio	5,33	5,64	0,167	6,33	5,68	4,80	5,13	0,236	0,2019	0,0024	0,3388
Enxofre	0,86	0,60	0,153	0,53	0,29	1,41	0,69	0,217	0,2397	0,0155	0,0011
Sódio	237,50	258,33	12,446	223,33	245,00	263,33	260,00	17,601	0,2563	0,3925	0,5700
Micronutrientes (mg kg)											
Boro	38,89	38,44	4,049	40,06	41,89	38,79	33,92	5,727	0,9389	0,7870	0,6095
Cobre	4,73	4,79	0,183	4,88	4,85	4,97	4,36	0,259	0,8231	0,3785	0,0594
Ferro	244,22	378,06	72,435	296,38	241,88	448,99	257,33	102,43	0,2124	0,4871	0,3598
Manganês	42,09	40,32	4,106	38,71	40,93	32,20	52,97	5,807	0,7648	0,1296	0,6304
Zinco	26,61	25,07	1,409	33,41	27,32	18,19	24,45	1,99	0,4520	0,0008	0,0944

<i>A. brasilense</i>	Níveis de suplementação (%MS)				Média	P-Valor
	0,0	4,0	8,0	12,0		
Enxofre						
Sem	0,770a	0,343a	0,293Ba	1,00a	0,86	0.308
Com	0,303b	0,246b	2.533Aa	0,390b	0,60	<0,001
Média	0,53	0,29	1,41	0,69		
P-Valor	0.285	0.822	<0.001	0.168		

^bEPM, Erro padrão da média; ^cP-valor, Probabilidade de efeitos para *Azospirillum brasilense* (AB), Silício (Si) e interação AB com Si (AB×Si)

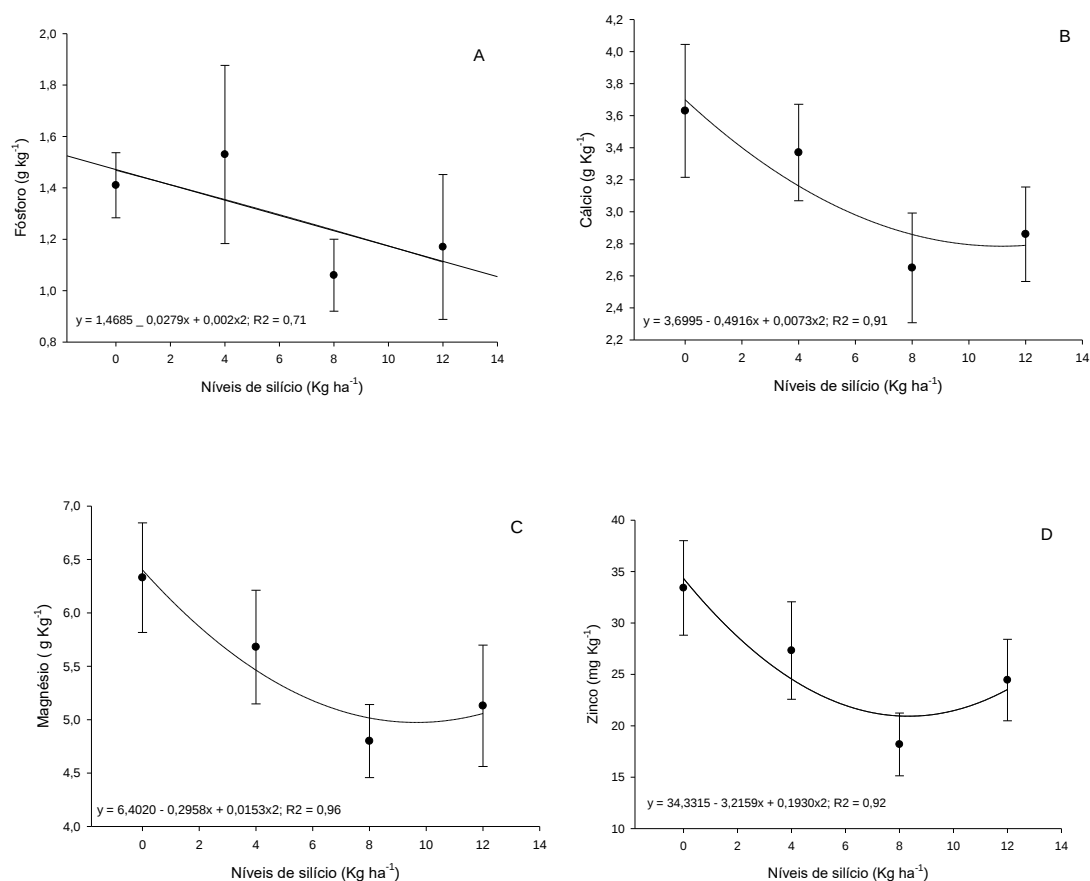


Figura 5- Relação entre as doses de silício aplicadas (kg ha⁻¹) e Magnésio (C) e Zinco (D) da matéria fresca de milho sem espiga.

3.5 Estabilidade

A figura 6 apresenta a variação da temperatura (°C) ao longo de 120 horas de exposição ao ar para as silagens de milho tratadas com diferentes doses de silício (0, 4, 8 e 12 kg ha⁻¹) e com ou sem inoculação com *A. brasilense*.

Observa-se que todas as silagens mantiveram a temperatura estável e próxima da temperatura ambiente ($\approx 25^\circ\text{C}$) durante todo o período de avaliação, diminuindo boa estabilidade aeróbia. Não foram registradas elevações expressivas acima de 2°C , o que é o principal indicativo de início de intervalos aeróbios.

Houve pequenas oscilações pontuais entre 24 e 84 horas, especialmente nas silagens correspondentes aos tratamentos com 4 e 8 kg ha^{-1} de silício, com picos máximos inferiores a $26,2^\circ\text{C}$. Esses aumentos foram transitórios e retornaram rapidamente à faixa basal, proporcionando atividade microbiana limitada e controlada. Os tratamentos com inoculação (AB) tiveram comportamento térmico semelhante aos não inoculados, demonstrando que o uso de *A. brasilense* não comprometeu a estabilidade aeróbia das silagens.

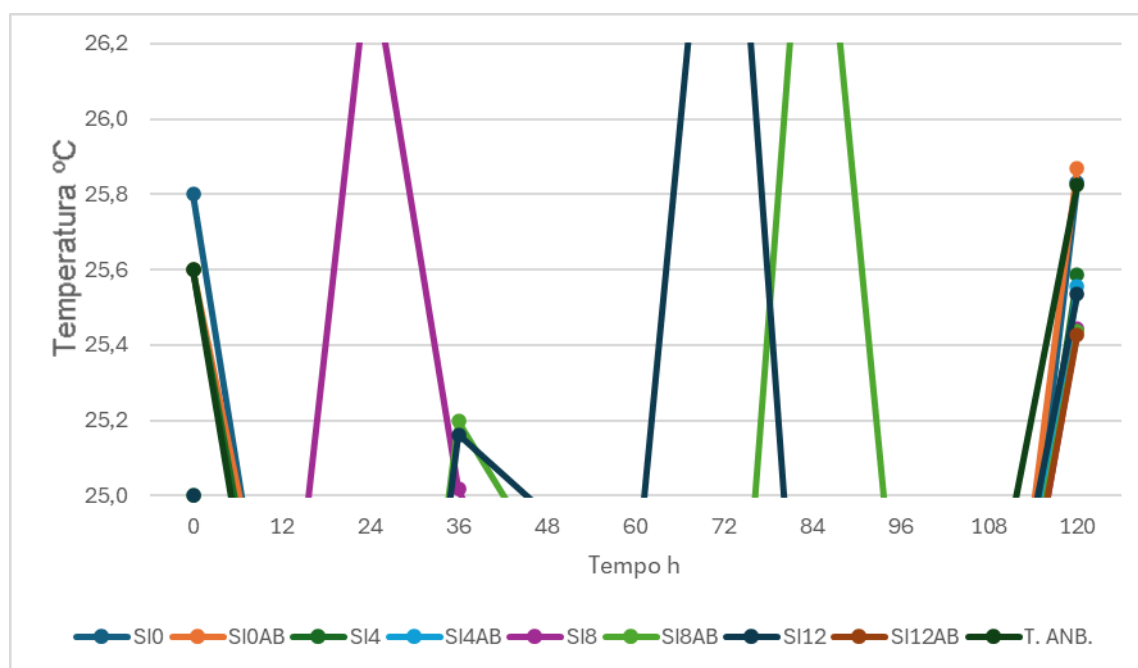


Figura 6- Estabilidade aeróbia das silagens de milho de milho sem espiga fertirrigado com silício, sem e com a utilização de *A. brasilense*.

4 DISCUSSÃO

4.1 Perfil fermentativo, perdas e recuperação de matéria seca

Observou-se que para a maioria das variáveis não houve efeito significativo utilizando a inoculação com *A. Brasiliense*. Corroborando com o que foi descrito por Kung et al. (2018), que afirmam que silagens com boa compactação e fermentação adequada apresentam perdas menores que 20 kg t^{-1} , especialmente quando há rápida acidificação e predominância de bactérias ácido-láticas (KUNG et al., 2018).

Essa redução indicou maior estabilidade fermentativa, uma vez que valores mais baixos de pH inibem o crescimento de microrganismos indesejáveis e favorecem a preservação da silagem por

períodos mais prolongados, sugerindo que o silício pode ter contribuído para um ambiente mais favorável à fermentação láctica, acelerando a queda de pH nas fases iniciais do processo de ensilagem.

Esse efeito pode ocorrer devido à melhora na integridade da parede celular e à redução da solubilização excessiva de carboidratos estruturais, garantindo maior disponibilidade de substratos para bactérias ácido-láticas, que convertem açúcares solúveis em ácido láctico de forma mais eficiente (KUNG et al., 2018). Esse resultado também reflete a eficiência do processo fermentativo, com baixa degradação de proteínas por clostrídios ou enterobactérias um padrão esperado em silagens com rápida queda de pH e boa compactação, conforme discutido por Muck et al. (2018) ao revisarem os efeitos de aditivos químicos e microbianos na redução da proteólise.

Esses resultados corroboram o conceito de que a estabilidade fermentativa depende mais da integridade da planta, densidade da massa ensilada e condições anaeróbias do que a aplicação isolada de inoculantes ou silício. A adição de silício pode ter sido fornecida para maior disponibilidade de carboidratos estruturais e solúveis, favorecendo bactérias ácido-láticas, acelerando a queda de pH e preservando proteínas, em consonância com estudos recentes que mostram efeitos benéficos do Si na resistência estrutural das plantas e na qualidade da silagem (Miroshnychenko et al., 2023; Liang et al., 2015).

4.2 População microbiana

Apesar da ausência de significância, observou-se tendência de maior população de BAL nas silagens inoculadas com *A. brasilense* ($2,093 \log_{10} \text{ UFC g}^{-1}$) em comparação às não inoculadas ($0,976 \log_{10} \text{ UFC g}^{-1}$), indicando um possível estímulo indireto à microbiota benéfica, uma vez que o inoculante pode favorecer o desenvolvimento de microrganismos fermentadores por meio do aumento da disponibilidade de substratos solúveis (FUKAMI et al., 2018; KUNG et al., 2018).

Os níveis de contagem de mofo são considerados baixos e caracterizam silagens bem preservadas, com exposição reduzida ao oxigênio durante o processo de fermentação e armazenamento (McDONALD et al., 1991). A ausência de efeito do silício ou da inoculação indica que as condições anaeróbias foram mantidas melhor em todos os tratamentos, limitando o crescimento de fungos filamentosos.

Populações reduzidas de leveduras são desejáveis, pois esses microrganismos competem por substratos energéticos e estão associados à deficiência de aeróbia durante a abertura do silo (DA SILVA et al., 2020; LIU et al., 2021). De modo geral, as baixas contagens de microrganismos deterioradores e a discreta predominância de BAL indicam que a silagem apresentou perfil microbiológico adequado, compatível com fermentações dominadas por bactérias lácticas e com atividade reduzida de microrganismos indesejáveis. Esses resultados reforçam o bom padrão fermentativo observado nas variáveis químicas e físicas, confirmando que a inoculação com *A. brasilense* e as doses de silício, isolados ou combinados, não comprometem a estabilidade e a conservação da silagem de milho sem espiga.

O silício apresentou efeito modulador sobre leveduras, com doses elevadas reduziu a atividade

microbiana indesejável e melhora a estabilidade aeróbia, reforçando seu papel estrutural e indireto na interferência (Barbosa et al., 2011; Camargo et al., 2022; Miroshnychenko et al., 2023).

4.3 Composição bromatológica

Esses dados corroborando com resultados apresentadas por Amaral et al., (2022), no qual a inoculação de *A. brasilense* apresentou efeito positivo sobre ganho de matéria seca tanto da parte aérea quanto radicular entre as doses de 20 kg⁻¹. Já em relação as doses de silício, dados obtidos estão em consonância com os resultados relatados por Amin et al. (2014) que atestou que aplicação de silício melhorou a matéria seca em híbridos de milho sob condições de déficit hídrico.

O incremento de matéria se refletiu na composição química bromatológica, uma vez que o silício pode favorecer maior acúmulo de nutrientes e compostos estruturais na planta. Segundo Irfan et al. (2023) a melhoria nas relações hídricas pode potencializar a síntese de carboidratos estruturais, como celulose e hemicelulose, e pode elevar os teores de fibra e lignina, contribuindo para a sustentação do porte e a resistência a estresses. Já em relação a utilização de uso de *Azospirillum brasiliense*, fixação biológica de nitrogênio e a síntese de fitormônios como auxinas, giberelinas e citocininas, favorece o desenvolvimento radicular e a absorção de água e nutrientes, ampliando a capacidade de suporte ao crescimento da parte aérea.

O incremento de matéria seca observado com a inoculação de *Azospirillum brasiliense* está associado maior eficiência de fixação biológica de nitrogênio e à estimula a produção de fitormônios que aumentam o crescimento radicular, como as auxinas, giberelinas e citocininas (Pereira et al., 2021). Esse desenvolvimento radicular aumenta a absorção de água e nutrientes, favorecendo acúmulo de compostos estruturais nas plantas, consequentemente aumentando a quantidade de matéria seca.

Estudos anteriores também indicam variações similares, entre 7,1% e 8,8% nas amostras sem espigas (Pedroso et al., 2006; Chávez et al., 2020).

Observa-se que a ausência de espigas concentra a massa em colmos e folhas, com menor fibra e maior densidade energética proveniente de grãos selecionados (Lima et al., 2007; Lynch et al., 2012). Apesar da menor matéria seca, a fermentação láctica permanece eficiente, mantendo o pH adequado e a digestibilidade garantida, evidenciando que tanto a silagem de planta inteira quanto a sem espiga podem fornecer valor nutricional adequado, desde que o manejo seja eficiente e a compactação adequada. Estudos recentes reforçam que o balanço entre fibras estruturais e carboidratos solúveis é crucial para digestibilidade e estabilidade fermentativa (Ferraretto et al., 2018; Keeler et al., 2022; Miroshnychenko et al., 2023).

4.4 Composição bromatológica de Macro e micronutrientes da planta e silagem sem espiga

Esse comportamento está alinhado com os estudos de Souza et al. (2014), que verificaram aumentos nos teores desses nutrientes em plantas de milho tratadas com silício e inoculadas com

bactérias diazotróficas.

Maia et al. (2020) mostra que a presença da bactéria promoveu aumento desses nutrientes, indicando uma possível melhoria na absorção pelo sistema radicular, resultado já relatado por Skonieski et al. (2017) e Camargo et al. (2022), que destacaram o papel promotor de crescimento de *A. brasilense* na nutrição vegetal.

O que pode ser justificado pela alta variabilidade ambiental e pela possível saturação do sistema de absorção de nitrogênio, conforme observado por Oliveira et al. (2021). No que se refere aos micronutrientes, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas nos teores de boro e cobre, independentemente da inoculação ou da aplicação de silício.

Indicando que as condições experimentais e as interações solo-planta-microbiota não foram suficientes para alterar a dinâmica desses elementos, corroborando os resultados obtidos por Andrade et al. (2019).

A redução do pH reflete maior eficiência da interferência láctica, possivelmente associada à ação do silício no estímulo à integridade celular, à atividade enzimática e ao acúmulo de carboidratos solúveis, fatores que favorecem a acidificação do material ensilado.

Valores de pH próximos de 4,2 a 4,5 indicam estabilização adequada da silagem e prevenção do crescimento de microrganismos indesejáveis, como enterobactérias e clostrídios (McDONALD et al., 1991; KUNG et al., 2018). Assim, os resultados evidenciam que o silício, mesmo em doses moderadas, contribui para um ambiente fermentativo mais favorável e para a melhoria da qualidade final da silagem de milho sem espiga.

5 CONCLUSÃO

A aplicação de silício e a inoculação com *Azospirillum brasilense* influenciaram positivamente a qualidade da silagem de milho sem espiga, promovendo melhorias na fermentação, no teor de matéria seca e na composição mineral. O silício diminuiu os teores de FDN e aumentou a hemicelulose e o zinco, enquanto o inoculante elevou os teores de cálcio, potássio e magnésio, destacando a interação benéfica entre ambos. As silagem apresentaram alta estabilidade aeróbia, mantendo temperaturas próximas à ambiental durante 120 horas, diminuindo boa conservação. Assim, o uso combinado de silício e *A. brasilense* representa uma alternativa eficiente para melhorar o valor nutricional e a estabilidade de silagens de milho produzidas sem espiga.

REFERÊNCIAS:

AESA. (2024). Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba.

<http://www.aesa.pb.gov.br/>.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C. et al. Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. *Meteorologische zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013

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

AOAC. Official methods of analysis of AOAC International. 20th ed. (Association of Official Analytical Chemists), Ed., Latimer Jr., GW. Washington (D.C.). 3100 p, 2016.

AOAC. Official methods of analysis of AOAC International. 20th ed. (Association of Official Analytical Chemists), Ed., Latimer Jr., GW. Washington (D.C.). 3100 p, 2016.

AKINS, MS; SHAVER, RD Efeito da snaplage de milho no desempenho da lactação de vacas leiteiras. **The Professional Animal Scientist** , v. 30, n. 1, p. 86-92, 2014.

BAKHAT, H. F.; BIBI, N.; ZIA, Z.; ABBAS, S.; HAMMAD, H. M.; FAHAD, S.; ASHARAF, M. R.; SHAH, G. M.; RABBANI, F.; SAEED, S. Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: A review. *Crop Protection*, v. 104, n. March, p. 21–34, 2018. DOI: 10.1016/j.cropro.2017.10.008.

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* Growth Stages. *Plants*, v. 12, n. 12, p. 2386, 2023.

BORGES E SILVA, Luciana; BUSO, Wilian Henrique Diniz. Performance of corn hybrids in two locations in the northern Goiás. 2022.

BRABANDER, DL et al. Avaliação da estrutura física de beterrabas forrageiras, batatas, polpa de beterraba prensada, grãos de cerveja e silagem de sabugo de milho. **Journal of dairy science** , v. 82, n. 1, p. 110-121, 1999.

BRITO, A. A.; SILVEIRA, M. V.; ARÁUJO, É. O.; SILVA, J. W. F. Características agronômicas de híbridos de milho silageiros cultivados na região sul de Rondônia. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, Curitiba, v.7, n.4, p. 1-16, 2024. DOI: 10.34188/bjaerv7n4-127

CASSÁN, F. D.; GARCIA DE SALAMONE, I. *Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Argentina: **Asociación Argentina de Microbiología**, 2008. 80 p.

CHINNADURAI, K. et al. Effect of silicon and biostimulant on fall armyworm infestation in maize. *Journal of Plant Protection Research*, v. 63, n. 4, p. 410–419, 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2023/24. Brasília, v. 11, n. 8, p. 1-38, abr. 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 01 jun. 2025.

SENGER, C. C. D, MÜHLBACH, P. R. F, SÁNCHEZ, L. M. B, NETTO, D. P E LIMA, L. D. D. Composição química e digestibilidade in vitro de silagens de milho com distintos teores de umidade e níveis de compactação. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1393-1399, nov./dez. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000600026>

ERENSTEIN, O.; JALETA, M.; SONDER, K.; MOTTALeb, K.; PRASANNA, B. M. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. *Agronomy for Sustainable Development*, [S. l.], v. 42, n. 3, p. 1–14, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00756-2>.

FASOLO, D. J.; CARVALHO, A. F. G. Uso de diferentes inoculantes bacterianos isolados e em associação para silagem de milho. *Revista Técnico-Científica do CREA-PR, Edição Especial*, p. 1-20, set. 2021. Disponível em: *Revista Técnico-Científica do CREA-PR*. Acesso em: 01 jun. 2025.

FERRARETTO, LF; SHAVER, RD; LUCK, BD Revisão de silagem: Avanços recentes e tecnologias futuras para colheita de silagem de milho fracionada e de planta inteira. **Journal of dairy science** , v. 101, n. 5, p. 3937-3951, 2018.

Fukami, J., Nogueira, M. A., Araujo, R. S., & Hungria, M. (2016). Accessing inoculation methods of maize and wheat with *Azospirillum brasilense*. *AMB Express*, 6, 1–13. <https://doi.org/10.1186/s13568-015-0171-y>

FUKAMI, J.; CEREZINI, P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. *Amb Express*, v. 8, n. 1, p. 73, 2018.

GALINDO, F. S. et al. Impact of nitrogen fertilizer sustainability on corn crop yield: the role of beneficial microbial inoculation interactions. *BMC Plant Biology*, v. 24, n. 1, p. 94, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04789-9>.

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; SANTINI, J. M. K.; ALVES, C. J.; NOGUEIRA, L. M.; LUDKIEWICZ, M. G. Z.; ANDREOTTI, M.; BELLOTTE, J. L. M. Corn yield and foliar diagnosis affected by nitrogen fertilization and inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 40, 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2017000900012.

GAUR, S.; KUMAR, J.; KUMAR, D.; CHAUHAN, D. K.; PRASAD, S. M.; SRIVASTAVA, P. K. Fascinating impact of silicon and silicon transporters in plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 202, n. March, p. 110885, 2020. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.110885.

GONZÁLEZ, G.; RODRÍGUEZ, A.A. Effect of Storage Method on Fermentation Characteristics, Aerobic Stability, and Forage Intake of Tropical Grasses Ensiled in Round Bales. *Journal Dairy Science*, v. 86, p. 926–933, 2003.

GUO, E.; ZHANG, J.; WANG, Y.; ALU, S.; WANG, R.; LI, D.; HA, S. Assessing non linear variation of temperature and precipitation for different growth periods of maize and their impacts on phenology in the Midwest of Jim province, China. *Theoretical and Applied Climatology*, Berlin, v. 126, p.1-15, 2017.

HELIYON. Revitalizing maize growth and yield in water-limited environments through silicon and zinc foliar applications. *Heliyon*, v. 10, n. 2, e23908, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e23908>.

HUNGRIA, M. et al. Improving maize sustainability with partial replacement of N fertilizers by inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Agronomy Journal*, v. 115, n. 4, e20291, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.20291>.

HUNGRIA, M.; RIBEIRO, R. A.; NOGUEIRA, M. A. Draft genome sequences of *Azospirillum brasilense* strains Ab-V5 and Ab-V6, commercially used in inoculants for grasses and legumes in Brazil. *Microbiology Resource Announcements*, v. 6, n. 20, e00393-18, 2018. DOI: 10.1128/MRA.00393-18.

- JANINI, M. A.; CRUCIOL, G. C.; CATALANI, G.; PERSEGIL, E. O.; BARROS, L. M. Doses crescentes de fertilizante mineral no tratamento de sementes de milho. *Enciclopédia Biosfera*, v. 19, n. 40, 2022.
- 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.
- KALAC, P. Effects of forage feeding on milk. República Tcheca: Elsevier Science, 2017. Disponível em: Perlego e Elsevier. Acesso em: 01 jun. 2025.
- KELLER, Magdalena et al. Efeitos sobre o desempenho, a carcaça e a qualidade da carne da substituição da silagem e do concentrado de milho por silagem de capim e mistura de sabugo de milho na dieta de touros em crescimento. *Meat Science*, v. 188, p. 108795, 2022.
- KUNG, L., SHAVER, R. D., GRANT, R. J., & SCHMIDT, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4020–4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>
- LANA, R. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; SILVA, A. F.; LANA, A. M. Q. Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro. *Bioscience Journal*, v. 19, p. 15-20, 2003.
- LIANG, YC, SUN, WC, SI, J. E RÖMHELD, V. Efeitos do silício aplicado via foliar e radicular no aumento da resistência induzida ao oídio em *Cucumis sativus*. *Plant Pathology*, 54: 678-685, 2005.
- LIMA, J.A. et al. (2007). Composição química da silagem de plantas de milho com e sem espigas. *B. Ind. Anim.*, 64(3), 207–212.
- LIMA, Mateus de Leles et al. Silicon as a Strategy to Mitigate Abiotic Stresses and Improve Physiological Performance and Grain Yield of Maize Grown Under Tropical Climate Conditions. **Plants**, v. 14, n. 17, p. 2755, 2025.
- LYNCH, JP; O'KIELY, P.; DOYLE, EM Características de produtividade, qualidade e ensilagem do milho integral e dos componentes espiga e palha: data de colheita e efeitos híbridos. *Grass and Forage Science*, v. 67, n. 4, p. 472-487, 2012.
- MENEZES, R. A.; MENEZES, G. L.; OLIVEIRA, A. F.; PIRES, F. P. A. A.; JAYME, D. G. Efeito do uso de inoculantes microbianos sobre a qualidade de silagem de milho e o desempenho animal. *Nutritime*, v. 18, n. 5, 2021.
- MIROSHNYCHENKO, Mykola M. et al. Beneficial effects of silicon fertilizers on indicators of seed germination, grain yield of barley and soybean and silage corn biomass. **Journal of Agricultural Sciences, Belgrade**, v. 68, n. 1, p. 43-57, 2023.
- MIRANDA, R. A. Uma história de sucesso da civilização. *A Granja*, v. 74, n. 829, p. 24-27, 2018. Disponível em: <https://edcentaurus.com.br/agranja/edicao/829/materia/8972>.
- MORAIS, M. G. et al. Inoculação na ensilagem de parte aérea e espiga de milho, submetidas à geada. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, Salvador, v. 13, n. 3, p. 619–628, 2012. Disponível em: <<http://www.rbspa.ufba.br>>. Acesso em: 9 jun. 2025.

MUCK, R. E., NADEAU, E. M. G., MCALLISTER, T. A., CONTRERAS-GOVEA, F. E., SANTOS, M. C., KUNG JR, L. Recent advances and future uses of silage additives. **Journal of dairy science**, v. 101, n. 5, p. 3980-4000, 2018.

MUMBACH, G. L.; KOTOWSKI, I. E.; SCHNEIDER, F. J. A.; MALLMANN, M. S.; BONFADA, É. B.; PORTELA, V. O.; BONFADA, É. B.; KAISER, D. R. Resposta da inoculação com *Azospirillum brasilense* nas culturas de trigo e de milho safrinha. *Revista Scientia Agraria*, v. 18, n. 2, p. 97-103, abr./jun. 2017.

MUMBACH, G. L.; KOTOWSKI, I. E.; SCHNEIDER, F. J. A.; MALLMANN, M. S.; BONFADA, É. B.; PORTELA, V. O.; BONFADA, É. B.; KAISER, D. R. Resposta da inoculação com *Azospirillum brasilense* nas culturas de trigo e de milho safrinha. *Revista Scientia Agraria*, v. 18, n. 2, p. 97-103, abr./jun. 2017.

NING, D.; ZHANG, Y.; LI, X.; QIN, A.; HUANG, C.; FU, Y.; GAO, Y.; DUAN, A. The effects of foliar supplementation of silicon on physiological and biochemical responses of winter wheat to drought stress during different growth stages. *Plants*, Basel, v. 12, n. 12, p. 2386, 20 jun. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12122386>

PAULA, T. A. et al. Produção de silagem: aspectos agronômicos e valor nutricional em regiões semiáridas - revisão sistemática, *Arquivos do Mudi*, v.25, n.2, p.127-154, 2021.

PEREIRA JÚNIOR, P.; REZENDE, P. M.; MALFITANO, S. C.; LIMA, R. K.; CORRÊA, L. V. C.; CARVALHO, E. R. Efeito de doses de silício sobre a produtividade e características agronômicas da soja (*Glycine max*). *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 34, n. 4, p. 908-913, jul./ago. 2010. DOI: 10.1590/S1413-70542010000400016.

PULZ, A. L.; CRUSCIOL, C. A. C.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 1651-1659, 2008.

REVTIE-UVAROVA, Alina et al. Beneficial Effects Of Silicon Fertilizers On Indicators Of Seed Germination, Biomass And Grain Yield Of Barley, Soybean And Corn. **Journal of Agricultural Sciences (Belgrade)**, v. 68, n. 1, 2023.

Rondina, A. B. L., Sanzovo, A. W. S., Guimarães, G. S., Wendling, J. R., Nogueira, M. A., & Hungria, M. (2020). Changes in root morphological traits in soybean co-inoculated with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense* or treated with *A. brasilense* exudates. *Biology and Fertility of Soils*, 56, 537–549. <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01453-0>

ROSA, J. M. Silicato e calcário para o capim-ipyporã submetido ao regime hídrico controlado: características agronômicas e enzimáticas. 2020. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2020.

Santos, M. S., Nogueira, M. A., & Hungria, M. (2021). 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. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 45, e0200128. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20200128>

SAS, Sas/Stat University User Guide. Sas Institute Inc, Cary (NC) 2015.

SCHULER, E. D.; CAVICHIOLO, F. A. Viabilidade de silagem de milho para o gado leiteiro. *Revista Interface Tecnológica*, Taquaritinga, v. 18, n. 1, p. 265–275, 2021. DOI: 10.31510/inf.v18i1.1095. Disponível em: *Revista Interface Tecnológica*. Acesso em: 01 jun. 2025.

SILVA, A. C. et al. Silicon application methods influence the nutrient uptake of maize plants in tropical soil. *Journal of Plant Nutrition*, v. 46, n. 2, p. 285–297, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2153307>.

TAYLOR, C. C.; KUNG, L. The Effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 on the Fermentation and Aerobic Stability of High Moisture Corn in Laboratory Silos. *Journal of Dairy Science*, v. 85, n. 6, p. 1526–1532, 2002. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74222-7](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74222-7)

TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; BENETT, C. G. S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 45, p. 797-804, 2010. DOI: 10.1590/S0100-204X2010000800004.

USDA. United States Department of Agriculture. World Agricultural Production. EUA, 2021.

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.

YANG, H.; GRASSINI, P.; CASSMAN, K.G.; AIKEN, R.M. Improvements to the Hybrid-Maize model for simulating maize yields in harsh rainfed environments. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 204, p.180-190, 2017.

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Animal Science*, v.74, p.3583-3597, 1991.

BARBOSA, L. A., REZENDE, A. V., RABELO, C. H., RABELO, F. H., NOGUEIRA, D. A. Estabilidade aeróbia de silagens de milho e soja exclusivas ou associadas. *Ars vet*, p. 255-262, 2011.

CAMARGO, K. C, CASTRO, B., MENEZES M, L., LOPES, M. M. Inoculação com *Azospirillum brasilense* para produção de milho para silagem. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 11, n. 3, pág. e6611326165-e6611326165, 2022.

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, W. L.; FERNANDES, G. C.; BOLETA, E. H. M.; NETO, M. B.; BIAGINI, A. L. C.; BARATELLA, E. B.; SOUZA, J. S. Nitrogen rates associated with the inoculation of *Azospirillum brasilense* and application of Si: effects on micronutrients and silicon concentration in irrigated corn. **Open Agriculture**, v. 3, p. 510-523, 2018.

KUNG, L. JR., SHAVER, R. D., GRANT, R. J., SCHMIDT, R. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 4020-4033, 2018.

MUCK, R. E., NADEAU, E. M. G., MCALLISTER, T. A., CONTRERAS-GOVEA, F. E., SANTOS, M. C., KUNG, L. JR. Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. **Journal of dairy science**, v. 101, n. 5, p. 3980-4000, 2018.

OLIVEIRA, J. F. A, JAKELAITIS, A., CABRAL FILHO, S. L. S, SILVA, C. J. D, GUIMARÃES, K. C, PEREIRA, L. S, OLIVEIRA, G. S. D. Qualidade da silagem do consórcio entre milho e soja manejado com inoculante *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 22, p. e2122092021, 2021.

PELLOSO, M. F.; VIDIGAL FILHO, P. S.; SCAPIM, C. A.; ORTIZ, A. H. T.; NUMOTO, A. Y.; FREITAS, I. R. M. The inoculation of seeds with *Azospirillum brasilense* and nitrogen fertilization management on the agronomic performance and chemical quality of baby corn. **Heliyon**, v. 9, e14618, 2023.

PEREIRA, S. N, VIÉGAS, J. L, TONIN, T. J, DOTTO, L. R, MORO, G., COSTA, L. L D, ROCHA, L. T. D. Effect of inoculation of corn seeds with *Azospirillum brasilense* on grain and fodder production. **Boletim de Indústria Animal**, v. 78, p. 1-13, 2021.

SANTANA, I. A.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; MONÇÃO, F. P.; SAMPAIO RIGUEIRA, J. P.; ROCHA JÚNIOR, V. R.; PARRELLA, R. A. C.; VIEIRA, E. M.; GOMES, M. L. R.; LEAL, D. B.;

LIMA, R. P. Yield and nutritional value of sorghum genotype silages using *Azospirillum brasilense* in the northern region of Minas Gerais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 43, n. 4, p. 1721-1736, 2022.

SKONIESKI, F. R, VIÉGAS, J., MARTIN, T. N, NÖRNBERG, J. L, MEINERZ, G. R, TONIN, T. J, FRATA, M. T. Efeito da inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* e das doses de adubação nitrogenada na produtividade e na qualidade da silagem de milho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, n. 9, p. 722-730, 2017.

COSTA, R. F., PIRES, D. A. D. A., MOURA, M. M. A., SALES, E. C. J. D., RODRIGUES, J. A. S., & RIGUEIRA, J. P. S. Agronomic characteristics of sorghum genotypes and nutritional values of silage. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 38, n. 2, p. 127-133, 2016.

GALINDO, F. S.; PAGLIARI, P. H.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, W. L.; SANTINI, J. M. K.; BOLETA, E. H. M.; ROSA, P. A. L.; NOGUEIRA, T. A. R.; LAZARINI, E.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Can silicon applied to correct soil acidity in combination with *Azospirillum brasilense* inoculation improve nitrogen use efficiency in maize? *PLOS ONE*, v. 15, n. 4, e0230954, 2020.

PERES, M. S.; MAIA, M. S.; VOLCHEISKI, R. R.; CARVALHO, E. R.; XAVIER, L. O.; CAIRES, B. C. Qualidade nutricional e bromatológica da silagem de milho inoculado com *Azospirillum* em cultivo solteiro e consorciado. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 6, n. 11, p. 85974–85988, nov. 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n11-135.

PIONEER. (2012). Harvesting Earlage and Snaplage Silage. Available at: https://www.pioneer.com/CMRoot/Pioneer/US/Non_Searchable/programs_services/earn-the-right/Harvesting-Earlage-Snaplage-Silage.pdf . Accessed on: October 14, 2025.

CAPÍTULO II

SILÍCIO E BACTÉRIAS FIXADORAS DE NITROGÊNIO NA QUALIDADE DE SILAGENS DE MILHO COM ESPIGA

RESUMO

O estudo avaliou os efeitos da aplicação de silício e da inoculação com *Azospirillum brasilense* sobre o perfil fermentativo, população microbiana, composição química, perdas e estabilidade aeróbia de silagens da espiga de milho. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 4×2 , correspondendo a quatro doses de silício (0, 3, 6 e 9 kg ha⁻¹) e dois níveis de inoculação (com e sem *A. brasilense*), com quatro repetições. Observou-se a influência positiva da inoculação com *A. brasilense* e das doses crescentes de silício sobre o perfil fermentativo e a composição bromatológica. Os teores de matéria seca (MS) variaram de 45,3% a 48,7% ($P = 0,041$), com tendência de aumento nas doses mais elevadas de silício. A inoculação promoveu redução nos teores de N-NH₃/TN, diminuindo a liberação proteica ($P = 0,038$). As perdas fermentativas foram significativamente menores ($P < 0,05$) nas silagens com inoculante e com 8 kg ha⁻¹ de silício, refletindo melhor conservação da matéria seca e menor produção de efluentes. A estabilidade aeróbia apresentou aumento expressivo, ultrapassando 140 h para os tratamentos combinados, enquanto os tratamentos sem inoculante ou com ausência de silício atingiram apenas cerca de 96 h antes do aumento de 2 °C na temperatura da silagem. A silagem de espiga de milho apresentou elevado potencial nutricional e fermentativo, beneficiando-se da inoculação com *Azospirillum brasilense* e da aplicação de silício. O inoculante aumentou os teores de matéria seca e proteína bruta, melhorando a eficiência fermentativa, enquanto o silício favoreceu a integridade estrutural da planta e elevou os níveis de cálcio, magnésio e zinco. A combinação de ambos mostrou-se promissora para melhorar a qualidade nutricional e a conservação da silagem.

Palavras chave: *Azospirillum brasilense* ; *Zea mays* L., nutrição mineral, qualidade da forragem, valor nutritivo

ABSTRACT

This study evaluated the effects of silicon application and inoculation with *Azospirillum brasilense* on the fermentation profile, microbial population, chemical composition, losses, and aerobic stability of corn cob silage. The experiment was conducted in a randomized block design in a 4 × 2 factorial arrangement, corresponding to four silicon rates (0, 3, 6, and 9 kg ha⁻¹) and two inoculation levels (with and without *A. brasilense*), with four replicates. A positive influence of inoculation with *A. brasilense* and increasing silicon rates on the fermentation profile and chemical composition was observed. Dry matter (DM) contents ranged from 45.3% to 48.7% ($P = 0.041$), with an increasing trend at higher silicon rates. Inoculation promoted a reduction in N-NH₃/TN contents, decreasing protein release ($P = 0.038$). Fermentation losses were significantly lower ($P < 0.05$) in silages with inoculant and with 8 kg ha⁻¹ of silicon, reflecting better dry matter conservation and lower effluent production. Aerobic stability showed a significant increase, exceeding 140 h for the combined treatments, while treatments without inoculant or without silicon reached aerobic stability only approximately 96 h before a 2 °C increase in silage temperature. Corn cob silage showed high nutritional and fermentation potential, benefiting from inoculation with *Azospirillum brasilense* and silicon application. The inoculant increased dry matter and crude protein contents, improving fermentation efficiency, while silicon favored plant structural integrity and increased calcium, magnesium, and zinc levels. The combination of both showed promise for improving nutritional quality and silage conservation.

Keywords: *Azospirillum brasilense*; *Zea mays* L., mineral nutrition, forage quality, nutritional value

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas agrícolas mais importantes mundialmente, com aplicações na alimentação humana, na produção animal e na indústria. Apesar de sua alta produtividade, apresenta baixa eficiência no aproveitamento de nutrientes, especialmente nítido, o que motiva o uso de estratégias que aliem a sustentabilidade e o desempenho agronômico, como bioinsumos e elementos funcionais (ERENSTEIN et al., 2022; HUNGRIA et al., 2023).

A inoculação com *Azospirillum brasilense* destaca-se por estimular o crescimento radicular, aumentar a absorção de nutrientes e induzir respostas fisiológicas que conferem maior tolerância aos estresses (BASHAN; DE-BASHAN et al., 2010; FUKAMI et al., 2018).

Paralelamente, o silício (Si), embora não essencial, melhora a eficiência no uso de água e nutrientes, fortalece a parede celular e contribui para resistência aos estresses bióticos e abióticos, aumentando a produtividade e a qualidade do milho (NING et al., 2023; SILVA et al., 2023).

O milho também é amplamente utilizado na produção de silagem, sendo a silagem de espiga ou snaplage uma alternativa que combina valor energético, digestibilidade e maior rendimento por hectare, desde que seja gerenciada melhor quanto à umidade, processamento e compactação (FERRARETTO et al., 2018). A associação de Si e *A. brasilense* surge como estratégia promissora para melhorar o desenvolvimento da planta e a qualidade fermentativa da silagem, independentemente da presença de espiga, por meio do aumento da absorção de nutrientes e da estabilidade do material ensilado (FUKAMI et al., 2016; RONDINA et al., 2020).

Desta forma, o estudo tem como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de silício e da inoculação com *Azospirillum brasilense* sobre o perfil fermentativo, população microbiana, composição química, perdas e estabilidade aeróbia de silagens das espigas de milho.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local experimental, implantação e manejo do milho

O experimento foi realizado no Centro de Ciências de Chapadinha da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), localizado no município de Chapadinha, Maranhão, Brasil. A cidade está situada da microrregião do Baixo Parnaíba Maranhense, com coordenadas geográficas de latitude Sul 03°44'33", longitude Oeste 43°21'21", e altitude média de ± 105 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo A (tropical úmido com estação seca bem definida) (ALVARES et al., 2013).

A cultivar utilizada foi o milho híbrido Feroz Vip3 (SYN8A98 TLTG Viptera®, Syngenta, São Paulo-SP, Brasil), implantado em uma área experimental de 263 m². A área foi preparada por meio de aração e gradagem, seguida da correção do solo com 0,79 t/há de calcário dolomítico (PRNT 90%), com o objetivo de elevar a saturação por bases para 70%, conforme exigência nutricional da cultura.

O plantio foi realizado manualmente utilizando enxada para abertura das covas, com

profundidade entre 3 e 5 cm, e espaçamento de 0,60 x 0,20 m (entre linhas x entre plantas), resultando em densidade de 66.666 plantas por hectare. Cada parcela experimental teve dimensão de 3,0 x 2,0 m (6 m²), totalizando 32 parcelas e 1.280 plantas no experimento.

A adubação de plantio foi realizada com aplicação da fórmula 08-28-16, conforme recomendação baseada na análise química do solo. A adubação de cobertura foi realizada aos 30 dias após a emergência, utilizando-se 40 kg/ha de ureia.

Para a inoculação foram utilizados 0,5 kg de sementes, tratadas com 2 mL do inoculante comercial Grap Nod A L® (Agrocete®, Brasil), contendo as cepas Ab-V5 e Ab-V6 de *Azospirillum brasilense*, na proporção 1:1. A semeadura foi realizada manualmente e o estande foi ajustado por raleio, garantindo uma planta por cova.

2.2 Delineamento experimental, colheita e ensilagem

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, adotando um arranjo fatorial 4 × 2, com quatro repetições, totalizando 32 parcelas experimentais. O fator principal correspondeu às doses de silício aplicadas (0, 4, 8 e 12 kg ha⁻¹), equivalentes a concentrações de 0, 0,96, 1,90 e 2,85 mmol L⁻¹ de silício na solução. O segundo fator foi constituído pela inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, utilizando as estirpes Ab-V5 e Ab-V6 em proporções iguais (1:1).

Foram avaliados 16 tratamentos, resultantes da combinação dos fatores combinados: doses de silício (0, 4, 8 e 12 kg ha⁻¹), inoculados ou não com *Azospirillum brasilense* e presença da espiga.

2.3 Coleta e preparo das amostras

Aos 81 dias, foi realizado o corte do milho para a produção de silagem, a uma altura de aproximadamente 20 cm do solo, momento em que os grãos apresentavam consistência farinácea dura, ou seja, 50% da linha do leite, ponto considerado ideal para iniciar o processo de ensilagem. Logo após o corte, o milho foi processado em uma máquina picadeira estacionária e em seguida o material foi ensilado em silos confeccionados em policloreto de vinila (PVC) com 96,8 mm de diâmetro, 156,5 mm de altura e 193,6 mm, equipados com válvula Bunsen para permitir a saída dos gases. O material obtido foi misturado de forma manual, neste momento, as amostras de mistura in natura foram coletadas e armazenadas em sacos de plástico e conservadas em freezer para seguintes avaliações. Enquanto as amostras coletadas para análises química-bromatológicas foram submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada a 65°.

Posteriormente, a mistura homogeneizada, foi condicionada em silos experimentais com capacidade de 3,6L (altura:156,5 mm e largura:193,6 mm), foi adicionado no fundo dos silos 1kg de areia previamente seca em estufa a 105°, para evitar a contaminação e permitir o escoamento do efluente para

posterior quantificação foi utilizado um tecido de algodão. O material foi compactado com soquetes de PVC, inserindo $\pm 3,5\text{kg}$ de forragem fresca por silo. Ao final do processo os silos foram fechados, lacrados com fita adesiva, pesados e armazenados à temperatura ambiente em local coberto, seco e arejado.

2.4 Análise de macro e micronutrientes

Logo após a colheita, o material foi pré-secado, triturado em moinho tipo de facas, em peneira com crivo de 1 mm. As amostras foram submetidas as análises de composição mineral. Os teores dos minerais foram determinados conforme metodologia de Nogueira; Souza (2005), sendo os teores de potássio (K) e sódio (Na) quantificado por fotometria de chama. O cálcio (Ca) foi determinado através da titulação, posteriormente quantificou-se os teores de Ca+Mg e através da subtração entre os teores de Ca e Ca+Mg foi identificado o teor de Mg. O fósforo (P) foi quantificado via espectrofotômetro de absorção molecular, o Enxofre (S) foi quantificado de forma indireta através das concentrações de sulfatos levando em consideração o peso molecular. Os teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn foi realizada em espectrofotômetro de absorção atômica.

2.4 Perfil fermentativo e perdas

As perdas por gases (PG), perdas por efluentes (PE) e a recuperação de matéria seca (RMS) foram calculadas por meio da diferença de peso, segundo as equações estabelecidas por Jobim et al. (2007). Essas equações baseiam-se 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.

2.5 Populações microbianas

As análises microbiológicas aconteceram no Laboratório de Microbiologia da Universidade Federal do Maranhão - UFMA/CCCh.

Foram coletadas e pesadas aproximadamente 10g de silagem fresca, em seguida foi utilizado o meio de cultura ágar MRS (Difco, Detroit, Michigan, EUA), para a quantificação das bactérias ácido lácticas (BAL) foi adicionado 0,1% de ácido acético e 1,5% de ácido tartárico para a contagem de Mofos e leveduras utilizando a técnica de *pour-plating* em meio BDA (batata dextrose ágar, KASVI®). As culturas microbiológicas foram incubadas em uma estufa BOD em uma temperatura de 35° por 48 horas para BAL e por 72 horas para ML. Conforme o protocolo descrito por González et al., (2003) as amostras passaram por diluições seriadas, realizadas em duplicata, com concentrações de 10⁻² a 10⁻⁶. A contagem das placas foram consideradas apropriadas quando apresentassem valores entre 30 e 300 unidades formadoras de colônias (UFC).

2.6 Composição química

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

Para a realização da composição química, foram coletadas amostras do material fresco antes da ensilagem e da silagem. Essas amostras foram submetidas por um processo de pré-secagem por 72 horas em estufa de ventilação forçada a 65°C. E logo após, 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 930,15 (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.

O teor de hemicelulose (HEM) foi obtido pela subtração do FDN pela FDA, enquanto a lignina foi calculada conforme Van Soest et al., (1963). A matéria orgânica (MO) foi determinada pela seguinte equação $MO = 100 - MM$.

2.7 Estabilidade aeróbia

A avaliação da estabilidade aeróbia foi obtida por meio do monitoramento da temperatura interna das silagens expostas ao ar. Após a abertura dos silos as silagens foram coletadas e realocadas em silos limpos, aproximadamente 1,5kg. Durante o monitoramento, as temperaturas das silagens foram mensuradas a cada 10 minutos, mantendo a temperatura ambiente constante a 25 °C durante 200 horas.

A temperatura das silagens foram coletadas por meio de sensores de temperatura encapsulados, do modelo DS18B20 (Maxim Integrated™, DS18B20, Califórnia, Estados Unidos), que possuem uma faixa de temperatura operacional de -55 a 125 °C e uma precisão de ± 0.5 °C. Esses sensores estavam interligados a um microcontrolador específico ATmega2560 (Arduino®, Mega 2560, Itália), que foi programado para coletar as temperaturas a cada intervalo de 10 minutos, ao longo das 200 horas de monitoramento. Os sensores foram inseridos no centro da silagem a uma profundidade de 10 cm na massa ensilada. Foi considerado a quebra de estabilidade aeróbica quando a temperatura interna das silagens atingiu um valor 2°C acima da temperatura ambiente (TAYLOR; KUNG, 2002).

2.8 Análises estatísticas

Para a avaliação da silagem, foi adotado o delineamento em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial 4x2x2, totalizando oito tratamentos com três repetições cada. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de médias utilizando o software estatístico (SAS, 2004), por meio do procedimento de modelos mistos (PROC MIXED). Os tratamentos foram considerados efeitos fixos, enquanto as repetições experimentais foram consideradas como efeitos aleatórios.

Para a representação estatística das variáveis relacionadas à silagem utilizou-se o seguinte modelo:

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

onde:

Y_{ijt} representa a variável resposta,

μ é a média geral,

τ_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*,

α_k é o efeito aleatório das repetições,

ε_{ijt} é o termo de erro experimental aleatório.

3 RESULTADOS

3.1 Perfil fermentativo, perdas e recuperação de matéria seca

Observou-se que a maioria das variáveis não apresentou diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) em função dos tratamentos. As Perdas por Efluentes variaram de 22,493 a 35,043 kg t⁻¹ de matéria verde (MV), sem efeito significativo, indicando que, apesar da amplitude dos valores, a adição de silício ou o uso do inoculante não promoveram redução consistente na perda de líquidos.

As Perdas por Gases oscilaram entre 7,796 e 13,756, também sem diferença estatística, sugerindo estabilidade nos processos fermentativos e ausência de degradação excessiva da matéria orgânica.

A Recuperação de Matéria Seca apresentou valores elevados, entre 85,628% e 90,990%, demonstrando boa preservação da fração seca do material ensilado independentemente dos tratamentos aplicados.

O pH manteve-se estável, variando de 4,140 a 4,516, o que indica adequada acidificação para a conservação da forragem. A Capacidade Tampão apresentou valores reduzidos 0,206 a 0,266 de MS, o que favoreceu a rápida queda de pH e contribuiu para a estabilidade fermentativa.

Em relação ao Nitrogênio Amoniacal, verificou-se que a inoculação com *A. brasilense* elevou os valores de 2,341a para 2,034b, sendo essa diferença estatisticamente significativa ($p = 0,036$).

Tabela 1 - Perdas por efluentes, perdas por gases e recuperação de matéria seca, pH e nitrogênio amoniacal de silagem de espiga de milho fertirrigado com diferentes doses de silício, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Variáveis	<i>A. brasilense</i>		EPM	Silício (kg ha ⁻¹)				EPM	P-valor		
	Sem	Com		0,0	4,0	8,0	12,0		AB	Si	AB x Si
PE	29,024	29,497	2,406	35,043	29,273	30,233	22,493	3,402	0,891	0,115	0,598
PG	8,380	10,885	2,510	8,845	8,135	7,796	13,756	3,550	0,615	0,490	0,503
RMS	90,737	88,343	2,530	90,193	90,990	91,406	85,628	3,579	0,513	0,653	0,496
pH	4,283	4,165	0,055	4,291	4,210	4,255	4,140	0,079	0,575	0,575	0,660
CT	0,225	0,221	0,019	0,266	0,245	0,235	0,206	0,027	0,490	0,237	0,253
N NH ₃	2,341a	2,034b	0,095	2,390	2,106	2,258	1,996	0,134	0,036	0,221	0,865

^aVariáveis.: PE, perdas por efluentes, PG, perdas por gases, RMS, recuperação de matéria seca, CT, capacidade tampão, N-NH₃, nitrogênio amoniacal; ^bEPM, Erro padrão da média; ^cP-valor, Probabilidade de efeitos para *Azospirillum brasilense* (AB), Silício (Si) e interação AB com Si (AB×Si)

3.2 Populações microbianas

Para BAL e MOFO, não foram observados efeitos significativos ($p > 0,05$) sob inoculação isolada ou interação entre inoculação e silício. As contagens de BAL variaram de 1,375 a 3,965, enquanto as de MOFO variaram de 3,060 a 4,220, indicando estabilidade dessas populações independentemente do manejo aplicado.

Em contraste, o teor de Leveduras (LEV) apresentou diferença significativa ($p = 0,021$) em

função das doses de silício, com valores variando de 0,450 a 4,402.

Tabela 1- Microbiologia de silagem de espiga de milho fertirrigado com silício, sem e com a utilização de *A. brasilense*.

Variáveis	<i>A. brasilense</i>		EPM	Silício (kg ha ⁻¹)				EPM	P-valor		
	Sem	Com		0,0	4,0	8,0	12,0		AB	Si	AB x Si
BAL (log10 UFC/g)	2,412	3,062	0,581	3,965	1,375	3,075	2,535	0,822	0,452	0,237	0,625
MOFO (log10 UFC/g)	3,216	4,007	0,299	4,220	3,725	3,442	3,060	0,423	0,098	0,331	0,446
LEV (log10 UFC/g)	2,757	2,506	0,508	3,500	2,175	4,402	4,450	3,262	0,736	0,021	0,643

BAL: bactérias ácido lácticas, LEV: leveduras; EPM, Erro padrão da média; *P-valor*, Probabilidade de efeitos; log10 UFC/g, Unidade formadora de colônia/g forragem na escala logarítmica de base 10.

Na figura 1, observa-se um comportamento quadrático da população de leveduras em resposta às doses de silício. Inicialmente, verificou-se um incremento gradual nas contagens microbianas até aproximadamente 8 kg ha⁻¹, evidenciado pelo coeficiente linear positivo da equação

No ponto de máximo, ocorreu uma redução acentuada da população na dose mais elevada (12 kg ha⁻¹), evidenciada pelo coeficiente quadrático negativo no gráfico. A equação ajustada ($y = 3,013 + 0,319x - 0,041x^2$) apresentou $R^2 = 0,69$, valor que indica um valor satisfatório para explicar a variação dos dados observados.

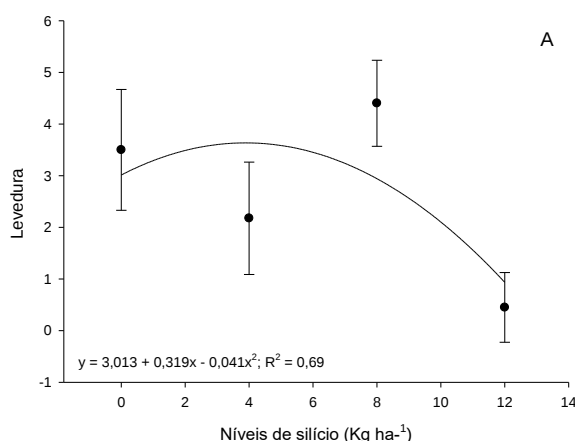


Figura 1 - Comportamento quadrático da população de leveduras

3.3 Composição química

Para a matéria seca (Tabela 3), os valores variaram de 34,588 a 38,10, com maiores médias observadas nos tratamentos com inoculação (38,10) e nas doses mais elevadas de silício, especialmente 12 kg ha⁻¹.

A matéria mineral apresentou variações numéricas entre 1,316 e 1,491, sem efeito significativo de nenhum dos fatores ($p > 0,5$ para todos). O mesmo padrão foi observado para a proteína bruta, cujos teores oscilaram de 9,835 a 11,393, também sem diferenças estatísticas relevantes (Tabela 3).

Em relação à fibra em detergente neutro, os valores médios variaram de 37,115 a 41,653, enquanto a fibra em detergente ácido oscilou entre 14,393 e 18,429, ambas sem resposta significativa aos tratamentos (Tabela 3).

A lignina apresentou valores crescentes com a aplicação de silício, atingindo o maior valor (1,9466) na dose de 12 kg ha⁻¹. Apesar disso, os efeitos individuais do inoculante ($p = 0,355$) e do silício ($p = 0,333$) não foram estatisticamente significativos (Tabela 3).

Tabela 3 - Composição químico-bromatológica matéria fresca de espiga de milho fertirrigado com diferentes doses de silício, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Variáveis	A. brasilense		EPM	Silício (kg ha ⁻¹)				EPM	P-valor		
	Sem	Com		0,0	4,0	8,0	12,0		AB	Si	AB x Si
MS	34,588	38,100	1,368	35,525	34,676	37,678	37,496	1,935	0,088	0,634	0,956
MM	1,715	1,491	0,153	1,466	2,085	1,316	1,546	0,217	0,317	0,108	0,699
PB	11,240	9,835	1,119	10,180	10,848	11,323	9,801	1,583	0,388	0,905	0,537
FDN	37,115	38,493	3,517	41,653	28,276	41,59, 3	39,695	4,974	0,785	0,214	0,194
FDA	18,429	14,870	1,561	14,393	19,031	18,000	15,173	2,208	0,126	0,414	0,208
HEMI	25,029	25,684	0,318	28,846	17,276	28,333	26,970	3,565	0,856	0,112	0,120
CEL	4,138	4,192	0,225	4,616	3,541	4,616	4,170	0,318	0,867	0,148	0,210
LIG	1,842	2,074	1,722	2,318	1,667	1,905	1,946	2,436	0,355	0,333	0,080

MS- Matéria seca ; MM- matéria mineral; FDN- Fibra em detergente neutro; EPM: Erro padrão da média.*g/Kg matéria verde. ^bEPM, Erro padrão da média; ^cP-valor, Probabilidade de efeitos para *Azospirillum brasilense* (AB), Silício (Si) e interação AB com Si (AB×Si)

A matéria seca variou de 36,797 a 41,788%, sendo os maiores valores observados com aplicação de 8 e 12 kg ha⁻¹ de silício. Ainda assim, não foi observado significância estatística para os fatores inoculação ($p = 0,298$), silício ($p = 0,544$) ou interação ($p = 0,476$), indicando ausência de efeito consistente da adubação silicatada sobre o teor de MS. Diferentemente do inicialmente descrito, o valor de p para silício ($p=0,544$), o valor está muito próximo do limiar de 0,05, não caracterizando tendência de resposta (Tabela 4)

A matéria mineral (MM) e a proteína bruta (PB) não apresentaram diferenças significativas, com variações respectivamente.

Já a fibra em detergente neutro (FDN), com valores entre 45,621 e 55,596, mostrou diferença estatística significativa para o fator silício ($p = 0,037$).

A fibra em detergente ácido (FDA) variou entre 20,636 e 21,280, mas não apresentou diferenças significativas em nenhuma das condições testadas. A variável hemicelulose (HEMI), obtida pela diferença entre FDN e FDA, também apresentou diferença estatística significativa tanto para o fator inoculação com *A. brasilense* quanto para o silício, ambos ($p = 0,036$). O tratamento com inoculação resultou em menor média 29,411b. Enquanto o tratamento com inoculação apresentou maior valor 35,541, com diferença estatística entre eles. Em relação às doses de silício, o menor valor foi observado na dose de 8 kg ha⁻¹ (26,835) e o maior na dose de 12 kg ha⁻¹ (37,963)

Tabela 4 - Composição químico-bromatológica de silagem de espiga de milho fertirrigado com diferentes doses de silício, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Variáveis	<i>A. brasilense</i>		EPM	Silício (kg ha ⁻¹)				EPM	P-valor		
	Sem	Com		0,0	4,0	8,0	12,0		AB	Si	AB x Si
MS	36,797	39,874	2,023	35,970	37,690	37,895	41,788	2,861	0,298	0,544	0,476
MM	2,815	2,247	0,542	3,775	1,985	2,371	1,995	0,766	0,469	0,333	0,589
PB	6,494	6,285	0,268	6,378	6,328	6,218	6,635	0,379	0,590	0,883	0,343
FDN	47,933	52,990	1,729	47,615	53,015	45,621	55,596	2,445	0,055	0,037	0,488
FDA	21,280	20,806	1,037	20,636	20,843	21,260	21,435	1,467	0,750	0,978	0,925
CEL	5,790	6,272	0,449	5,660	6,153	6,572	5,739	0,635	0,459	0,729	0,698
HEMI	29,411b	35,541a	1,888	29,788	35,380	26,835	37,963	2,671	0,036	0,036	0,675
LIG	3,905	3,600	0,399	4,418	4,418	3,545	3,668	0,564	0,596	0,588	0,759

MS- Matéria seca ; MM- matéria mineral; FDN- Fibra em detergente neutro; EPM: Erro padrão da média. *g/Kg matéria verde. ^bEPM, Erro padrão da média; ^cP-valor, Probabilidade de efeitos para *Azospirillum brasilense* (AB), Silício (Si) e interação AB com Si (ABxSi)

O gráfico (Figura 2) representa os valores da análise com Hemicelulose (%), onde observou-se uma tendência crescente na proporção de hemiceluloses em resposta ao aumento dos níveis de silício. A relação entre essas variáveis é modelada por uma curva de regressão, como expressa a curva de regressão dada pela equação $y=31.4875+0.0868x-0$. O coeficiente de determinação com valor de $R^2=0,51$ sugere uma correlação moderada entre a variável dependente (porcentagem de hemicelulose) e a variável independente (níveis de silício), indicando que aproximadamente 51% da variabilidade nos dados pode ser explicada pelo modelo.

No gráfico (figura 3) observa-se os valores para a análise com Fibra em detergente neutro (FDN) onde apresentou um padrão semelhante ao do gráfico A, com um aumento percentual na pasta em densa em resposta ao incremento nos níveis de silício. A relação entre essas variáveis é modelada pela linha de regressão descrita pela equação $y=49.117+0.4431x+0.0714x^2$. O coeficiente de determinação $R^2=0,54$ indica uma correlação moderada, sugerindo que cerca de 54% da variabilidade nos dados pode ser explicada pelo modelo.

Os resultados dos dois gráficos indicaram uma tendência de aumento percentual à medida que os níveis de silício também aumentaram, destacando que a aplicação de silício está associada a um aumento nos parâmetros analisados, evidenciando uma relação positiva, embora a força dessa correlação seja

moderada.

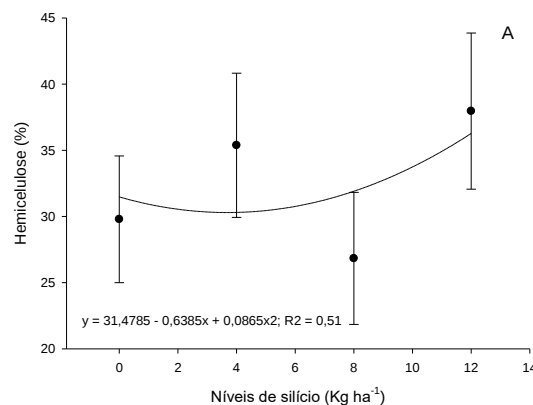


Figura 3- Valores da análise com Hemicelulose (%)

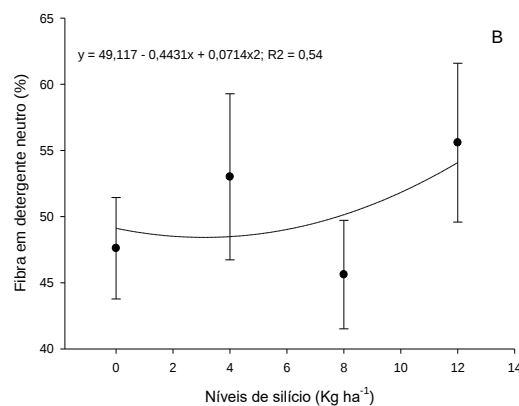


Figura 4- Valores para a análise com Fibra em detergente neutro (FDN)

3.4 Composição bromatológica de Macro e micronutrientes da planta e silagem do milho com espiga

Os teores médios de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), enxofre (S) e sódio (Na) não apresentam diferenças estatisticamente significativas em função da inoculação com *Azospirillum brasilense* ou das doses de silício, com exceção de alguns elementos na Tabela 6. A toxicidade varia de 1,57 a 1,62 g kg⁻¹ entre os tratamentos com e sem inoculação, e entre 1,62 e 1,81 g kg⁻¹ nas doses de silício. O fósforo manteve valores médios entre 1,76 e 1,80 g kg⁻¹ com inoculação, e entre 1,74 e 1,85 g kg⁻¹ em função do silício. O potássio apresenta-se relativamente constante, com valores de 5,09 a 5,86 g kg⁻¹, enquanto Ca, Mg, S e Na também não apresentam diferenças significativas em quase todos os tratamentos. Em contraste, o magnésio (Mg) e o ferro (Fe) apresentaram efeitos significativos do silício na Tabela 6, com aumento ou redução em resposta às doses aplicadas ($p = 0,0094$ para Mg e $p = 0,0066$ para Fe), porém que a adubação silicatada pode influenciar na absorção ou acumulação desses nutrientes. O efeito apresentado foi significativo para o fator silício ($p = 0,0435$), mas não para a inoculação ou interação.

Entre os micronutrientes, o boro (B) foi significativamente influenciado pela inoculação com *A. brasilense* ($p = 0,0141$), apresentando maior teor nas plantas inoculadas ($33,71 \text{ mg kg}^{-1}$) em comparação às não inoculadas ($28,10 \text{ mg kg}^{-1}$), indicando que a inoculação pode favorecer a absorção ou translocação deste nutriente. O manganês (Mn) não apresentou efeito isolado da inoculação ($p = 0,4314$), mas a interação entre inoculação e silício foi significativa ($p = 0,0383$), pois a resposta do Mn depende da combinação dos fatores aplicados. O cobre (Cu) e o zinco (Zn) não foram significativamente influenciados pela inoculação, mas o silício mostrou efeito significativo sobre o Zn ($p = 0,0008$), indicando potencial modulação da disponibilidade de micronutrientes pela adubação silicatada.

Tabela 5 - Composição macro e micronutriente da matéria fresca de espiga de milho fertirrigado com silício, sem e com a utilização de *A. brasilense*.

Variáveis	<i>A. brasilense</i>		EPM	Silício (kg ha ⁻¹)				EPM	P-valor		
	Sem	Com		0,0	4,0	8,0	12,0		AB	Si	AB x Si
Macronutrientes (g kg)											
Nitrogênio	1,79	1,57	0,147	1,62	1,73	1,81	1,56	0,208	0,2996	0,8444	0,3787
Fósforo	1,80	1,76	0,147	1,53	1,74	2,00	1,85	0,209	0,8788	0,4618	0,8788
Potássio	5,65	5,13	0,430	5,86	5,17	5,45	5,09	0,609	0,4108	0,8049	0,8590
Cálcio	1,06	0,88	0,119	0,98	0,88	1,13	0,90	0,168	0,3153	0,7147	0,4662
Magnésio	1,24	1,23	0,031	1,35	1,22	1,17	1,20	0,044	0,7015	0,0555	0,1359
Enxofre	0,89	1,06	0,195	0,48	0,94	1,23	1,26	0,275	0,5593	0,2065	0,749
Sódio	43,33	35,00	3,181	38,33	40,00	41,66	36,66	4,498	0,0852	0,8749	0,2554
Micronutrientes (mg kg)											
Boro	28,10b	33,71a	1,41	30,38	28,17	29,89	35,17	2,000	0,0141	0,1281	0,4685
Cobre	2,26	2,31	0,155	2,160	2,36	2,05	2,58	0,220	0,8438	0,3761	0,1758
Ferro	56,17	52,73	4,98	67,40	57,66	49,30	43,46	7,054	0,6333	0,1359	0,7194
Manganês	19,35	18,51	0,734	17,71	20,73	18,21	19,07	1,038	0,4314	0,2277	0,0383
Zinco	31,43	32,58	1,332	34,50	33,38	30,69	29,45	1,88	0,5544	0,2489	0,403

Períodos	Níveis de suplementação (%MS)				Média	P-Valor
	0,0	0,4	0,8	12,0		
	Mangânes					
Sem	19.790Aab	22.923Aa	16.640b	18.056ab	19,35	0.030
Com	15.630Ba	18.543B	19.786	20.083	18,51	0,131
Média	17,71	20,73	18,21	19,07		
P-Valor	0.048	0,039	0.126	0,314		

Tabela 6 - Composição macro e micronutriente da silagem de espiga fertirrigado com silício, sem e com a utilização de *A. brasilense*.

Variáveis	<i>A. brasilense</i>		EPM	Silício (kg ha ⁻¹)				EPM	P-valor		
	Sem	Com		0,0	4,0	8,0	12,0		AB	Si	AB x Si
Macronutrientes (g kg)											
Nitrogênio	1,03	1,00	0,028	1,02	1,01	0,99	1,06	0,040	0,4234	0,6930	0,0843
Fósforo	1,56	1,32	0,111	1,60	1,37	1,35	1,44	0,158	0,1582	0,6772	0,6311
Potássio	3,96	3,40	0,334	5,30	3,20	2,90	3,31	0,472	0,2538	0,0115	0,4814
Cálcio	1,83	1,66	0,115	1,96	1,73	1,51	1,76	0,163	0,3195	0,3279	0,0626
Magnésio	1,57	1,34	0,092	1,90	1,34	1,17	1,42	0,130	0,0932	0,0094	0,5813
Enxofre	0,82	0,48	0,230	1,31	0,47	0,48	0,34	0,326	0,3247	0,1814	0,3100
Sódio				36,66	30,00	25,00	28,33	2,616	0,9975	0,0435	0,2976
Micronutrientes (mg kg)											
Boro	38,99	36,10	2,95	41,47	30,49	31,55	46,67	4,176	0,5005	0,0433	0,4138
Cobre	4,34	3,83	0,201	4,63	3,71	3,96	4,05	0,285	0,0906	0,1853	0,4355
Ferro	122,45	106,91	16,094	199,24	89,22	92,27	77,99	22,761	0,5059	0,0066	0,5813
Manganês	12,94	10,48	1,000	16,47	11,03	9,19	10,14	1,415	0,1037	0,0117	0,8226
Zinco	40,27	32,63	3,242	58,22	28,97	27,89	30,73	4,585	0,1176	0,0008	0,1010

^bEPM, Erro padrão da média; ^cP-valor, Probabilidade de efeitos para *Azospirillum brasilense* (AB), Silício (Si) e interação AB com Si (AB×Si)

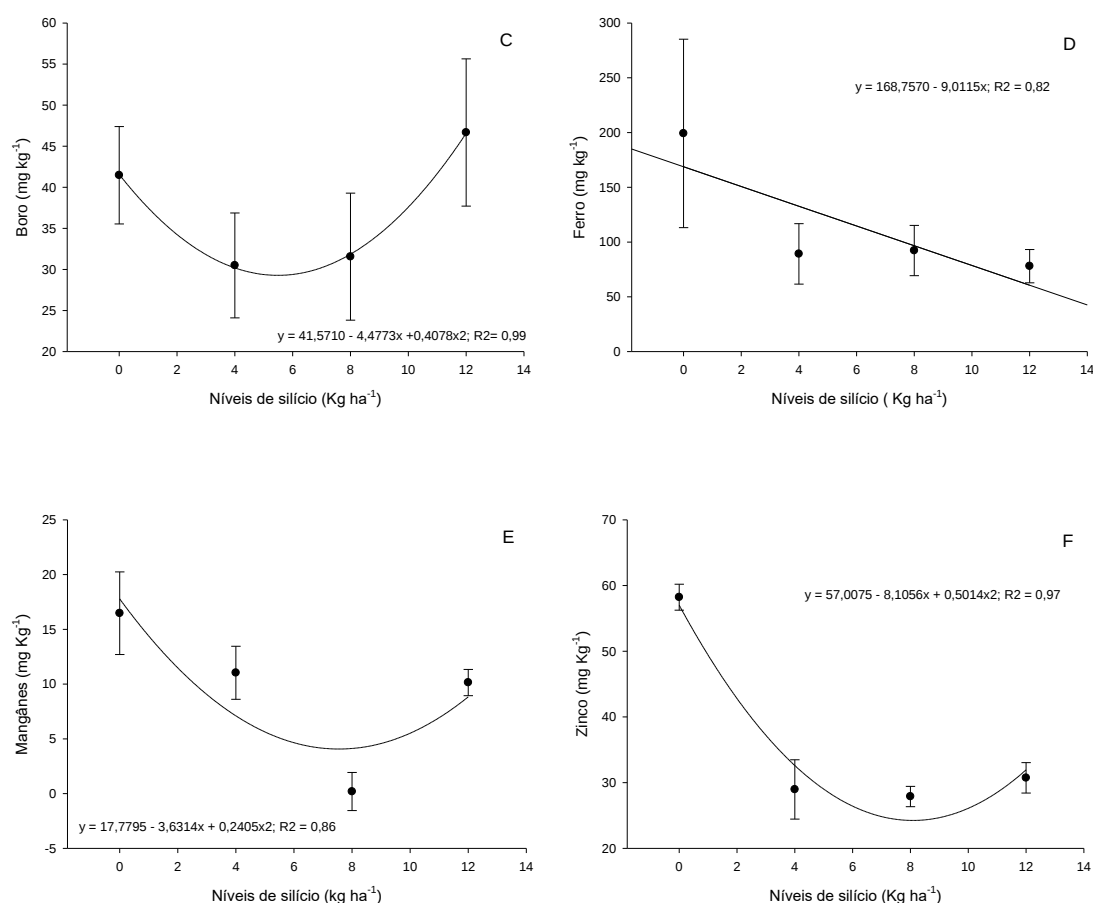


Figura 4- Relação entre as doses de silício aplicadas (kg ha⁻¹) e Magnésio (C) e Zinco (D) da silagem de milho com espiga.

3.5 Estabilidade

Todas as silagens mantiveram uma temperatura em torno de 25–26 °C durante os períodos avaliados, indicando que não houve aquecimento excessivo no cocho e que as condições de estabilidade aeróbia foram, em geral, mantidas. Tratamentos com inoculação (AB) e doses de silício não demonstraram aumento de temperatura maior do que os tratamentos sem inoculação, indicando que a associação dos insumos não favoreceu o crescimento aeróbio microbiano capaz de gerar aquecimento.

A linha referente à temperatura ambiente (T. AMB) mostra que a silagem ocorreu próxima dessa referência, reforçando que não houve ocorrência de aeróbia intensa.

Pequenas elevações acima da temperatura ambiente podem estar relacionadas aos processos naturais de respiração microbiana, mas esses aumentos foram limitados e semelhantes entre todos os tratamentos.

Não se observa padrão claro de diferença entre doses de silício (0, 4, 8 e 12 kg ha⁻¹) ou presença de *A. brasilense*. Isso sugere que, sob as condições do experimento, a adição de silício ou a inoculação não afetaram a estabilidade térmica da silagem, corroborando os resultados de estabilidade aeróbia descritos anteriormente.

A silagem de milho, independentemente da dose de silício ou da inoculação com *A. brasilense*, manteve a temperatura estável próxima ao ambiente, diminuindo boa estabilidade aeróbia e ausência de interrupções significativas durante o período de monitoramento.

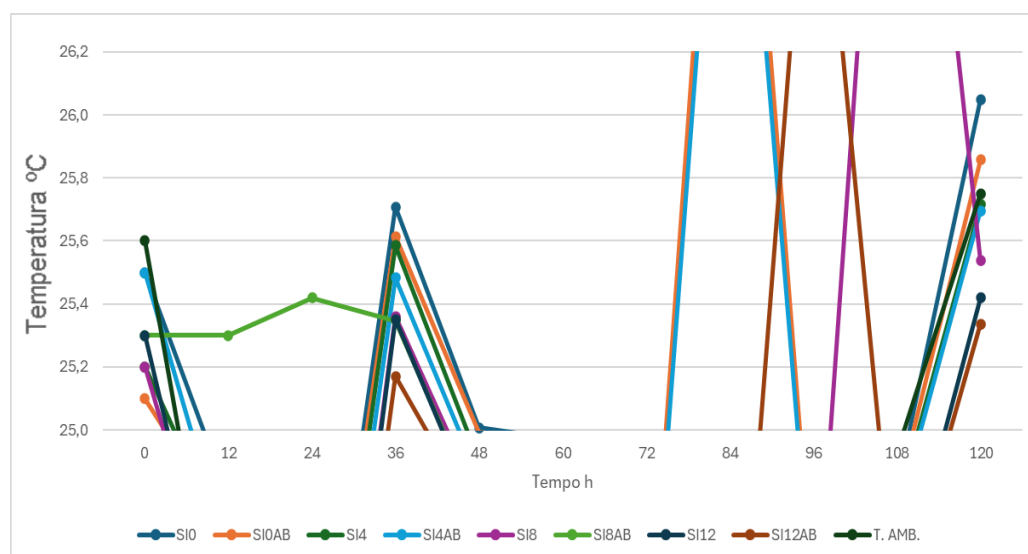


Figura 5- Estabilidade aeróbia das silagens de espiga de milho fertirrigado com silício, sem e com a utilização de *A. brasilense*.

4 DISCUSSÃO

4.1 Perfil fermentativo , perdas e recuperação de matéria seca

Os resultados obtidos indicam que a inoculação com *Azospirillum brasilense* e a aplicação de silício não influenciaram significativamente a maioria das variáveis de qualidade da silagem de espiga de milho, incluindo perdas por efluentes, perdas por gases, recuperação de matéria seca, pH e capacidade. Esses achados sugerem que, independentemente do tratamento, o processo fermentativo manteve-se estável, e a preservação da matéria seca foi eficiente, caracterizando uma silagem de boa qualidade.

As perdas por efluentes e por gases mantiveram-se dentro de faixas típicas para silagens de milho, diminuindo a ausência de manipulação excessiva da matéria orgânica, mesmo com a adição de silício ou inoculação bacteriana. A recuperação elevada da matéria seca (85–91%) reforça a eficácia da conservação da forragem e a manutenção da densidade nutricional, enquanto os valores obtidos de pH ($\approx 4,2$) e a baixa capacidade de nutrição corroboram a rápida acidificação necessária para inibir microrganismos indesejáveis durante a fermentação.

A redução significativa do nitrogênio amoniacal em silagens inoculadas com *A. brasilense* sugere efeito positivo na preservação proteica, possivelmente devido à maior assimilação de nitrogênio pela planta ou à produção de metabólitos que inibem microrganismos proteolíticos durante a fermentação. Esses resultados reforçam a ideia de que, mesmo sem alterar as configurações fermentativas gerais, a inoculação contribui para aumentar o valor nutricional da silagem.

Esses resultados são alinhados com a literatura sobre snaplage, que indica que o ponto de colheita da espiga é crítico para a qualidade da silagem. A snaplage, colhida geralmente no estágio de camada preta, apresenta matéria seca elevada (650–700 g/kg) e composição equilibrada entre fibra e amido, favorecendo a estabilidade estável (Akins & Shaver, 2014; Ferraretto et al., 2018). A manutenção da matéria seca e o baixo nível de perdas observadas nos tratamentos com *A. brasilense* e silício indicam que o manejo adotado garantiu boa compactação e produção adequada, minimizando riscos típicos da silagem de espiga, como variações no rendimento e instabilidade aeróbia.

Resultados semelhantes foram encontrados por Pereira et al. (2021), que também não observaram efeito da inoculação com *A. brasilense* sobre as perdas por efluentes em silagens de milho. Skonieski et al. (2017) relataram que a inoculação com *A. brasilense* não alterou significativamente as perdas por gases em silagens de milho, corroborando os resultados do presente estudo.

Em seu experimento Pereira et al. (2021) também observaram valores elevados de recuperação de matéria seca em silagens de milho inoculadas com *A. brasilense*, indicando eficiência no processo de ensilagem.

Embora Pereira et al. (2021) tenham observado que a inoculação com *A. brasilense* aumentou a Capacidade Tampão do material ensilado, mas não o suficiente para comprometer a fermentação, mantendo o pH dentro da faixa adequada conservação.

Apesar desse incremento, os teores permaneceram dentro da faixa considerada indicativa de silagens bem preservadas, sugerindo que a fermentação proteica foi controlada e não comprometeu a qualidade nutricional do material. Skonieski et al. (2017) também observaram que a inoculação com *A. brasilense* não comprometeu a qualidade fermentativa da silagem, mantendo os teores de N-NH_3 dentro dos limites aceitáveis.

4.2 População microbiana

Os dados indicam que a inoculação com *Azospirillum brasilense* não afetou significativamente as populações de bactérias ácido-láticas (BAL) e mofo, corroborando estudos que apontam que a ação direta de *A. brasilense* sobre a microbiota da silagem é limitada, ocorrendo principalmente na promoção do crescimento vegetal e composição química da planta antes da ensilagem (Oliveira et al., 2021; Skonieski et al., 2017).

Essa estabilidade microbiana sugere que os processos fermentativos lácticos se mantenham dominantes, preservando a qualidade da silagem mesmo sem influência direta da bactéria. Em contrapartida, o silício apresentou efeito significativo sobre as leveduras (LEV), exibindo comportamento quadrático, com aumento das contagens até a dose de 8 kg ha^{-1} e redução acentuada em 12 kg ha^{-1} . O incremento inicial pode ser explicado pela maior disponibilidade de substratos solúveis, incluindo carboidratos residuais, criados pelo aumento da eficiência fisiológica da planta promovida pelo silício (Oliveira et al., 2021; Skonieski et al., 2017). A dose intermédia de Si favoreceu as condições ambientais propícias à multiplicação das previsões, refletindo a interação entre alterações químicas da forragem e a dinâmica microbiana durante a interferência.

A redução observada na dose mais elevada (12 kg ha^{-1}) indica efeito inibitório do silício sobre o crescimento microbiano, possivelmente por limitações enzimáticas ou alterações na composição da silagem que dificultam a atividade das leveduras (Pereira et al., 2021). Este efeito é relevante do ponto de vista prático, pois o controle das leveduras contribui para a estabilidade aeróbia da silagem, minimizando aquecimento, liberação e perdas nutricionais, sem comprometer a introdução láctica dominante (Barbosa et al., 2011; Camargo et al., 2022).

Esses resultados complementam as informações da literatura sobre snaplage, na qual a compactação adequada e a fragmentação do grão e do sabugo são determinantes para o controle microbiológico. O efeito inibitório de doses elevadas de silício sobre fermentos reforça a importância de práticas que minimizem o aquecimento e os limites aeróbios, garantindo a estabilidade fermentativa mesmo em silagens compostas predominantemente por espigas (Ferraretto et al., 2018; Pioneer, 2012).

Doses intermediárias de silício podem ter favorecido condições mais propícias ao desenvolvimento das leveduras, seja por efeitos indiretos sobre a disponibilidade de substratos residuais de carboidratos ou pela modificação do ambiente fermentativo. Oliveira et al. (2021), ao avaliarem silagens de milho e soja sob inoculação com *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada, também observaram que variações nos teores de carboidratos solúveis e na composição físico-química da massa ensilada influenciaram indiretamente a dinâmica microbiana, incluindo leveduras, sem que houvesse

efeito direto da inoculação, reforçando que o silício pode agir indiretamente, alterando o ambiente fermentativo. Skonieski et al. (2017), verificaram maior concentração de carboidratos não fibrosos (NFC) em silagens de milho inoculadas com *A. brasilense*. Esses compostos, quando presentes em quantidades moderadas, podem favorecer a multiplicação de leveduras no início da fermentação.

Pereira et al. (2021) relataram que doses elevadas de silício reduziram a atividade enzimática da população microbiana, o que poderia limitar o crescimento de leveduras. Além disso, Barbosa et al. (2011) destacaram que populações elevadas de leveduras estão diretamente associadas à deterioração aeróbia da silagem, sendo que práticas que reduzem sua incidência contribuem para a estabilidade e qualidade do produto final. A dose de 12 kg ha⁻¹ de silício pode ser considerada estratégica para o controle de leveduras, minimizando perdas por aquecimento e deterioração, sem comprometer a fermentação láctica dominante, conforme observado também por Camargo et al. (2022) em estudos com silagens de milho sob inoculação com *A. brasilense*.

Dessa forma, os resultados reforçam que o silício pode afetar negativamente a microbiota da silagem, modulando o crescimento de resultados e, conseqüentemente, a qualidade e estabilidade do produto final, enquanto a inoculação com *A. brasilense* mantém seu efeito principalmente na fisiologia e composição química da planta, sem impacto direto sobre BAL e mofo.

4.3 Composição bromatológica

Os resultados encontrados demonstram que a matéria seca (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina (LIG) não foram significativamente influenciadas nem pela inoculação com *Azospirillum brasilense* nem pelas doses de silício, evidenciando que essas variáveis permanecem relativamente moderadas independentemente da aplicação desses insumos. A estabilidade do MS, mesmo com doses crescentes de silício, corrobora resultados de Oliveira et al. (2021), que observam variações numéricas sem significância estatística em silagens de milho propostas à adubação silicatada e inoculação bacteriana, diminuindo que o efeito de Si sobre a retenção de água ou o teor seco pode ser modesto em condições de cultivo adequado.

Em contrapartida, a fibra em detergente neutro (FDN) apresentou efeito significativo do silício ($p = 0,037$), com aumento da proporção de fibras em resposta às doses mais elevadas. Este comportamento sugere que a aplicação de silício pode influenciar a composição de componentes estruturais na parede celular, promovendo maior acúmulo de fibras não solúveis (Chinnadurai et al., 2023; Ning et al., 2023). O efeito positivo do silício sobre a FDN é compatível com a literatura, que descreve a ação do Si no fortalecimento da parede celular e aumento do teor de celulose e hemicelulose, conferindo maior resistência mecânica à planta (Jadhao & Rout, 2020).

A hemicelulose (HEMI) apresentou efeito significativo tanto para inoculação quanto para silício ($p = 0,036$). Observou-se que a inoculação com *A. brasilense* resultou em maior proporção de hemicelulose (35.541%), enquanto o menor valor foi registrado na ausência de inoculação (29.411%). Esse incremento pode ser atribuído à capacidade do microrganismo de estimular o crescimento radicular

e a absorção de nutrientes, promovendo maior síntese de carboidratos estruturais na planta (Bashan & De-Bashan, 2010; Fukami et al., 2018). Já em relação ao silício, a dose de 12 kg ha⁻¹ apresentou o maior valor de hemicelulose (37.963%), reforçando o papel do Si no aumento da composição estrutural da parede celular e na rigidez mecânica das plantas de milho (Chinnadurai et al., 2023).

Esses efeitos refletem o papel do silício na tensão estrutural da parede celular e das bactérias no estímulo ao crescimento radicular e à síntese de carboidratos estruturais (Bashan & De-Bashan, 2010; Chinnadurai et al., 2023; Fukami et al., 2018). Uma presença equilibrada de fibras e carboidratos estruturais é compatível com as recomendações de manejo do snaplage, que busca maximizar a digestibilidade e o valor energético sem comprometer a compactação e a fermentação (Ferraretto et al., 2018). O incremento moderado de FDN e hemicelulose pode contribuir para maior resistência mecânica da silagem e redução de perdas por exsudato ou restrição aeróbia, reforçando que o uso combinado de *A. brasilense* e silício atua de forma complementar na melhoria das características físicas e nutricionais da espiga de milho.

A análise gráfica (Figuras 2 e 3) evidenciou uma relação moderadamente positiva entre as doses de silício e as interrupções FDN e hemicelulose, com coeficientes de determinação $R^2 = 0,54$ e $R^2 = 0,51$, respectivamente. Esses resultados indicam que aproximadamente metade da variação observada nesses componentes estruturais pode ser explicada pela aplicação de silício, destacando uma tendência clara de incremento da fração fibrosa à medida que os níveis de Si aumentam. Embora a apresentação seja moderada, esses efeitos podem ser relevantes para a qualidade da silagem, pois fibras bem equilibradas para a digestibilidade e estabilidade fermentativa do material ensilado (Ferraretto et al., 2018; Barbosa et al., 2011).

De modo geral, os achados sugerem que a inoculação com *A. brasilense* e a aplicação de silício podem afetar negativamente a composição química da silagem de milho, principalmente sobre os componentes estruturais (FDN e hemicelulose), enquanto as frações não estruturais, como PB e MM, permanecem remanescentes. Esses resultados reforçam o potencial do uso combinado de bioinsumos e adubação silicatada para melhorar as características físicas da planta, que podem impactar positivamente o valor nutricional e a degradação da silagem (Oliveira et al., 2021; Skonieski et al., 2017).

A inoculação com *Azospirillum brasilense* contribuiu para o aumento do MS, refletindo melhor aproveitamento da matéria vegetal e menor umidade, o que favorece a fermentação láctica e reduz as perdas durante o armazenamento. Esse efeito pode ser direcionado à atuação de bactérias promotoras de crescimento na maior absorção de nutrientes e na melhoria do metabolismo da planta, o que resulta em espigas mais densas e nutritivas no momento da ensilagem.

A aplicação de silício, por sua vez, potencializou a resistência estrutural dos tecidos vegetais e impediu a interferência aeróbia após a abertura dos silos. Tal comportamento indica que o silício pode atuar indiretamente na manutenção da estabilidade aeróbia, retardando a manutenção de microrganismos deterioradores como leveduras e fungos, que se desenvolvem na presença de oxigênio. Consequentemente, as silagens tratadas com silício contêm menores perdas de matéria seca e melhor conservação das frações fibrosas e proteicas, garantindo maior valor nutricional ao longo do período de

exposição ao ar.

4.4 Composição bromatológica de Macro e micronutrientes da planta e silagem

Os resultados obtidos para os macronutrientes indicam que a inoculação com *A. brasilense* e a aplicação de silício não promoveram alterações consistentes na concentração de N, P, K, Ca, S e Na na silagem de espiga de milho. Esse comportamento sugere que, sob as condições do experimento, a absorção desses nutrientes foi relativamente estável e não dependente diretamente da adição dos bioinsumos ou da adubação silicatada. Estudos anteriores apontam que o efeito dos inoculantes fixadores de nitrogênio sobre a composição mineral do milho pode ser mais evidente em solos com baixa fertilidade ou deficiência específica de N, P ou K, enquanto em solos com adubação balanceada, os efeitos tendem a ser sutis (Fukami et al., 2018; Galindo et al., 2024).

Em contrapartida, alguns micronutrientes apresentaram respostas significativas. O boro foi beneficiado pela inoculação com *A. brasilense*, evidenciando maior teor nas plantas inoculadas. Esse efeito pode ser atribuído à maior eficiência radicular e à intensificação da absorção de nutrientes mediada por auxinas e outros metabólitos produzidos pelas bactérias, conforme relatado por Bashan e de-Bashan (2010). A disponibilidade de B é crítica para processos como alongamento celular e formação de tecidos vegetativos, e a elevação de seus teores sugere que a inoculação pode melhorar a qualidade estrutural e metabólica da planta.

O manganês apresentou efeito significativo na interação entre inoculação e silício, diminuindo que a resposta desse micronutriente depende da combinação dos dois fatores. Este achado sugere que o silício pode modular a absorção ou a translocação de Mn em plantas com raízes estimuladas por *A. brasilense*, possivelmente através de alterações na expressão de transportadores ou no equilíbrio redox radicular (Ning et al., 2023).

Além disso, o silício mostrou efeito significativo sobre ferro, magnésio e zinco, corroborando estudos que indicam que esse elemento funcional pode aumentar a eficiência na compreensão de micronutrientes essenciais, mesmo sem ser considerado nutricionalmente essencial. A aplicação de silício tem sido associada à maior integridade da parede celular, melhor desenvolvimento radicular e aumento na disponibilidade de cátions divalentes e trivalentes, como Fe^{2+} , Mg^{2+} e Zn^{2+} (Chinnadurai et al., 2023; Jadhav e Rout, 2020).

Embora os macronutrientes tenham resultados permanentes, uma resposta selecionada de certos micronutrientes evidencia que bioinsumos e eficiência de forma complementar, promovendo aspectos nutricionais específicos da planta que podem afetar a qualidade da silagem. Este efeito é particularmente relevante para o B, Mn, Fe, Mg e Zn, elementos envolvidos em processos fisiológicos-chave, como fotossíntese, síntese de proteínas e tolerância a estresses abióticos, que podem influenciar a eficiência do crescimento e o valor nutricional da silagem para ruminantes (Heliyon, 2024; Silva et al., 2023).

Por fim, os resultados reforçam que a interação entre inoculantes e silício pode ser explorada estrategicamente para micronutrientes modulares essenciais, mesmo quando os macronutrientes

permanecem inalterados. Esse padrão sugere que uma aplicação integrada desses insumos pode melhorar a qualidade da silagem e contribuir para a sustentabilidade de sistemas agrícolas intensivos, aumentando o aproveitamento de nutrientes e a eficiência produtiva sem depender exclusivamente de fertilizantes eficientes.

5 CONCLUSÃO

A silagem produzida apenas com espiga de milho apresentou alto potencial nutricional e fermentativo, sendo favorecida tanto pela inoculação com *Azospirillum brasilense* quanto pela aplicação de silício. A inoculação promoveu maior teor de matéria seca e proteína bruta, proporcionando melhor aproveitamento dos nutrientes e maior eficiência fermentativa. Já a aplicação de silício contribuiu para a integridade estrutural da planta e melhoria da composição mineral, especialmente nos teores de cálcio, magnésio e zinco. Assim, a associação de *A. brasilense* e silício se mostrou uma estratégia promissora para melhorar o valor nutricional e a qualidade de conservação da silagem da espiga de milho.

REFERÊNCIAS:

AESA. (2024). Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba.
<http://www.aesa.pb.gov.br/>.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C. et al. Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. *Meteorologische zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013

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

AOAC. Official methods of analysis of AOAC International. 20th ed. (Association of Official Analytical Chemists), Ed., Latimer Jr., GW. Washington (D.C.). 3100 p, 2016.

AOAC. Official methods of analysis of AOAC International. 20th ed. (Association of Official Analytical Chemists), Ed., Latimer Jr., GW. Washington (D.C.). 3100 p, 2016.

AKINS, MS; SHAVER, RD Efeito da snaplage de milho no desempenho da lactação de vacas leiteiras. **The Professional Animal Scientist** , v. 30, n. 1, p. 86-92, 2014.

BAKHAT, H. F.; BIBI, N.; ZIA, Z.; ABBAS, S.; HAMMAD, H. M.; FAHAD, S.; ASHARAF, M. R.; SHAH, G. M.; RABBANI, F.; SAEED, S. Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: A review. *Crop Protection*, v. 104, n. March, p. 21–34, 2018. DOI: 10.1016/j.cropro.2017.10.008.

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* Growth Stages. *Plants*, v. 12, n. 12, p. 2386, 2023.

BORGES E SILVA, Luciana; BUSO, Wilian Henrique Diniz. Performance of corn hybrids in two locations in the northern Goiás. 2022.

BRABANDER, DL et al. Avaliação da estrutura física de beterrabas forrageiras, batatas, polpa de beterraba prensada, grãos de cerveja e silagem de sabugo de milho. **Journal of dairy science** , v. 82, n. 1, p. 110-121, 1999.

BRITO, A. A.; SILVEIRA, M. V.; ARÁUJO, É. O.; SILVA, J. W. F. Características agronômicas de híbridos de milho silageiros cultivados na região sul de Rondônia. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, Curitiba, v.7, n.4, p. 1-16, 2024. DOI: 10.34188/bjaerv7n4-127

CASSÁN, F. D.; GARCIA DE SALAMONE, I. *Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Argentina: **Asociación Argentina de Microbiología**, 2008. 80 p.

CHINNADURAI, K. et al. Effect of silicon and biostimulant on fall armyworm infestation in maize. *Journal of Plant Protection Research*, v. 63, n. 4, p. 410–419, 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2023/24. Brasília, v. 11, n. 8, p. 1-38, abr. 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 01 jun. 2025.

SENGER, C. C. D, MÜHLBACH, P. R. F, SÁNCHEZ, L. M. B, NETTO, D. P E LIMA, L. D. D. Composição química e digestibilidade in vitro de silagens de milho com distintos teores de umidade e níveis de compactação. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1393-1399, nov./dez. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000600026>

ERENSTEIN, O.; JALETA, M.; SONDER, K.; MOTTALeb, K.; PRASANNA, B. M. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. *Agronomy for Sustainable Development*, [S. l.], v. 42, n. 3, p. 1–14, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00756-2>.

FASOLO, D. J.; CARVALHO, A. F. G. Uso de diferentes inoculantes bacterianos isolados e em associação para silagem de milho. *Revista Técnico-Científica do CREA-PR, Edição Especial*, p. 1-20, set. 2021. Disponível em: *Revista Técnico-Científica do CREA-PR*. Acesso em: 01 jun. 2025.

FERRARETTO, LF; SHAVER, RD; LUCK, BD Revisão de silagem: Avanços recentes e tecnologias futuras para colheita de silagem de milho fracionada e de planta inteira. *Journal of dairy science* , v. 101, n. 5, p. 3937-3951, 2018.

Fukami, J., Nogueira, M. A., Araujo, R. S., & Hungria, M. (2016). Accessing inoculation methods of maize and wheat with *Azospirillum brasilense*. *AMB Express*, 6, 1–13.
<https://doi.org/10.1186/s13568-015-0171-y>

FUKAMI, J.; CEREZINI, P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. *Amb Express*, v. 8, n. 1, p. 73, 2018.

FLORES, Rilner Alves et al. The Role of Silicon in Forage Nutrition. In: **Nutrition and fertilization of forage grasses**. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025. p. 201-215.

GALINDO, F. S. et al. Impact of nitrogen fertilizer sustainability on corn crop yield: the role of beneficial microbial inoculation interactions. *BMC Plant Biology*, v. 24, n. 1, p. 94, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04789-9>.

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; SANTINI, J. M. K.; ALVES, C. J.; NOGUEIRA, L. M.; LUDKIEWICZ, M. G. Z.; ANDREOTTI, M.; BELLOTTE, J. L. M. Corn yield and foliar diagnosis affected by nitrogen fertilization and inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 40, 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2017000900012.

GAUR, S.; KUMAR, J.; KUMAR, D.; CHAUHAN, D. K.; PRASAD, S. M.; SRIVASTAVA, P. K. Fascinating impact of silicon and silicon transporters in plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 202, n. March, p. 110885, 2020. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.110885.

GONZÁLEZ, G.; RODRÍGUEZ, A.A. Effect of Storage Method on Fermentation Characteristics, Aerobic Stability, and Forage Intake of Tropical Grasses Ensiled in Round Bales. *Journal Dairy Science*, v. 86, p. 926–933, 2003.

GUO, E.; ZHANG, J.; WANG, Y.; ALU, S.; WANG, R.; LI, D.; HA, S. Assessing non linear variation of temperature and precipitation for different growth periods of maize and their impacts on phenology in the Midwest of Jim province, China. *Theoretical and Applied Climatology*, Berlim, v. 126, p.1-15, 2017.

HELIYON. Revitalizing maize growth and yield in water-limited environments through silicon and zinc foliar applications. *Heliyon*, v. 10, n. 2, e23908, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e23908>.

HUNGRIA, M. et al. Improving maize sustainability with partial replacement of N fertilizers by inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Agronomy Journal*, v. 115, n. 4, e20291, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.20291>.

HUNGRIA, M.; RIBEIRO, R. A.; NOGUEIRA, M. A. Draft genome sequences of *Azospirillum brasilense* strains Ab-V5 and Ab-V6, commercially used in inoculants for grasses and legumes in

Brazil. Microbiology Resource Announcements, v. 6, n. 20, e00393-18, 2018. DOI: 10.1128/MRA.00393-18.

JANINI, M. A.; CRUCIOL, G. C.; CATALANI, G.; PERSEGIL, E. O.; BARROS, L. M. Doses crescentes de fertilizante mineral no tratamento de sementes de milho. Enciclopédia Biosfera, v. 19, n. 40, 2022.

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.

KALAC, P. Effects of forage feeding on milk. República Tcheca: Elsevier Science, 2017. Disponível em: Perlego e Elsevier. Acesso em: 01 jun. 2025.

KELLER, Magdalena et al. Efeitos sobre o desempenho, a carcaça e a qualidade da carne da substituição da silagem e do concentrado de milho por silagem de capim e mistura de sabugo de milho na dieta de touros em crescimento. Meat Science , v. 188, p. 108795, 2022.

KUNG, L., SHAVER, R. D., GRANT, R. J., & SCHMIDT, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. Journal of Dairy Science, 101(5), 4020–4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>

LANA, R. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; SILVA, A. F.; LANA, A. M. Q. Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro. Bioscience Journal, v. 19, p. 15-20, 2003.

LIANG, YC, SUN, WC, SI, J. E RÖMHELD, V. Efeitos do silício aplicado via foliar e radicular no aumento da resistência induzida ao oídio em *Cucumis sativus* . Plant Pathology, 54: 678-685, 2005.

LIMA, J.A. et al. (2007). Composição química da silagem de plantas de milho com e sem espigas. B. Ind. Anim., 64(3), 207–212.

LIMA, Mateus de Leles et al. Silicon as a Strategy to Mitigate Abiotic Stresses and Improve Physiological Performance and Grain Yield of Maize Grown Under Tropical Climate Conditions. **Plants**, v. 14, n. 17, p. 2755, 2025.

LYNCH, JP; O'KIELY, P.; DOYLE, EM Características de produtividade, qualidade e ensilagem do milho integral e dos componentes espiga e palha: data de colheita e efeitos híbridos. Grass and Forage Science , v. 67, n. 4, p. 472-487, 2012.

MENEZES, R. A.; MENEZES, G. L.; OLIVEIRA, A. F.; PIRES, F. P. A. A.; JAYME, D. G. Efeito do uso de inoculantes microbianos sobre a qualidade de silagem de milho e o desempenho animal. Nutritime, v. 18, n. 5, 2021.

MIRANDA, R. A. Uma história de sucesso da civilização. A Granja, v. 74, n. 829, p. 24-27, 2018. Disponível em: <https://edcentaurus.com.br/agranja/edicao/829/materia/8972>.

MORAIS, M. G. et al. Inoculação na ensilagem de parte aérea e espiga de milho, submetidas à geada. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, Salvador, v. 13, n. 3, p. 619–628, 2012. Disponível em: <<http://www.rbspa.ufba.br>>. Acesso em: 9 jun. 2025.

MUCK, R. E., NADEAU, E. M. G., MCALLISTER, T. A., CONTRERAS-GOVEA, F. E., SANTOS, M. C., KUNG JR, L. Recent advances and future uses of silage additives. **Journal of dairy science**, v. 101, n. 5, p. 3980-4000, 2018.

MUMBACH, G. L.; KOTOWSKI, I. E.; SCHNEIDER, F. J. A.; MALLMANN, M. S.; BONFADA, É. B.; PORTELA, V. O.; BONFADA, É. B.; KAISER, D. R. Resposta da inoculação com *Azospirillum brasilense* nas culturas de trigo e de milho safrinha. *Revista Scientia Agraria*, v. 18, n. 2, p. 97-103, abr./jun. 2017.

MUMBACH, G. L.; KOTOWSKI, I. E.; SCHNEIDER, F. J. A.; MALLMANN, M. S.; BONFADA, É. B.; PORTELA, V. O.; BONFADA, É. B.; KAISER, D. R. Resposta da inoculação com *Azospirillum brasilense* nas culturas de trigo e de milho safrinha. *Revista Scientia Agraria*, v. 18, n. 2, p. 97-103, abr./jun. 2017.

NING, D.; ZHANG, Y.; LI, X.; QIN, A.; HUANG, C.; FU, Y.; GAO, Y.; DUAN, A. The effects of foliar supplementation of silicon on physiological and biochemical responses of winter wheat to drought stress during different growth stages. *Plants*, Basel, v. 12, n. 12, p. 2386, 20 jun. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12122386>

PAULA, T. A. et al. Produção de silagem: aspectos agrônômicos e valor nutricional em regiões semiáridas - revisão sistemática, *Arquivos do Mudi*, v.25, n.2, p.127-154, 2021.

PEREIRA JÚNIOR, P.; REZENDE, P. M.; MALFITANO, S. C.; LIMA, R. K.; CORRÊA, L. V. C.; CARVALHO, E. R. Efeito de doses de silício sobre a produtividade e características agrônômicas da soja (*Glycine max*). *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 34, n. 4, p. 908-913, jul./ago. 2010. DOI: 10.1590/S1413-70542010000400016.

PULZ, A. L.; CRUSCIOL, C. A. C.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 1651-1659, 2008.

Rondina, A. B. L., Sanzovo, A. W. S., Guimarães, G. S., Wendling, J. R., Nogueira, M. A., & Hungria, M. (2020). Changes in root morphological traits in soybean co-inoculated with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense* or treated with *A. brasilense* exudates. *Biology and Fertility of Soils*, 56, 537–549. <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01453-0>

ROSA, J. M. Silicato e calcário para o capim-ipyporã submetido ao regime hídrico controlado: características agrônômicas e enzimáticas. 2020. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2020.

Santos, M. S., Nogueira, M. A., & Hungria, M. (2021). 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. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 45, e0200128. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20200128>

SAS, Sas/Stat University User Guide. Sas Institute Inc, Cary (NC) 2015.

SCHELER, E. D.; CAVICHIOLO, F. A. Viabilidade de silagem de milho para o gado leiteiro. *Revista Interface Tecnológica*, Taquaritinga, v. 18, n. 1, p. 265–275, 2021. DOI: 10.31510/inf.v18i1.1095. Disponível em: *Revista Interface Tecnológica*. Acesso em: 01 jun. 2025.

SILVA, A. C. et al. Silicon application methods influence the nutrient uptake of maize plants in tropical soil. *Journal of Plant Nutrition*, v. 46, n. 2, p. 285–297, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2153307>.

TAYLOR, C. C.; KUNG, L. The Effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 on the Fermentation and Aerobic Stability of High Moisture Corn in Laboratory Silos. *Journal of Dairy Science*, v. 85, n. 6, p. 1526–1532, 2002. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74222-7](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74222-7)

TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; BENETT, C. G. S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 45, p. 797-804, 2010. DOI: 10.1590/S0100-204X2010000800004.

USDA. United States Department of Agriculture. World Agricultural Production. EUA, 2021.

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.

YANG, H.; GRASSINI, P.; CASSMAN, K.G.; AIKEN, R.M. Improvements to the Hybrid-Maize model for simulating maize yields in harsh rainfed environments. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 204, p.180-190, 2017.

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Animal Science*, v.74, p.3583-3597, 1991.

BARBOSA, L. A., REZENDE, A. V., RABELO, C. H., RABELO, F. H., NOGUEIRA, D. A. Estabilidade aeróbia de silagens de milho e soja exclusivas ou associadas. **Ars vet**, p. 255-262, 2011.

CAMARGO, K. C, CASTRO, B., MENEZES M, L., LOPES, M. M. Inoculação com *Azospirillum brasilense* para produção de milho para silagem. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 11, n. 3, pág. e6611326165-e6611326165, 2022.

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, W. L.; FERNANDES, G. C.; BOLETA, E. H. M.; NETO, M. B.; BIAGINI, A. L. C.; BARATELLA, E. B.; SOUZA, J. S. Nitrogen rates associated with the inoculation of *Azospirillum brasilense* and application of Si: effects on micronutrients and silicon concentration in irrigated corn. **Open Agriculture**, v. 3, p. 510-523, 2018.

KUNG, L. JR., SHAVER, R. D., GRANT, R. J., SCHMIDT, R. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 4020-4033, 2018.

MUCK, R. E., NADEAU, E. M. G., MCALLISTER, T. A., CONTRERAS-GOVEA, F. E., SANTOS, M. C., KUNG, L. JR. Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. **Journal of dairy science**, v. 101, n. 5, p. 3980-4000, 2018.

OLIVEIRA, J. F. A, JAKELAITIS, A., CABRAL FILHO, S. L. S, SILVA, C. J. D, GUIMARÃES, K. C, PEREIRA, L. S, OLIVEIRA, G. S. D. Qualidade da silagem do consórcio entre milho e soja manejado com inoculante *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 22, p. e2122092021, 2021.

PELLOSO, M. F.; VIDIGAL FILHO, P. S.; SCAPIM, C. A.; ORTIZ, A. H. T.; NUMOTO, A. Y.; FREITAS, I. R. M. The inoculation of seeds with *Azospirillum brasilense* and nitrogen fertilization management on the agronomic performance and chemical quality of baby corn. **Heliyon**, v. 9, e14618, 2023.

PEREIRA, S. N, VIÉGAS, J. L, TONIN, T. J, DOTTO, L. R, MORO, G., COSTA, L. L D, ROCHA, L. T. D. Effect of inoculation of corn seeds with *Azospirillum brasilense* on grain and fodder production. **Boletim de Indústria Animal**, v. 78, p. 1-13, 2021.

SANTANA, I. A.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; MONÇÃO, F. P.; SAMPAIO RIGUEIRA, J. P.; ROCHA JÚNIOR, V. R.; PARRELLA, R. A. C.; VIEIRA, E. M.; GOMES, M. L. R.; LEAL, D. B.; LIMA, R. P. Yield and nutritional value of sorghum genotype silages using *Azospirillum brasilense* in the northern region of Minas Gerais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 43, n. 4, p. 1721-1736, 2022.

SKONIESKI, F. R, VIÉGAS, J., MARTIN, T. N, NÖRNBERG, J. L, MEINERZ, G. R, TONIN, T. J, FRATA, M. T. Efeito da inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* e das doses de adubação nitrogenada na produtividade e na qualidade da silagem de milho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, n. 9, p. 722-730, 2017.

COSTA, R. F., PIRES, D. A. D. A., MOURA, M. M. A., SALES, E. C. J. D., RODRIGUES, J. A. S., & RIGUEIRA, J. P. S. Agronomic characteristics of sorghum genotypes and nutritional values of silage. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 38, n. 2, p. 127-133, 2016.

GALINDO, F. S.; PAGLIARI, P. H.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, W. L.; SANTINI, J. M. K.; BOLETA, E. H. M.; ROSA, P. A. L.; NOGUEIRA, T. A. R.; LAZARINI, E.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Can silicon applied to correct soil acidity in combination with *Azospirillum brasilense* inoculation improve nitrogen use efficiency in maize? *PLOS ONE*, v. 15, n. 4, e0230954, 2020.

PERES, M. S.; MAIA, M. S.; VOLCHEISKI, R. R.; CARVALHO, E. R.; XAVIER, L. O.; CAIRES, B. C. Qualidade nutricional e bromatológica da silagem de milho inoculado com *Azospirillum* em cultivo solteiro e consorciado. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 6, n. 11, p. 85974–85988, nov. 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n11-135.

PIONEER. (2012). Harvesting Earlage and Snaplage Silage. Available at: https://www.pioneer.com/CMRoot/Pioneer/US/Non_Searchable/programs_services/earn-the-right/Harvesting-Earlage-Snaplage-Silage.pdf . Accessed on: October 14, 2025.