



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

**EFEITO DO SILÍCIO E BACTÉRIAS FIXADORAS DE
NITROGÊNIO NOS PARÂMETROS MORFOPRODUTIVOS E
NO VALOR NUTRICIONAL DE SILAGENS DE MILHO NA
FORMA DE RAÇÃO TOTAL PARA OVINOS E BOVINOS**

JUSCELINO DA SILVA CASTELO BRANCO

Chapadinha - MA

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>



JUSCELINO DA SILVA CASTELO BRANCO

**EFEITO DO SILÍCIO E BACTÉRIAS FIXADORAS DE
NITROGÊNIO NOS PARÂMETROS MORFOPRODUTIVOS E
NO VALOR NUTRICIONAL DE SILAGENS DE MILHO NA
FORMA DE RAÇÃO TOTAL PARA OVINOS E BOVINOS**

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

Orientador(a): Prof^ª. Dr^ª. Daniele de Jesus Ferreira

Coorientador: Dr. Fleming Sena Campos

Coorientador: Prof. Dr. Anderson de Moura Zanine

Chapadinha - MA

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>



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

Castelo Branco, Juscelino da Silva.

Efeito do silício e bactérias fixadoras de nitrogênio nos parâmetros morfoprodutivos e no valor nutricional de silagens de milho na forma de ração total para ovinos e bovinos / Juscelino da Silva Castelo Branco. – 2025.

78 p.

Coorientador(a) 1: Fleming Sena Campos.

Coorientador(a) 2: 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. Azospirillum Brasilense. 2. Silagem de Ração Total. 3. Silício. 4. Zea Mays L. I. Campos, Fleming Sena. II. Ferreira, Daniele de Jesus. III. Zanine,



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>



JUSCELINO DA SILVA CASTELO BRANCO

**EFEITO DO SILÍCIO E BACTÉRIAS FIXADORAS DE
NITROGÊNIO NOS PARÂMETROS MORFOPRODUTIVOS E
NO VALOR NUTRICIONAL DE SILAGENS DE MILHO NA
FORMA DE RAÇÃO TOTAL PARA OVINOS E BOVINOS**

Aprovada em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

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

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

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

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

Prof. Dr. Gustavo André de Araujo Santos (membro interno)
Universidade Federal do Maranhão-UFMA



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

EPIGRAFE

“Preocupe-se mais com consciência do que com sua reputação. Pois, sua consciência é
o que você é, e sua reputação é o que os outros acham de você”

Bob Marley



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



A minha esposa Gildeane Araújo, ao meu
pai Francisco das Chagas Costa Castelo Branco e
minha mãe Francisca Nunes da Silva (*In
memória*).



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



AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo que me proporcionou até aqui e pela força dada a mim diariamente para superar os desafios. A Ele toda honra e toda glória!

A minha esposa, amiga e companheira de lutas Gildeane Aquino Araújo Castelo Branco, por toda compreensão e incentivo concedido durante esse período, por estar sempre ao meu lado.

A minha orientadora Profa. Dra. Daniele Ferreira pela oportunidade pelos ensinamentos concedidos ao longo do período cursado, pela orientação adequada e confiança, serei sempre grato.

Ao meu coorientador, Dr. Fleming Sena, por sempre estar acessível sanando minhas dúvidas e contribuir com valiosos ensinamentos durante a realização dessa pesquisa.

Ao Prof. Dr. Anderson de Moura Zanine (coorientador) pela confiança no desenvolvimento dessa pesquisa. A você meu respeito e gratidão. Obrigado por tudo!

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

Aos membros do Núcleo de pesquisa em produção e conservação de forragens, no qual trabalhei ao longo pós-graduação. A vocês minha gratidão por todos os ensinamentos e momentos que juntos passamos.

A Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pelo apoio com bolsa de estudos (BM-02226/23) durante o período do mestrado.

Aos doutores Francisco Naysson, Danillo Marte, Hactus Souto e Glayci Gois, obrigada pelas experiencias trocadas e pelos momentos de descontração e pelas dúvidas sanadas.

Aos amigos de laboratório, em especial, Milena, Jessica, Gildeane Araújo, obrigado pela contribuição, momentos de descontração. Vocês foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos bolsistas de iniciação científica, Júlia Bianca, George Lima, Diego Henrique, Wilame Júnior e Victória Maria por toda ajuda durante o experimento em campo e realização das análises laboratoriais.

Ao grupo FOPAMA, obrigada pelos empréstimos de materiais para análises

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

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

OBRIGADO!

RESUMO

O milho desempenha um papel crucial na cadeia do agronegócio brasileiro, sendo uma cultura de grande relevância tanto em termos produtivos quanto econômicos. No entanto, o potencial de produtividade de fitomassa e a qualidade da silagem de milho podem ser influenciadas por diversos fatores, dentre eles a disponibilidade hídrica, temperatura, radiação solar, danos causados por pragas e doenças, disponibilidade de nutrientes e a população de plantas na semeadura. Destes fatores, as secas representam um desafio significativo, reduzindo o rendimento das colheitas entre 20 e 40% especialmente dos cereais. Objetivou-se avaliar o efeito da inoculação microbiana e fertirrigação com silício nas características morfoprodutiva e valor nutricional das silagens de milho, silagem de ração total para ovino e silagem de ração total para bovino durante o período de entressafra agrícola. Foi utilizado delineamento em blocos casualizados, em um esquema fatorial 4×2 , representados por quatro doses de silício (Si; 0, 4, 8 e 12 kg ha⁻¹) e com adição ou não de *Azospirillum brasilense* (*A. brasilense*; cepas Ab-V5 e Ab-V6) com quatro repetições, totalizando 32 unidades experimentais. O milho utilizado foi o híbrido feroz vip 3 (SYN8A98 TLTG Viptera). Avaliou-se as características morfoprodutiva do milho e o perfil nutricional e fermentativo das silagens. Aos 81 dias após a emergência do milho, realizou-se a colheita para confecção das silagens de milho e de ração total a base de milho para atender as exigências nutricionais de bovinos de leite e ovino de corte. Após 120 dias os silos foram abertos e realizado análise químico-bromatológica nas silagens de milho e de ração total para bovino de leite e ovino de corte. Observou-se resultados superiores para DECP ($p=0,018$), DESP ($p=0,044$), CESP ($p=0,0013$) e PECP ($p=0,028$), com a associação do *A. brasilense* e doses de silício. Já o CECP com a aplicação do *A. brasilense* obteve maiores ganhos comparado ao sem *A. brasilense*. A fertirrigação de 8 e 12 kg ha⁻¹ de silício de forma exclusiva obtiveram-se o valor de CECP. Já no milho, a aplicação de 12 kg ha⁻¹ de silício obteve o maior valor PMV ($p=0,011$), PMVF ($p=0,037$), PMVEP ($p=0,008$) e PMVC ($p=0,023$). Observou-se interação ($p<0,05$) do silício x *A. brasilense* para o N-NH₃ nas silagens de milho e de ração total para ovinos. A aplicação de silício associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* promove incrementos no diâmetro da espiga com palha, diâmetro da espiga sem palha, comprimento da espiga com palha e peso da espiga com palha. Aplicação de silício aumenta a produção de matéria verde, sendo recomendada a dose de 12 kg ha⁻¹. A aplicação de diferentes doses de silício associadas à inoculação com *Azospirillum brasilense* na produção do milho não altera os padrões fermentativos, as populações microbianas e a composição químico-bromatológica das silagens de milho e das silagens de ração total para bovinos de leite e ovinos de corte.

Palavras-chave: *Azospirillum brasilense*, Silagem de ração Total, silício, *Zea mays* L.

ABSTRACT

Corn plays a crucial role in the Brazilian agribusiness chain, being a crop of great importance in both productive and economic terms. However, the potential for phytomass productivity and the quality of corn silage can be influenced by various factors, including water availability, temperature, solar radiation, damage caused by pests and diseases, nutrient availability and the plant population at sowing. Of these factors, droughts represent a significant challenge, reducing crop yields by between 20 and 40%, especially for cereals. The aim was to evaluate the effect of microbial inoculation and silicon fertigation on the morphoproductive characteristics and nutritional value of corn silage, total feed silage for sheep and total feed silage for cattle during the agricultural off-season. A randomized block design was used, in a 4×2 factorial scheme, represented by four doses of silicon (Si; 0, 4, 8 and 12 kg ha^{-1}) and with or without the addition of *A. brasilense* (*A. brasilense*; strains Ab-V5 and Ab-V6) with four replications, totaling 32 experimental units. The corn used was the ferocious hybrid vip 3 (SYN8A98 TLTG Viptera). The morphoproductive characteristics were evaluated. At 81 days after the maize emerged, it was harvested to make maize silage and total maize-based feed to meet the requirements of dairy cattle and beef sheep. After 120 days, the silos were opened and a chemical-bromatological analysis was carried out on the corn silage and total feed for dairy cattle and beef sheep. In this study, DECP ($p=0.018$), DESP ($p=0.044$), CESP ($p=0.0013$) and PECP ($p=0.028$) obtained gains with the association of *Azospirillum brasilense* and doses of silicon. The CESP with the application of *A. brasilense* obtained gains compared to that without *Azospirillum brasilense* and the doses of 8 and 12 kg ha^{-1} silicon had the highest CESP. In maize, the application of 12 kg ha^{-1} of silicon obtained the highest PMV ($p=0.011$), PMVF ($p=0.037$), PMVEP ($p=0.008$) and PMVC ($p=0.023$). There was an interaction ($p<0.05$) between silicon and *A. brasilense* for N-NH₃ in corn silage and total feed for sheep. The application of silicon associated with inoculation with *A. brasilense* promotes increases in ear diameter with straw, ear diameter without straw, ear length with straw and ear weight with straw. The application of silicon increases the production of green matter, with a recommended dose of 12 kg ha^{-1} . The application of different doses of silicon associated with inoculation with *Azospirillum brasilense* in corn production does not alter the fermentation patterns, microbial populations and chemical-bromatological composition of corn silage and total feed silage for dairy cattle and beef sheep.

Keywords: *Azospirillum brasilense*, Total mixed ration silage, Sodium silicate, *Zea mays* L.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

APFB = Altura da planta até a folha bandeira
APIE = Altura da ligula até inserção da espiga
APPI = Altura da planta até a ponta da inflorescência
BAL = Bactérias ácido lácticas
BDA = Batata dextrose ágar
BOD = *Biochemical oxygen demand*
BPCP = Bactérias promotoras de crescimento em plantas
BV = Biomassa verde
CECP = Comprimento da espiga com palha
CESP = Comprimento da espiga sem palha
cm = Centímetro
C:N- Carbono:Nitrogênio
C:N:P- Carbono:Nitrogênio:Fosforo
C:N:P- Carbono:Nitrogênio:Fosforo:Silício
CT = Capacidade tampão
DBC = Delineamento em blocos casualizados
DC = Diâmetro de colmo
DECP = Diâmetro da espiga com palha
DESP = Diâmetro da espiga sem palha
EPM = Erro padrão da média
FDA = Fibra em detergente ácido
FDN = Fibra em detergente neutro
g = Grama
h = Hora
HEM = Hemicelulose
Kg = Kilograma
LIG = Lignina
mm = Milímetro
MO = Matéria orgânica
MS = Matéria seca
N= Nitrogênio
NFMp = Número de folhas mortas por planta

NFVp = Número de folhas vivas por planta

N-NH₃ = Nitrogênio amoniacal

PB = Proteína bruta

PE = Perdas por efluentes

PECP = Peso da espiga com palha (g kg⁻¹)

PESP = Peso da espiga sem palha (g kg⁻¹)

PG = Perdas por gases (g kg⁻¹)

pH = Potencial hidrogênio-iônico

PMS = Produção de matéria seca (t ha⁻¹)

PMSC – Produção de matéria seca de colmo (t ha⁻¹)

PMVC = Produção de matéria verde do colmo

PMSF = Produção de matéria seca da folha (t ha⁻¹)

PMVF = Produção de matéria verde de folhas (t ha⁻¹)

PMV = Produção de matéria verde (t ha⁻¹)

PMVE = Produção de espiga (t ha⁻¹)

PMSE = Produção de matéria seca de espiga (t ha⁻¹)

PMVEP = produção de espiga com palha (t ha⁻¹)

PRNT = Poder relativo de neutralização

RMS = Recuperação de matéria seca

SRTB = Silagem de ração total para bovinos

SRTC = Silagem de ração total para cabras

UFC = Unidade formadora de colônia

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICA DA ANÁLISE DE SOLO.	28
TABELA 2 -COMPOSIÇÃO QUÍMICO-BROMATOLÓGICA DOS INGREDIENTES E DAS DIETAS.....	33
TABELA 3 -PROPORÇÃO DOS INGREDIENTES USADOS PARA A FORMULAÇÃO DAS SILAGEM DE RAÇÃO TOTAL.	33
TABELA 4 -CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DO MILHO HÍBRIDO FERTIRRIGADO COM SILÍCIO, SEM E COM A UTILIZAÇÃO DE <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i>	38
TABELA 5 - CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS DO HÍBRIDO DE MILHO FERTIRRIGADO COM DIFERENTES DOSES DE SILÍCIO, SEM E COM A UTILIZAÇÃO DE <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i> . .	40
TABELA 6 - SANIDADE DAS FOLHAS, COLMOS E CARACTERÍSTICAS DOS GRÃOS DE HÍBRIDO DE MILHO FERTIRRIGADO COM SILÍCIO, SEM E COM A UTILIZAÇÃO DE <i>AZOSPIRILLUM</i> <i>BRASILENSE</i>	41
TABELA 7 - COMPOSIÇÃO MACRO E MICRONUTRIENTE DA FOLHAS DE HÍBRIDO DE MILHO FERTIRRIGADO COM SILÍCIO, SEM E COM A UTILIZAÇÃO DE <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i> . ..	42
TABELA 8 - COMPOSIÇÃO MACRO E MICRONUTRIENTE DO COLMO DE HÍBRIDO DE MILHO FERTIRRIGADO COM DIFERENTES DOSES DE SILÍCIO, SEM E COM A UTILIZAÇÃO DE <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i>	43
TABELA 9 - COMPOSIÇÃO MACRO E MICRONUTRIENTES DO GRÃO DE HÍBRIDO DE MILHO FERTIRRIGADO COM DIFERENTES DOSES DE SILÍCIO, SEM E COM A UTILIZAÇÃO DE <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i>	44
TABELA 10 - COMPOSIÇÃO MACRO E MICRONUTRIENTES DA RAIZ DE HÍBRIDO DE MILHO FERTIRRIGADO COM DIFERENTES DOSES DE SILÍCIO, SEM E COM A UTILIZAÇÃO DE <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i>	45
TABELA 11 - RELAÇÃO C:N, C:N:P E C:N:P:Si.	46
TABELA 12 - COMPOSIÇÃO QUÍMICO-BROMATOLOGICA DE HÍBRIDO DE MILHO FERTIRRIGADO COM SILICIO E INOCULADO COM <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i>	47
TABELA 13 - PERFIL FERMENTATIVO E PERDAS EM SILAGENS DE RAÇÃO TOTAL PARA OVINOS A BASE DE HÍBRIDO DE MILHO FERTIRRIGADO COM DIFERENTES DOSES DE SILÍCIO, SEM E COM A UTILIZAÇÃO DE <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i>	48
TABELA 14 - PERFIL FERMENTATIVO E PERDAS EM SILAGENS DE RAÇÃO TOTAL PARA BOVINOS DE LEITE A BASE DE HÍBRIDO DE MILHO FERTIRRIGADO COM DIFERENTES DOSES DE SILÍCIO, SEM E COM A UTILIZAÇÃO DE <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i>	49

TABELA 15- PERFIL FERMENTATIVO E PERDAS EM SILAGENS DE HÍBRIDO DE MILHO FERTIRRIGADO COM DIFERENTES DOSES DE SILÍCIO, SEM E COM A UTILIZAÇÃO DE <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i>	50
TABELA 16 - COMPOSIÇÃO QUÍMICO-BROMATOLOGICA DE SILAGEM DE RAÇÃO TOTAL PARA OVINO DE CORTE FERTIRRIGADO COM DIFERENTES DOSES DE SILÍCIO, SEM E COM A UTILIZAÇÃO DE <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i>	51
TABELA 17 - COMPOSIÇÃO QUÍMICO-BROMATOLOGICA DE SILAGEM DE RAÇÃO TOTAL PARA BOVINO DE LEITE FERTIRRIGADO COM DIFERENTES DOSES DE SILÍCIO, SEM E COM A UTILIZAÇÃO DE <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i>	52
TABELA 18- COMPOSIÇÃO QUÍMICO-BROMATOLOGICA SILAGEM DE HÍBRIDO DE MILHO FERTIRRIGADO COM DIFERENTES DOSES DE SILÍCIO, SEM E COM A UTILIZAÇÃO DE <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i>	52
TABELA 19- POPULAÇÃO MICROBIANA DE SILAGENS DE RAÇÃO TOTAL PARA OVINOS A BASE DE HÍBRIDO DE MILHO FERTIRRIGADO COM DIFERENTES DOSES DE SILÍCIO, SEM E COM A UTILIZAÇÃO DE <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i>	53
TABELA 20- POPULAÇÃO MICROBIANA DE SILAGENS DE RAÇÃO TOTAL PARA BOVINOS DE LEITE A BASE DE HÍBRIDO DE MILHO FERTIRRIGADO COM DIFERENTES DOSES DE SILÍCIO, SEM E COM A UTILIZAÇÃO DE <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i>	53
TABELA 21 - POPULAÇÃO MICROBIANA DE SILAGENS DE HÍBRIDO DE MILHO FERTIRRIGADO COM DIFERENTES DOSES DE SILÍCIO, SEM E COM A UTILIZAÇÃO DE <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i> . .	54

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS DA ÁREA DO EXPERIMENTO, TEMPERATURA MÁXIMA, MÉDIA E MÍNIMA, UMIDADE RELATIVA MAXIMA, MÉDIA E MINIMA.	27
FIGURA 2- CROQUI DA ÁREA EXPERIMENTAL E DISTRIBUIÇÃO DOS TRATAMENTOS DOSES DE SILÍCIO FORNECIDAS VIA FERTIRRIGAÇÃO COM E SEM INOCULAÇÃO DAS SEMENTES COM <i>A. BRASILENSE</i>	29
FIGURA 3- EFEITO DA INTERAÇÃO DOS NÍVEIS DE SILÍCIO X INOCULAÇÃO DE <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i> NO DIÂMETRO DE ESPIGA COM PALHA (A), DIÂMETRO DE ESPIGA SEM PALHA (B), COMPRIMENTO DE ESPIGA SEM PALHA (C) E PESO DA ESPIGA COM PALHA (D). LETRAS MAIÚSCULAS DISTINTAS, DIFEREM PARA NÍVEIS DE SILÍCIO DENTRO DA INOCULAÇÃO (COM OU SEM) <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i> E MINÚSCULAS DISTINTAS, DIFEREM PARA INOCULAÇÃO (COM OU SEM) <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i> DENTRO DE CADA NÍVEIS DE SILÍCIO.	39
FIGURA 4 - EFEITO DOS NÍVEIS DE SILÍCIO NA PRODUÇÃO DE MATÉRIA VERDE (A), PRODUÇÃO DA MATÉRIA VERDE DA FOLHA (B), PRODUÇÃO DA MATÉRIA VERDE DO COLMO (C) E PRODUÇÃO DA MATÉRIA VERDE DA ESPIGA COM PALHA (D).	41
FIGURA 5- EFEITO DOS NÍVEIS DE SILÍCIO NA PROPORÇÃO DE FERRO(A) E ZINCO (B) NO COLMO DO MILHO.	43
FIGURA 6 - EFEITO DA INTERAÇÃO ENTRE O <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i> X SILÍCIOS NA PROPORÇÃO DE MAGNÉSIO EM GRÃOS DE MILHO. LETRAS MAIÚSCULAS DISTINTAS, DIFEREM PARA NÍVEIS DE SILÍCIO DENTRO DA INOCULAÇÃO (COM OU SEM) <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i> E MINÚSCULAS DISTINTAS, DIFEREM PARA INOCULAÇÃO (COM OU SEM) <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i> DENTRO DE CADA NÍVEIS DE SILÍCIO.	44
FIGURA 7- EFEITO DOS NÍVEIS DE SILÍCIOS NA PROPORÇÃO DE SÓDIO EM GRÃOS DE MILHO.	45
FIGURA 8- EFEITO DA INTERAÇÃO ENTRE O <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i> X SILÍCIOS NA PROPORÇÃO DE FERRO ENA RAIZ DE MILHO. LETRAS MAIÚSCULAS DISTINTAS, DIFEREM PARA NÍVEIS DE SILÍCIO DENTRO DA INOCULAÇÃO (COM OU SEM) <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i> E MINÚSCULAS DISTINTAS, DIFEREM PARA INOCULAÇÃO (COM OU SEM) <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i> DENTRO DE CADA NÍVEIS DE SILÍCIO.	46
FIGURA 9- EFEITO DA INTERAÇÃO ENTRE O <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i> X SILÍCIO NA RELAÇÃO C:N. LETRAS MAIÚSCULAS DISTINTAS, DIFEREM PARA NÍVEIS DE SILÍCIO DENTRO DA INOCULAÇÃO (COM OU SEM) <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i> E MINÚSCULAS DISTINTAS,	

DIFEREM PARA INOCULAÇÃO (COM OU SEM) AZOSPIRILLUM BRASILENSE DENTRO DE CADA NÍVEIS DE SILÍCIO.....	46
FIGURA 10- EFEITO DOS NÍVEIS DE SILÍCIO NA PROPORÇÃO DO pH (A) E MATÉRIA MINERAL (B) EM CULTIVAR PLANTAS DE MILHO.	47
FIGURA 11- EFEITO DA INTERAÇÃO ENTRE O AZOSPIRILLUM BRASILENSE X SILÍCIOS NA PERDA POR EFLUENTE (A) E N-NH ₃ (B) EM SILAGEM DE RAÇÃO TOTAL PARA OVINO. LETRAS MAIÚSCULAS DISTINTAS, DIFEREM PARA NÍVEIS DE SILÍCIO DENTRO DA INOCULAÇÃO (COM OU SEM) AZOSPIRILLUM BRASILENSE E MINÚSCULAS DISTINTAS, DIFEREM PARA INOCULAÇÃO (COM OU SEM) AZOSPIRILLUM BRASILENSE DENTRO DE CADA NÍVEIS DE SILÍCIO.....	48
FIGURA 12- EFEITO DOS NÍVEIS DE SILÍCIO NA RECUPERAÇÃO DE MATÉRIA SECA EM SILAGENS DE RAÇÃO TOTAL PARA OVINOS.....	49
FIGURA 13- EFEITO DA INTERAÇÃO ENTRE O AZOSPIRILLUM BRASILENSE X SILÍCIOS NO N-NH ₃ EM SILAGEM DE HÍBRIDO DE MILHO. LETRAS MAIÚSCULAS DISTINTAS, DIFEREM PARA NÍVEIS DE SILÍCIO DENTRO DA INOCULAÇÃO (COM OU SEM) AZOSPIRILLUM BRASILENSE E MINÚSCULAS DISTINTAS, DIFEREM PARA INOCULAÇÃO (COM OU SEM) AZOSPIRILLUM BRASILENSE DENTRO DE CADA NÍVEIS DE SILÍCIO.	50

SUMARIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	OBJETIVOS	20
2.1	GERAL	20
2.2	ESPECÍFICOS	20
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
3.1	CULTIVO DO MILHO	20
3.2	SILÍCIO COMO ATENUADOR DE ESTRESSE HÍDRICO.....	22
3.3	MICROORGANISMOS COMO ATENUANTES DO ESTRESSE HÍDRICO	23
3.4	PRODUÇÃO DO MILHO PARA SILAGEM.....	24
3.5	SILAGEM DE RAÇÃO TOTAL.....	25
4	MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1	LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	26
4.2	TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	27
4.3	PLANTIO E ADUBAÇÃO.....	27
4.4	APLICAÇÃO DO SILÍCIO E IRRIGAÇÃO	29
4.5	TRATOS CULTURAIS.....	30
4.6	AVALIAÇÃO MORFOPRODUTIVA DE BIOMASSA E GRÃOS	30
4.7	ANÁLISE DE MACRO E MICRONUTRIENTE DA FOLHA, COLMO, GRÃO E RAIZ. ..	32
4.8	RELAÇÕES ESTEQUIOMÉTRICAS CARBONO, NITROGÊNIO, FÓSFORO E SILÍCIO.	32
4.9	PROCESSO DE ENSILAGEM	32
4.10	PERFIL FERMENTATIVO.....	34
4.11	PERDAS DURANTE O PROCESSO FERMENTATIVO E RECUPERAÇÃO DE MATÉRIA SECA	34
4.12	ANÁLISE MICROBIOLÓGICA	35
4.13	ANÁLISES QUÍMICA-BROMATOLÓGICAS.....	36
4.14	ESTATÍSTICA.....	36
5	RESULTADOS.....	37
5.1	CARACTERÍSTICA MORFOPRODUTIVA DO HÍBRIDO DE MILHO.....	37
5.2	SANIDADE FOLHA, COLMO E GRÃO.....	41
5.3	COMPOSIÇÃO MACRO E MICRONUTRIENTES DA FOLHA, COLMO, GRÃO E RAIZ	42

5.4	RELAÇÃO ESTEQUIOMÉTRICA DO CARBONO, NITROGÊNIO, FÓSFORO E SILÍCIO ..	46
5.5	COMPOSIÇÃO QUÍMICO-BROMATOLÓGICA DE PLANTA INTEIRA DO HÍBRIDO DE MILHO	47
5.6	PERFIL FERMENTATIVO E PERDAS DAS SILAGENS DE RAÇÃO TOTAL PARA OVINO, BOVINO E SILAGEM EXCLUSIVA DE HÍBRIDO DE MILHO.....	48
5.7	COMPOSIÇÃO QUÍMICO-BROMATOLÓGICA DAS SILAGENS DE RAÇÃO TOTAL PARA OVINO, BOVINO E SILAGEM EXCLUSIVA DE HÍBRIDO DE MILHO.	50
5.8	POPULAÇÃO MICROBIANA DAS SILAGENS DE RAÇÃO TOTAL PARA OVINO, BOVINO E SILAGEM EXCLUSIVA DE HÍBRIDO DE MILHO.....	53
6	DISCUSSÃO	54
6.1	CARACTERÍSTICAS MORFOPRODUTIVA	54
6.2	SANIDADE DAS FOLHAS, COLMO E CARACTERÍSTICAS DOS GRÃOS	55
6.3	COMPOSIÇÃO MACRO E MICRONUTRIENTES DA FOLHA, COLMO, GRÃO E RAIZ.....	56
6.4	RELAÇÃO ESTEQUIOMÉTRICA DO CARBONO, NITROGÊNIO, FÓSFORO E SILÍCIO ..	58
6.5	COMPOSIÇÃO QUÍMICO-BROMATOLÓGICA DE PLANTA INTEIRA DO HÍBRIDO DE MILHO	58
6.6	PERFIL FERMENTATIVO, PERDAS E RECUPERAÇÃO DE MATÉRIA SECA DAS SILAGENS.....	59
6.7	POPULAÇÃO MICROBIANA DAS SILAGENS DE RAÇÃO TOTAL PARA OVINO, BOVINO E SILAGEM EXCLUSIVA DE HÍBRIDO DE MILHO.....	61
6.8	COMPOSIÇÃO QUÍMICO-BROMATOLÓGICA DE SILAGEM DE MILHO E RAÇÃO TOTAL PARA BOVINO DE LEITE E OVINO DE CORTE.	62
7	CONCLUSÃO.....	64
8	REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

O milho desempenha um papel crucial na cadeia do agronegócio brasileiro, sendo uma cultura de grande relevância tanto em termos produtivos quanto econômicos. Além disso, o milho é amplamente utilizado na produção animal, especialmente na forma de silagem, como um ingrediente energético fundamental na alimentação de ruminantes.

A planta de milho é indicada para a ensilagem porque apresenta elevada produtividade e alta disseminação em território brasileiro (NEUMANN et al., 2019). Além disso, possui características que garantem boa fermentação (baixa capacidade tampão, alta concentração de carboidratos solúveis e concentração adequada de água no momento da ensilagem) e teores adequados de energia e proteína para a produção de ruminantes (ARAÚJO et al., 2012; GUYADER et al., 2017).

No entanto, o potencial de produtividade de fitomassa e a qualidade da silagem de milho podem ser influenciadas por diversos fatores, dentre eles a disponibilidade hídrica, temperatura, radiação solar, danos causados por pragas e doenças, disponibilidade de nutrientes e a população de plantas na semeadura (LASKARI et al., 2022). Destes fatores, as secas representam um desafio significativo, reduzindo o rendimento das colheitas de 20 e 40% especialmente dos cereais. Segundo a CONAB a safra brasileira de grãos 2023/24 teve uma diminuição de 8,2 % na sua produtividade em relação à safra anterior, decorrente do comportamento climático adverso (CONAB, 2023).

Diante desse cenário, torna-se necessário buscar alternativas para mitigar os efeitos deletérios desses eventos climáticos na produção agrícola (THORNE et al., 2020). Segundo Irfan et al. (2023), o uso do silício pode ser uma alternativa na mitigação dos efeitos de diferentes estresses, incluindo o déficit hídrico. A deficiência hídrica provoca alterações no desenvolvimento das plantas e da área foliar, e esta última determina o uso da água pelas plantas e seu potencial de produtividade é severamente inibido quando exposta a déficit hídrico (SANTOS; CARLESSO, 1998). Essa interconexão entre a área foliar, o desenvolvimento das raízes e a absorção de nutrientes destaca a importância da folhagem saudável e abundante para o crescimento e o desenvolvimento eficaz das plantas de milho.

Marques et al. (2021) relataram efeitos positivos do silício no crescimento, produção de grãos, eficiência no uso da água, fotossíntese, condutância e densidade estomática, espessura da epiderme e outros parâmetros morfofisiológicos. Embora não seja classificado como um elemento mineral essencial para a maioria das plantas, o silício tem sido apontado pela literatura como uma opção para fortalecer mecanismos adaptativos e reduzir os danos provocados pelo estresse causado pela falta de água (GRAÇA, 2024).

Durante a interação com as plantas, desempenham múltiplas bioatividades, auxiliando na promoção de crescimento vegetal, controle de fitopatógenos e mitigação de efeitos abióticos, através da síntese de hormônios vegetais, solubilização de nutrientes na região da rizosfera e produção de enzimas extracelulares (GLICK et al., 1995). A espécie *Azospirillum brasilense* tem mostrado aumentar a produtividade em gramíneas e induzir tolerância a estresses (HUNGRIA et al., 2021; GUIMARÃES et al., 2020). Essa bactéria sintetiza e libera 15 fitohormônios, como o ácido jasmônico e salicílico, estimulando a atividade de enzimas desintoxicantes, contribuindo para a resiliência das plantas em condições adversas (SANTOS et al, 2019). Além disso, esses organismos assimilam o nitrogênio atmosférico e o transformam em NH₃, sendo responsáveis pela fixação biológica através do complexo enzimático nitrogenase (CANTARELLA, 2007).

Essas estratégias podem ter um impacto positivo na produção sustentável na cultura do milho, colaborando para diminuir a susceptibilidade da cultura a condições desfavoráveis, como variações no fornecimento de água durante os períodos de cultivo.

Estudos realizados por Sousa (2023) com sorgo e Costa (2023) com milheto, demonstraram que a combinação silício com a inoculação *Azospirillum brasilense* proporciona resultados satisfatório em relação as características produtivas. Hipotetiza-se que o silício aumenta a resistência da planta ao estresse hídrico e o *Azospirillum brasilense* além de fornecer nitrogênio, melhorar o desenvolvimento das raízes. Assim a combinação dessas estratégias pode aumentar a produção de biomassa e aumentar a tolerância da planta a vários estresses abióticos, como seca e acidez do solo.

Portanto, a combinação da inoculação microbiana e da fertirrigação com silício representa uma abordagem promissora e sustentável para a produção de milho, oferecendo benefícios tanto para os produtores quanto para o meio ambiente.

Diante disso, hipotetizou-se que silício e *Azospirillum brasilense* alteram os parâmetros morfoprodutivos do milho e os padrões fermentativos e nutritivos de silagens de ração total. Objetivou-se avaliar o efeito do *Azospirillum brasiliense* com silício nas características morfoprodutiva e valor nutricional das silagens de milho, silagem de ração total para ovino e silagem de ração total para bovino durante o período de entressafra agrícola.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o efeito do *Azospirillum brasiliense* com silício nas características morfoprodutiva e valor nutricional das silagens de milho, silagem de ração total para ovino e silagem de ração total para bovino durante o período de entressafra agrícola.

2.2 Específicos

Avaliar o efeito de doses de silício e *Azospirillum brasiliense* sobre as características morfoprodutivas do milho durante o período de entressafra agrícola.

Avaliar o efeito de doses de silício e *Azospirillum. brasiliense* sobre sanidade das folhas, colmos de milho durante a entressafra agrícola.

Avaliar o efeito de doses de silício e *Azospirillum. brasiliense* sobre composição químico-bromatológica de híbrido de milho na entressafra agrícola.

Avaliar o efeito de doses de silício e *Azospirillum. brasiliense* sobre qualidade fermentativa, população microbiana e composição químico-bromatológica das silagens de milho e de ração total para ovino e bovino durante o período de entressafra agrícola.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Cultivo do milho

O milho é um vegetal pertencente à família das gramíneas, ou *Poaceae*, constituindo-se como uma cultura marcante no Brasil, sendo o segundo lugar como o cereal mais produzido no país (SILVA, 2020). Segundo a CONAB (2023) no Brasil o milho é cultivado, geralmente, em dois períodos no ano, sendo denominados de safra e safrinha, resultado da entressafra. Tal cultura é de evidente importância para a economia no Brasil por sua grande contribuição no mercado, sendo resultado das mais diversas maneiras de utilização de seus produtos, quer sejam de consumo humano ou animal. (SILVA, 2020).

Além da importância do cultivo de milho em termos de produção, a cultura se destaca pela diversa utilidade que possui. Além de atuar na alimentação humana e animal de maneira

direta, é possível produzir uma infinidade de produtos, tais como bebidas, polímeros, combustíveis etc. (MIRANDA, 2018).

De acordo com o *United States Department of Agriculture* -USDA (2023), o Brasil está entre os três maiores produtores de milho do mundo, não obtém destaque como sendo um dos países que tem uma das maiores produtividades, no entanto, a produtividade do milho brasileiro vem crescendo de maneira sistemática (SILVA, 2020). Esse crescimento é visível na safra de 2021/22, que passou de 4550 kg ha⁻¹ em 2021 para 5267 kg ha⁻¹ em 2022, representando um aumento de 15,8% (IBGE, 2022).

O milho demanda de uma grande quantidade de água ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, podendo ser superior a 800 mm, o que torna a cultura suscetível ao déficit hídrico prolongado (DOORENBOS e KASSAM, 1979; SUN et al., 2010; ABDRAOO et al., 2016). Essa necessidade hídrica também pode variar de acordo com a época e local da semeadura além de fatores como índice de área foliar e cultivar utilizada (ABDRABOO et al., 2016). Dentre todas as variáveis meteorológicas, as que mais influenciam no desenvolvimento das plantas de milho são a temperatura, a radiação solar e a chuva, pois essas impactam tanto na determinação do potencial produtivo quanto do atingível, sendo as principais responsáveis por oscilações nas suas produtividades, especialmente em anos onde essas variáveis apresentam comportamentos atípicos (GUO et al., 2017; SHIM et al., 2017; YANG et al., 2017).

Segundo McDonald et al., (1991) e Oliveira (2007), o milho destaca-se como a principal forrageira tropical de alto potencial para a ensilagem, devido aos teores de carboidratos solúveis adequados, baixo poder tampão e teor de matéria seca adequados que permitem fermentação láctica, baixas perdas de matéria seca e altamente palatabilidade. De acordo com Cruz et al., (2019), o milho possui matéria seca em torno de 30 a 35%, baixo poder tampão e os níveis de carboidratos solúveis que chegam a 12%, favorecendo o crescimento de bactérias produtoras de ácido láctico, conseqüentemente, melhorando a qualidade nutricional da silagem.

De acordo com a Tabela de Composição Química e Bromatológica de Alimentos (CQBAL 4.0), foram observados os seguintes valores para a silagem de milho, Matéria seca (MS): 31,15%, Proteína Bruta (PB): 7,18%, Fibra em detergente neutro (FDN): 53,98% de FDN, e Extrato etéreo (EE): 2,79%, valores que caracterizam a silagem de milho como um volumoso de boa qualidade possibilitando o seu uso para alimentar animais de alta produção. Esses são fatores importantes, o que a torna como primeira opção para a alimentação animal, uma vez que, a criação animal é parte significativa dos meios de subsistência da população (GHEYSARI et al., 2017).

Neste contexto, o milho é um dos cereais mais eficientes no que diz respeito ao armazenamento de energia existentes, seu cultivo é de grande interesse econômico e nutricional. Atualmente, as pesquisas têm desenvolvido outras variedades de milho, tornando seu cultivo viável em diversas regiões, com diferentes climas, temperaturas e práticas de manejo (ALMEIDA et al., 2017). Para isso, novas tecnologias devem ser lançadas e voltadas para os grãos, refletindo em maiores produtividades e condições de crescimento satisfatórias. Essas condições refletem sobre os suprimentos de minerais, sem ocorrências de volatilização erosões, e lixiviação, além de provocar efeitos controversos atenuando a produtividade (COELHO, 2021).

3.2 Silício como atenuador de estresse hídrico

O silício, não é considerado um nutriente essencial para as plantas, no entanto, tem sido considerado como um elemento de fundamental importância quando utilizado, pois, pode desempenhar papéis importantes em processos metabólicos, fisiológicos e/ou estruturais, podendo aumentar a sobrevivência de plantas expostas a diferentes formas de estresses (OLIVERA-VICIEDO et al. 2020).

O silício não é considerado um mineral essencial para as plantas; no entanto, o silício mitiga os efeitos de estresses abióticos e bióticos (IBRAHIM et al., 2020a), incluindo o déficit hídrico, pois ele favorece processos fisiológicos e bioquímicos na planta (KHANUM et al., 2022; THAKUR et al., 2023), especialmente pelo fato de modular o sistema de defesa antioxidante (DEHGHANIPOODEH et al., 2018).

Segundo Reis et al. (2007), o silício é um mineral que é o segundo elemento em mais abundância na crosta terrestre que participa da constituição dos principais minerais do solo. O silício é um elemento químico envolvido em funções relacionadas com a transpiração, promovendo a sílificação das células epidérmicas as quais agem como uma barreira física impedindo a penetração de fungos (KORNDORFER et al., 2001).

Em solos tropicais, devido ao aumento da intemperização, o silício é encontrado basicamente na forma de opala e quartzo ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) sendo estas formas não disponíveis às plantas (BARBOSA FILHO et al., 2001). A solubilidade dos minerais silicatados no solo é variável e influenciada por temperatura, pH, tamanho de partículas, composição química e pela absorção do silício nas superfícies de minerais (SAVANT et al., 1997). O uso do silício como fertilizante na agricultura ocorre em vários países, como Estados Unidos, Austrália, África do Sul e Japão, este último utiliza o silício no cultivo do arroz há pelo menos seis décadas (RODRIGUES et al., 2011).

A grande vantagem de uso do silício são as modificações que ele faz na fisiologia da planta. O silício é absorvido e assim transportado na forma de ácido monossilícico. Esses compostos são depositados nos tecidos formando uma estrutura silificada, que assim faz com que ele reduza o consumo de água pela planta (REIS et al. 2007).

Vários estudos têm demonstrado o efeito positivo do silício em plantas sob estresse hídrico. No milho, o uso do elemento aumentou a absorção de nutrientes e a eficiência de uso do N, P, K, Ca e Mg (TEIXEIRA, de Mello Prado et al., 2022). Hattori et al. (2008) sugeriram que o silício poderia facilitar a absorção e transporte de água em sorgo em condições de seca. No feijoeiro, melhorou o potencial hídrico foliar e aumentou os pigmentos fotossintéticos e a massa seca, além da eficiência do uso da água (WUE) (GONZALEZ-PORRAS et al., 2024), pimentão (LOB et al., 2023), cana-de-açúcar (SILVA et al., 2023). Em experimentos com trigo, o silício aliviou o estresse oxidativo, regulando as atividades de enzimas antioxidantes, em condição de seca (GONG et al. 2005), e em soja elevou o conteúdo de água foliar, bem como a fotossíntese (SHEN et al., 2010), e em tomate beneficiou o status hídrico das plantas (SHI et al., 2016).

3.3 Microrganismos como atenuantes do estresse hídrico

O tratamento com hormônios vegetais, biorreguladores, nutrientes dentre outros em sementes, são técnicas disponíveis para estimular o crescimento das plantas, mesmo sob condições de estresse ou mesmo de baixo vigor de semente (JUNQUEIRA et al., 2017). Para MELO e AZEVEDO (2008) alternativas estão sendo propostas envolvendo a inoculação com microrganismos que, associados a produção de plantas, demonstram eficiência no estímulo de crescimento, efeitos fisiológicos e sobre a ação metabólica das plantas.

Alguns estudos apontam que microrganismos benéficos podem melhorar o desempenho de plantas sob condições de estresse e, consequentemente, aumentar a produtividade das culturas (PINTER et al., 2017; NAZIR et al., 2018; TIWARI et al., 2019). Nesse contexto, bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) surgem como uma alternativa sustentável capaz de amenizar os efeitos negativos de estresse hídrico de plantas (BARBOSA, 2022).

As bactérias dos gêneros *Azospirillum*, são capazes de atuar como defensoras do sistema radicular, impedir a manifestação de microrganismos nocivos e produzir compostos estimulantes (OLIVEIRA et al., 2016). O *Azospirillum brasilense* vem despertando cada vez mais o interesse de pesquisadores da área agrônômica pela sua associação as bactérias diazotróficas com as gramíneas. Essas bactérias fixam o nitrogênio atmosférico e, posteriormente, o disponibilizam para a planta em até 50% do N necessário (BÁRBARO et al.,

2008). Além da fixação biológica do N, o efeito estimulante exercido pelas bactérias do gênero *Azospirillum* tem sido atribuído a vários mecanismos como a biossíntese e a liberação de aminoácidos, produção e liberação de fitohormônios como auxinas (ácido indol-acético), citocinas, giberelinas e de poliamidas, favorecendo assim o crescimento das raízes e, consequentemente, intensificando a absorção de água e nutrientes pelas raízes (BASHAN e DE-BASHAN, 2010).

Em gramíneas também existe grande possibilidade de diminuir a deposição de Nr e N-fertilizante nos ecossistemas produtivos através da fixação biológica do N, utilizando bactérias do gênero *Azospirillum*, que têm a capacidade de fixar N₂ e influenciar positivamente a produção das culturas, suprimindo diretamente as necessidades de N em espécies não-leguminosas (HUNGRIA e tal. 2016). MARQUES et al. (2020) concluíram que a inoculação do milho com diferentes estirpes de *Azospirillum* brasiliense, sob déficit hídrico (50% da ETc) favoreceu o crescimento vegetal, absorção de nutrientes e mitigou os efeitos do déficit hídrico no desenvolvimento das plantas de milho.

O milho é uma das culturas que mais extraem nutrientes do solo durante seu ciclo, fato que contribui para elevar os custos de produção com a aquisição de fertilizantes, os quais podem representar mais de 30% dos custos totais com a cultura (IMEA, 2021). Desta forma, além do potencial de mitigar os efeitos negativos do déficit hídrico, algumas BPCV podem contribuir também com a nutrição nitrogenada de gramíneas como o milho (FERREIRA et al., 2020) pela fixação biológica, ou aumentar a solubilidade de formas insolúveis de fósforo no solo e assim suprir às necessidades nutricionais da cultura (FOMINA & SKOROCHOD, 2020).

Segundo BARBOSA (2022), a aplicação de BPCV no solo visa estimular os mecanismos fisiológicos de aclimação vegetal, sendo processo dependente do meio, para que as respostas sejam maximizadas ou minimizadas. Portanto, a associação de plantas, como o milho, com BPCV pode levar ao aumento de produtividade, reduzir os custos de produção, aumentar a segurança alimentar e reduzir o uso de agroquímicos, contribuindo para uma agricultura mais sustentável.

3.4 Produção do milho para silagem

Existem várias plantas forrageiras, anuais e perenes, que servem para a produção de silagem, o milho é uma das culturas mais utilizadas neste processo no Brasil por apresentar um bom rendimento de matéria verde, excelente qualidade de fermentação e manutenção do valor nutritivo da massa ensilada (SCHELER, 2021). Outras vantagens que o cereal proporciona são

um baixo custo operacional de produção e uma boa aceitabilidade por parte dos animais (CRUZ et al, 2019).

A cultura do milho é a mais utilizada na alimentação dos ruminantes devido ao manuseio fácil e às características bromatológicas favoráveis, entre outros aspectos positivos deste alimento. Seu fornecimento como alimento animal atinge cerca de 70% de sua utilização, seja de forma individual ou associada a outras forrageiras (BERNARDES, 2012; BERNARDES e REGO, 2014).

A grande utilização do milho como silagem é o fato de sua composição bromatológica preencher os requisitos para confecção de silagens de alto valor nutritivo, com teor de matéria seca (MS) entre 30% e 35%, o mínimo de 3% de carboidratos solúveis na matéria original, o baixo poder tampão e por proporcionar uma fermentação microbiana que resulte na produção de ácido láctico (NUSSIO et al., 2001). Existe no mercado uma ampla disponibilidade de materiais genéticos. As práticas que compõe o manejo e a seletividade da escolha da cultivar, impactará da qualidade da silagem (NEUMANN et al., 2007; KLEIN et al., 2018).

Segundo Faria et al. (2020), os valores ideais de Fibra em detergente Neutro (FDN) na silagem de milho são de 37 a 45% da massa seca (MS), os valores de Nutrientes Digestíveis Totais (NDT) variam entre 54,3 a 67%. Além de ser considerada como importante fonte de energia, tendo ainda características necessárias para um processo fermentativo adequado quando armazenado no silo (BUSO et al., 2018), entretanto, apresenta baixo teor de proteína bruta (6 a 8%) na MS (SOUZA et al., 2019)

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

Os principais fatores que podem influenciar a qualidade da silagem são: a respiração, atividade enzimática após fechamento do silo e a atividade de Clostrídios e de microrganismos aeróbios após abertura do silo. Portanto, é importante colher a forragem no ponto adequado e realizar a compactação e vedação o mais rápido possível (MENEZES, 2021).

3.5 Silagem de ração total

Os primeiros registros sobre o uso de dietas totais foram publicados em 1950, uma década após, novas pesquisas foram realizadas buscando saber sobre os efeitos das rações completas, principalmente envolvendo os processos de fabricação (BOUFLEUR, 2024).

O termo ração total (Total Mixed Ration- TMR) foi utilizado, pela primeira vez por Owen (1971), para designar uma ração composta por alimentos grosseiros e alimentos concentrados misturados de forma intrínseca, oferecida como único alimento, fornecida aos animais com o objetivo de minimizar a seleção dos ingredientes que compõem a ração e otimizar a utilização digestiva e metabólica dos nutrientes fornecidos (FREITAS, 2008).

A Silagem de ração total é uma dieta balanceada, composta de uma mistura de ingredientes incluindo forragem e concentrado a qual se destina ao atendimento às exigências de determinada categoria animal (XIE et al., 2020).

Segundo o levantamento realizado por Neri et al. (2019), a composição química das silagens de TMRs têm apresentado em média os teores 52,5; 16,5; 32,7; 28,2% para MS, proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e amido, respectivamente. Em trabalhos realizados por Zanine, et al. (2022) utilizando silagens de ração total a base de cana-de-açúcar com inclusão de subprodutos do babaçu em dietas de ovinos, há melhorias na composição química e na qualidade fermentativa da silagem, como exemplo as concentrações de MS ficaram entre 344,39 a 352,32 (g kg⁻¹), que de acordo com a classificação desses teores de MS proposto por McDonald et al. (1991) (300 a 350 g kg⁻¹), as silagens permaneceram dentro da faixa ideal.

No mercado brasileiro, o comércio de silagens de dieta total está se tornando uma realidade em algumas regiões e isto pode ser uma estratégia eficiente para otimização do uso de resíduos úmidos e coprodutos em dietas para ruminantes (SCHMIDT et al., 2017). Outra vantagem da dieta total ensilada é a possibilidade de aumentar a digestibilidade do amido pelo processo de hidrólise, sendo o amido um ingrediente caro e com grande concentração na dieta de terminação de bovinos de corte, resultando em uma economia ao produtor e menor poluição ao meio ambiente. Outro benefício é a sua utilização com um alimento único para os animais a pronto uso, proporcionando mais uma opção para produtores que possuem limitações de mão de obra, maquinários e para os que não conseguem formular uma dieta adequada para seus animais (MIYAJI; NONAKA, 2018).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização do experimento

O experimento foi realizado na área do Centro de Ciências de Chapadinha da Universidade Federal do Maranhão, no Município de Chapadinha, Região do Baixo Parnaíba, situada a 03°44'33"S de latitude, 43°21'21"W de longitude, no período de 25 de junho a 13 de outubro de 2023. O padrão climático da região é classificado como Aw, segundo classificação

de Köppen (1948), com estação chuvosa de dezembro a abril e precipitação média de 1.670 mm ano⁻¹. A estação seca é representada pelos meses maio a final de dezembro com precipitação média inferior a 6 mm, e de forma casual. Durante o período experimental a precipitação foi de 0 mm e os dados de temperatura (°C), umidade relativa (%) são apresentados na Figura 1.

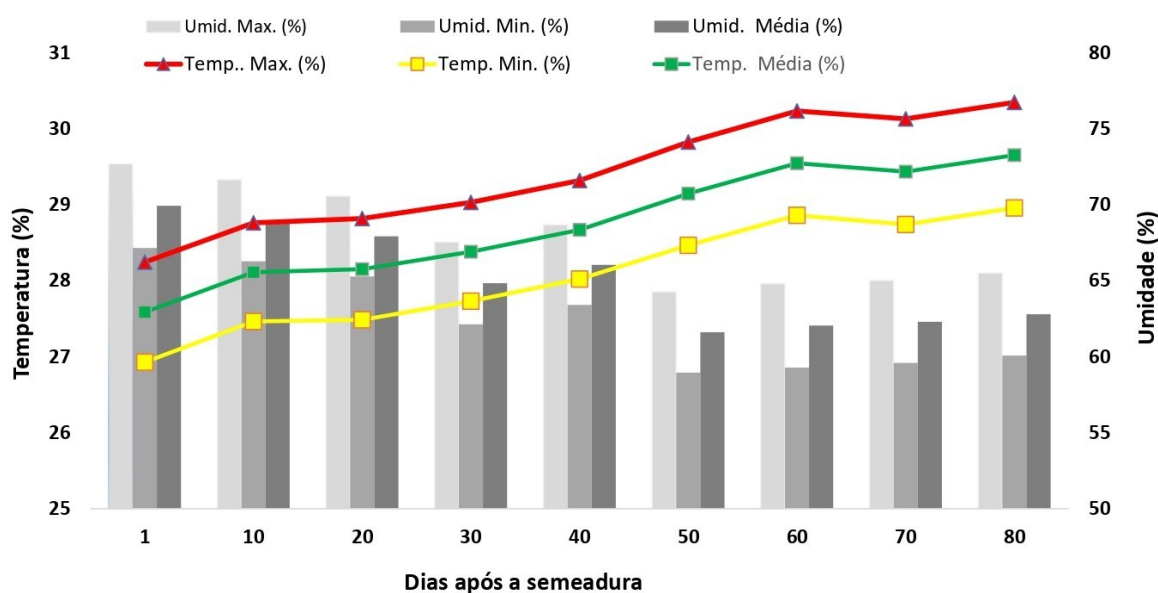


Figura 1-Condições experimentais da área do experimento, Temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa máxima, média e mínima.

4.2 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o delineamento em blocos casualizados, em um esquema fatorial 4×2 , com quatro repetições, totalizando 32 unidades experimentais. O primeiro fator consistiu nas doses de silício (0, 4, 8 e 12 kg ha⁻¹) correspondente a 0; 0,96; 1,90 e 2,85 mmol L⁻¹ de silício na solução em cada aplicação, enquanto o segundo fator foi a inoculação das sementes com as cepas de *Azospirillum brasilense* (cepas Ab-V5 e Ab-V6), na proporção de 50% de cada. O milho utilizado foi o híbrido feroz vip 3 (SYN8A98 TLTG Viptera).

Para a produção das silagens, o milho foi colhido aos 81 dias após o plantio, quando os grãos das espigas apresentaram aspecto farináceo duro, ou seja, 50% da linha do leite e ensilado conforme cada tratamento produzido assim três tipos de silagem (planta do milho puro, silagem de ração total à base de milho para bovinos de leite e silagem de ração total à base de milho para ovino de corte).

4.3 Plantio e adubação

O solo da área experimental é classificado como latossolo amarelo, com textura franco-arenoso (SANTOS, et al., 2018), Já na classificação internacional o solo da área é classificado como *Ferralsols* (WRB, 2006). Foram coletadas amostras de solo na camada de 0-20 cm para caracterização química e física do solo. Realizou-se a correção do solo com base nos resultados da análise de solo. Para isso, utilizou-se calcário dolomítico com PRNT de 90%, sendo aplicados 0,79 toneladas por hectare para elevar a saturação de base para 70%, conforme recomendado para a cultura do milho. As características químicas e físicas do solo podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1-Características químicas e física da análise de solo.

Análise química											
pH	P	K ⁺	H ⁺ +Al ⁺³	Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	SB	CTC	V	MO	
H2O	— mg dm ⁻³ —			cmol _c dm ⁻³			%	%	%	g kg ⁻¹	
0-20	5,5	3,88	0,07	1,9	0,05	1,2	0,80	2,1	4,0	52,2	17,0
Análise física											
Areia total				Silte				Argila			
g kg ⁻¹											
0-20	726,845			168,375			104,8				

Nota: pH: hidrogênio potencial; P: fósforo; K⁺: potássio; H⁺+Al³⁺: acidez potencial; Al³⁺: alumínio; Ca⁺²: cálcio; Mg⁺²: magnésio; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátion; V %: saturação base; MO: matéria orgânica.

Durante a fertilização do plantio, foi utilizado a formulação 08-28-16, com base na análise do solo e das necessidades da cultura do milho, e 30 dias após a emergência das plantas uma dose de 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio, em cobertura.

A área do experimento foi de 263 m², com 32 parcelas de 6m² (3x2 m) cada, apresentando espaçamento 0,6 m entre linhas e 0,2 m entre covas, seguindo um espaçamento de 0,5 m entre parcelas e 1 m entre blocos. Cada parcela foi composta de 40 plantas, totalizando 1280 plantas em toda a área experimental e densidade de 66666 plantas ha⁻¹ (Figura 2). A semeadura ocorreu de forma manual, as covas foram abertas com o auxílio de enxada com profundidade de aproximadamente 3-5 cm. Para a inoculação da semente foi realizada a pesagem de 0,5 kg de semente e inoculada com 2 ml do Inoculante GRAP NOD A L (1,5LT = 15 doses) - *Azospirillum Brasilense* – Agrocete.

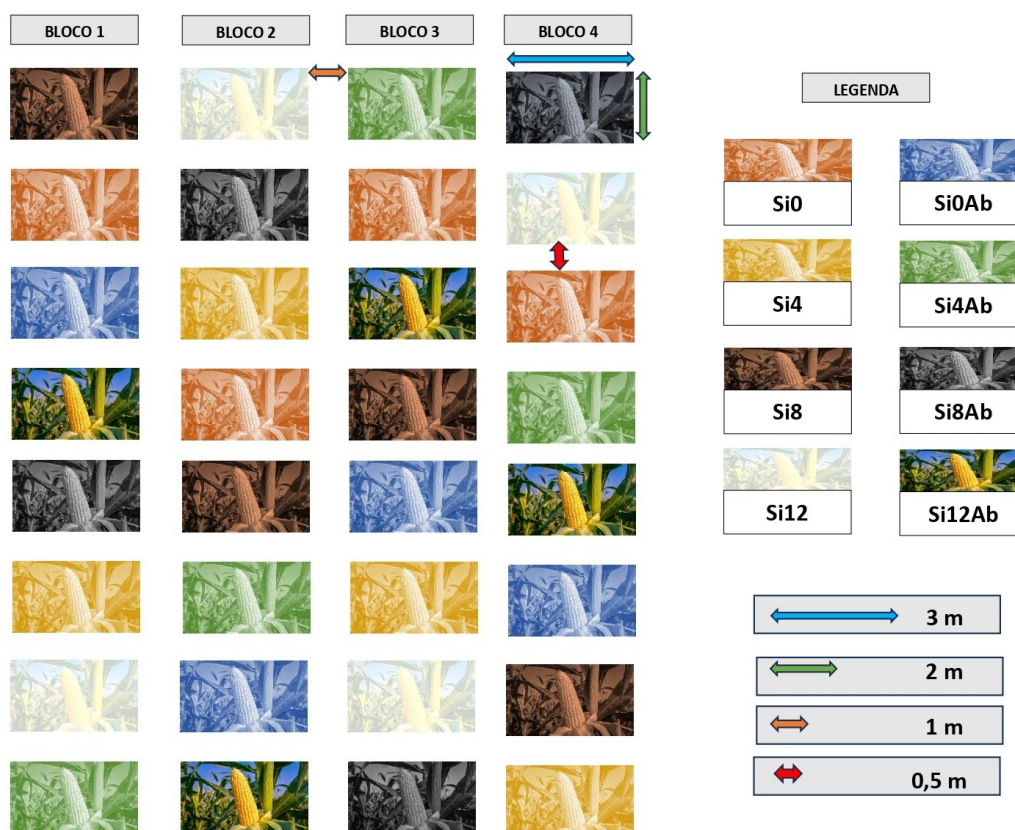


Figura 2-Croqui da área experimental e distribuição dos tratamentos doses de silício fornecidas via fertirrigação com e sem inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*.

4.4 Aplicação do silício e irrigação

A administração de silício nas plantas foi distribuída em seis aplicações, sendo três durante a fase vegetativa e três durante a fase reprodutiva. Para a diluição do silício, utilizou-se uma caixa d'água de 1000 L, das quais foram reservados 70 L para cada um dos tratamentos (0, 4, 8 e 12 kg ha⁻¹ de silício), correspondente a 0; 0,96; 1,90 e 2,85 mmol L⁻¹ de silício na solução em cada aplicação. Cada planta recebeu 0,375 ml da diluição aplicado localizadamente e a fonte de silício utilizada foi o silicato de sódio estabilizado com sorbitol (Silício= 115,2 g L⁻¹, Na₂O = 60,5 g L⁻¹).

Para garantir a umidade do solo, a área foi irrigada duas vezes ao dia, às 6h e 17h, com uma lâmina de água de 4,5 milímetros por dia, totalizando 364,5 mm ao longo do período experimental. Foram utilizadas quatro fitas microperfuradas (28,5 mm) com raio de alcance de 1,5 m². na área experimental as fitas foram distribuídas de maneira que permanecessem uma fita no centro de cada parcela, para cada duas fitas utilizava-se o tempo de 25 minutos de irrigação.

4.5 Tratos culturais

Foi realizado raleio para que cada cova permanecesse somente com uma planta de milho. Durante o período experimental foram realizadas capinas manuais, aos 30 e 55 dias após a semeadura, além de uma aplicação de inseticida para controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*). Com o objetivo reduzir o crescimento de ervas daninhas e pragas que pudessem interferir no desenvolvimento da cultura principal.

4.6 Avaliação morfoprodutiva de biomassa e grãos

Foram colhidas duas plantas representativas, localizadas nas linhas centrais de cada parcela, excluindo-se as bordaduras para que fossem realizadas as mensurações e coleta de dados das características morfoagronômicas, totalizando 64 plantas avaliadas. As seguintes variáveis foram analisadas:

Número de folhas vivas por plantas: foi contabilizada as folhas que apresentassem limbos totalmente expandidos e fotossinteticamente ativas (unid).

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

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

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

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

O diâmetro do colmo (mm): Mensurado com um paquímetro em milímetros, no terceiro nó da planta a partir do solo (mm).

O diâmetro da espiga sem palha (mm) e com palha (mm): Medido com um paquímetro em milímetros, tomando a medida na parte central da espiga com e sem a palha (mm).

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

Peso de colmo (g kg⁻¹): Os colmos foram pesados em uma balança digital com capacidade para 5 kg.

Peso das espigas e de grãos (g kg^{-1}): pesados com uma balança digital de precisão de forma conjunta e separadamente (grãos separados).

Produtividade de grãos (t ha^{-1}): Foi determinada após separação do grão do sabugo das espigas colhidas dentro da área útil. Os grãos foram pesados em uma balança de precisão com duas casas decimais e os pesos foram posteriormente convertidos em kg/ha .

Produção de matéria seca (t ha^{-1}): Foi obtido pela multiplicação do peso da matéria verde pela porcentagem de matéria seca.

Produção de matéria seca de colmo (t ha^{-1}): calculada pela multiplicação do peso do colmo pela porcentagem de matéria seca.

Produção de matéria seca de folha (t ha^{-1}): Foi calculada multiplicando-se o peso das folhas pela porcentagem de matéria seca.

Produção de matéria seca de espiga (t ha^{-1}): Foi obtido pela multiplicação do peso da espiga pela porcentagem de matéria seca.

Produção de matéria verde (t ha^{-1}): Foi obtido pela multiplicação do peso médio fresco por planta pela densidade de plantas equivalente por hectare.

Produção de grãos (t ha^{-1}): Foi calculada multiplicando-se a medida correspondente a 1 hectare (10.000m^2) pelo peso dos grãos, dividido pelo tamanho da parcela.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.7 Análise de macro e micronutriente da folha, colmo, grão e raiz.

Logo após a colheita, o material foi pré-secado, triturado em moinho tipo willey em peneira com crivo de 1 mm. As amostras foram submetidas às 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) quantificados 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 foram realizados em espectrofotômetro de absorção atômica.

4.8 Relações estequiométricas carbono, nitrogênio, fósforo e silício

As razões estequiométricas foram calculadas a partir das razões das concentrações de C, N, P e Si, resultando em razões C:N, C:N:P e C:N:P:Si.

4.9 Processo de Ensilagem

O milho foi cortado aos 81 dias após a semeadura, o corte foi realizado aproximadamente 20 cm do solo, quando os grãos apresentaram aspecto farináceo duro, ou seja, 50% da linha do leite. Logo após a colheita, o milho foi processado em máquina picadeira estacionária e em seguida ensilado em silos experimentais 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. Posteriormente, a mistura dos ingredientes foi

realizada manualmente. Nesse momento, amostras da mistura in natura foram coletadas para avaliação químico-bromatológica das dietas (Tabela 2). Essas amostras foram condicionadas em sacos de plástico e de papel; as amostras armazenadas em sacos de plástico foram mantidas em freezer para análises posteriores, enquanto as amostras em sacos de papel foram submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada a 65°C e moídas para as análises.

Tabela 2-Composição químico-bromatológica dos ingredientes e das dietas.

Composição química (%)	Milho moído	Soja	Milho	SRTBL ¹	SRTOC ²
Matéria seca	90,96	91,10	29,87	29,66	29,41
Cinzas	2,55	6,42	4,46	6,10	6,28
Proteína bruta	10,66	38,80	5,86	14,90	18,72
Fibra em detergente neutro	20,98	14,80	57	49,35	45,82

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

¹Silagem de ração total para bovinos de leite

²Silagens de ração total para ovino de corte

As silagens de ração total foram formuladas de maneira específica para cada categoria de animal. Para os bovinos de leite, as silagens tinham uma relação volumoso: concentrado de 60:40 (Tabela 3), sendo formuladas de acordo com o BR-corte 4.0. Os concentrados usados foram o farelo de soja, milho moído, uréia, sal mineralizado e fosfato bicálcico de modo a atender as exigências nutricionais de bovinos de leite com 450kg de peso corporal.

Já para os ovinos de corte as dietas foram formuladas para atender as exigências, de ovinos em crescimento pesando, em média 20kg e ganho de peso médio diário de 200g, com uma relação volumoso:concentrado de 50:50 NRC, 2007 (Tabela 3).

Tabela 3-Proporção dos ingredientes usados para a formulação das Silagem de ração total.

Ingredientes (%MS)	Milho	Dietas	
		SRTBL ¹	SRTOC ²
Milho	100	60	50
Milho moído	-	19,5	28,5
Farelo de soja	-	19	20
Ureia	-	0,3	0,4
Sal mineral	-	1,2	1,1

¹Silagem de ração total para bovinos de leite

²Silagens de ração total para ovino de corte

Após a homogeneização dos ingredientes a mistura foi condicionada em silos com capacidade de 3,6L (altura:156,5 mm e largura:193,6 mm), adaptados com válvula tipo Bunsen para eliminação dos gases produzidos durante a fermentação. Foi adicionado no fundo dos silos

1kg de areia previamente seca em estufa 105°C, que foi separada dos ingredientes por um tecido de algodão para evitar a contaminação e permite o escoamento do efluente para posterior quantificação. O material foi compactado com soquetes de PVC, inserindo $\pm 3,5$ kg 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.

4.10 Perfil fermentativo

Com 120 dias de armazenamento os silos foram pesados e abertos. A silagem foi removida dos silos manualmente, descartando a parte superior, feito a coleta de amostras para a realização das avaliações quanto ao perfil fermentativo e composição químico-bromatológica.

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

O teor de nitrogênio amoniacal como parte do nitrogênio total (N-NH₃%) foi determinado utilizando-se 15g de silagem fresca pelo método de Kjeldal e expresso em percentual do nitrogênio total da silagem (NOGUEIRA e SOUZA, 2005). Essas amostras foram processadas no liquidificador, juntamente com 80mL de solução de cloreto de potássio 15% durante 5 minutos, sendo filtrados e coletados 10mL. O material foi colocado em um tubo digestor contendo 250mg de óxido de magnésio calcinado e posteriormente destilado para determinação do nitrogênio.

A capacidade tampão (CT) foi realizada pela metodologia proposta por Mizubuti et al., 2009, que consiste na coletadas 15g de amostras das silagens e transferido para um liquidificador industrial junto com 250ml de água destilada, sendo então processado. Em seguida, utilizando um potenciômetro, o material foi titulado primeiro até pH 3,0 com HCL 0,1 N para liberar os bicarbonatos como dióxido de carbono. Posteriormente, foi realizada a titulação até pH 6,0 com NaOH 0,1 N, registrando-se o volume gasto de NaOH necessário para atingir pH 4,0 e 6,0.

4.11 Perdas durante o processo fermentativo e recuperação de matéria seca

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

Perdas por gases:

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

Em que:

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

PSf = peso do silo na ensilagem;

PSa = peso do silo na abertura;

MFf = massa de forragem na ensilagem;

MSf = teor de MS da forragem na ensilagem;

Perdas por Efluentes:

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

Em que:

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

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

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

MVfe = Massa verde de forragem ensilada (kg);

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

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

Em que:

RMS = índice de recuperação de matéria seca;

MFab= massa de forragem na abertura;

MSab= teor de MS na abertura;

MFfe = massa de forragem no fechamento;

Msfe = teor de MS da forragem no fechamento.

4.12 Análise microbiológica

Foram coletados e pesados aproximadamente 10g de silagem fresca mediante a abertura dos silos. Em seguida, utilizou-se o meio de cultura ágar MRS (Difco, Detroit, Michigan, EUA),

ao qual foi adicionado 0,1% de ácido acético, para a contagem das bactérias ácido lácticas (BAL). Mofos e leveduras foram quantificados utilizando a técnica de *pour-plating* em meio BDA (batata dextrose ágar, KASVI®), o qual foi acidificado com 1,5% de ácido tartárico (Figura 3 B). As culturas de BAL e ML foram incubadas em uma estufa BOD a 35 °C por 48 e 72 horas, respectivamente. Foram realizadas diluições em série e em duplicata, abrangendo concentrações que variaram de 10^{-2} a 10^{-6} para o plaqueamento, seguindo a metodologia proposta por González et al. (2003). As placas foram consideradas suscetíveis à contagem quando apresentavam valores entre 30 e 300 unidades formadoras de colônias (UFC).

4.13 Análises química-bromatológicas

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) 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 e extrato etéreo (EE) pelo método 920,39 (AOAC, 2012).

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 $MO = 100 - MM$.

Os nutrientes digestíveis totais foram estimados segundo a metodologia de Van Soest (1994), pela equação: $NDT (\%) = Deg + (1,25 * EE) - MM$. (Deg = Degradabilidade; 1,25 = fator de correção; EE = Extrato Etéreo; MM = Matéria Mineral).

4.14 Estatística

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

Para os parâmetros sanidade, cor do grão e dureza foi realizada análise descritiva atribuindo-se notas conforme as observações das variáveis.

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

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

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 *Azospirillum brasilense*,
- $(\tau\beta)_{ij}$ é o efeito de interação entre a dose de silício e a inoculação com *Azospirillum brasilense*,
- a_k é o efeito aleatório das repetições,
- ε_{ijt} é o termo de erro experimental aleatório.

5 RESULTADOS

5.1 Característica morfoprodutiva do híbrido de milho

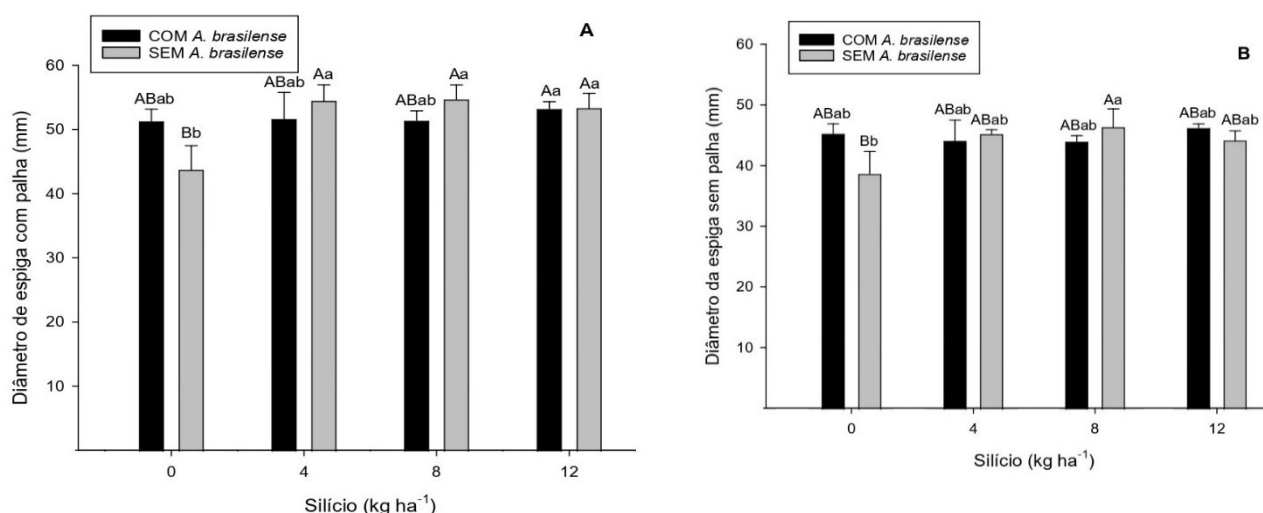
Observou-se interação entre *Azospirillum brasilense* x Silício para o Diâmetro da espiga com palha (DECP; P=0,018), Diâmetro da espiga sem palha (DESP; P=0,044), Comprimento da espiga sem palha (CESP; P=0,0013) e Peso da espiga com palha (PECP; P=0,028) (Tabela 4). Além disso a utilização de *Azospirillum brasilense* e doses de silício não afetou o número de folhas vivas por planta (NFVp), Número de folhas mortas por planta (NFMp), Altura de planta até inserção da espiga (APIE), Altura da planta até a ponta da inflorescência (APPI), Altura da planta até a folha bandeira (APFB), Diâmetro do colmo (DC) e Comprimento da espiga sem palha (PESP; P=0,052) (Tabela 4).

Tabela 4-Valores médio das características morfoprodutiva do milho híbrido fertirrigado com silício, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Variáveis	<i>Azospirillum 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
NFVp (n°)	9,09	9,13	0,205	9	8,94	8,94	9,56	0,290	0,915	0,374	0,956
NFMp (n°)	0,53	0,50	0,125	0,68	0,62	0,25	0,5	0,177	0,861	0,337	0,478
APIE (cm)	69,13	71,46	2,335	70,00	68,42	67,83	74,92	3,303	0,491	0,444	0,212
APPI (cm)	186	194	0,065	194	174	191	199	0,093	0,405	0,272	0,729
APFB (cm)	184	185	0,043	181	183	187	189	0,061	0,878	0,793	0,192
DC (cm)	19,55	19,65	0,474	18,18	20,55	19,98	19,69	0,671	0,888	0,124	0,186
DECP (cm)	5,159	5,192	0,824	4,755	5,308	5,308	5,330	1,166	0,784	0,008	0,018
DESP (cm)	4,361	4,491	0,760	4,198	4,468	4,518	4,520	1,075	0,245	0,154	0,044
CECP (cm)	27,83	30,42	0,528	26,75	28,83	30,25	30,67	0,747	0,004	0,009	0,936
CESP (cm)	16,13	17,48	0,337	16,04	16,96	17,08	17,13	0,478	0,075	0,364	0,013
PECP(kg)	0,23	0,25	0,008	0,20	0,25	0,26	0,26	0,012	0,056	0,008	0,028
PESP (kg)	0,16	0,17	0,010	0,14	0,19	0,17	0,17	0,014	0,528	0,150	0,052

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

O *Azospirillum brasilense* influenciou de maneira exclusiva CECP (P=0,004) com maior valor médio na presença do inoculante (30,42cm) em relação ao tratamento controle (27,83cm). Observou-se efeito linear positivo para o CECP (P=0,009) com o aumento das doses de silício com variação média de 26,75 para 30,6Zcm e aumento de 12,78% (Tabela 4).



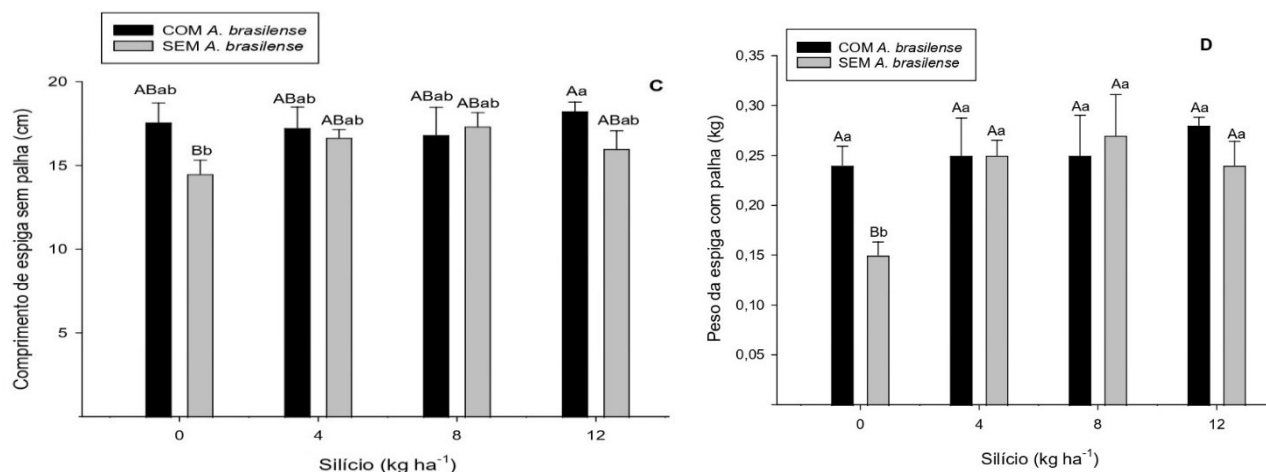


Figura 3- Efeito da interação dos níveis de silício x inoculação de *Azospirillum brasilense* no diâmetro de espiga com palha (A), diâmetro de espiga sem palha (B), comprimento de espiga sem palha (C) e peso da espiga com palha (D). Letras maiúsculas distintas, diferem para níveis de silício dentro da inoculação (com ou sem) *Azospirillum brasilense* e minúsculas distintas, diferem para inoculação (com ou sem) *Azospirillum brasilense* dentro de cada níveis de silício.

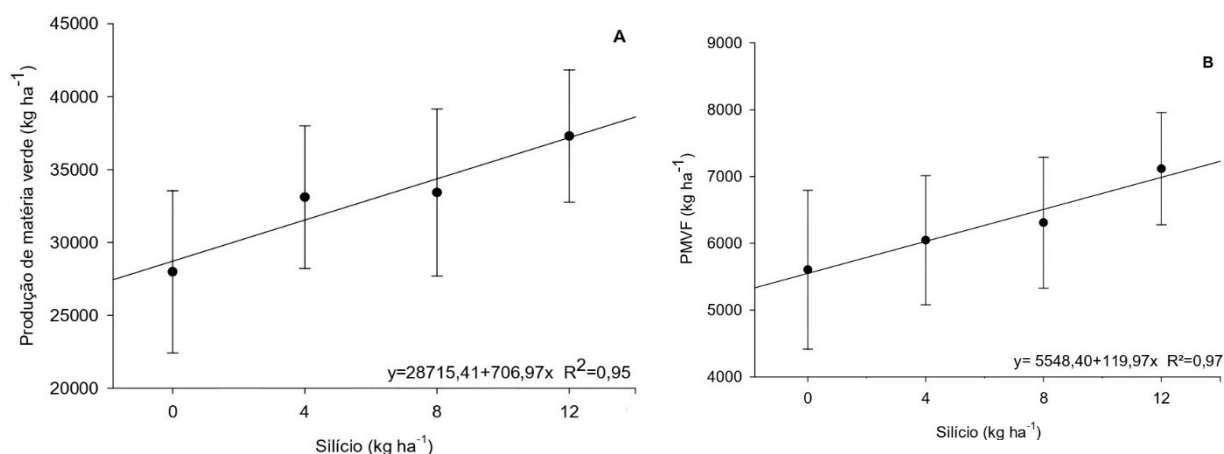
Não houve interação ($P > 0,05$) entre a utilização do *Azospirillum brasilense* a aplicação de silício para produção de matéria verde (PMV), produção de matéria seca (PMS), produção de matéria seca de folha (PMSF), de colmo (PMSC) e de espiga (PMSE), produção de grãos e percentual dos constituintes do milho (tabela 5). A produção de espiga (PMVE) foi afetada ($P = 0,048$) quando houve a aplicação da bactéria *Azospirillum brasilense* sem a aplicação de silício (Tabela 5).

Tabela 5 - Características produtivas do híbrido de milho fertirrigado com diferentes doses de silício, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Variáveis (kg/ha)	<i>Azospirillum 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
PMV	31464,58	34450,00	1095,07	27983,33	33112,50	33429,17	37304,17	1548,67	0,107	0,011	0,092
PMS	10025,00	10650,00	509,18	9125,00	10250,00	10791,67	11183,33	720,09	0,423	0,279	0,146
PMVF	6083,33	6454,16	231,800	5604,16	6045,83	6308,33	7116,66	327,81	0,299	0,037	0,076
PMSF	2716,66	2291,66	334,86	2250,00	2291,66	3175,00	2300,00	473,57	0,389	0,479	0,370
PMVC	10306,25	11139,58	447,09	9383,33	10945,83	10158,33	12404,17	632,28	0,220	0,023	0,119
PMSC	3466,66	3737,50	120,35	3283,33	3750,00	3408,33	3966,66	170,21	0,260	0,260	0,385
PMVE	9779,16b	11150,00a	419,31	9066,66	10412,50	10870,83	11,508,33	592,99	0,048	0,086	0,168
PMSE	3841,66	4620,83	319,61	3591,66	4208,33	4208,33	4916,66	452,00	0,081	0,217	0,135
PMVEP	14989,58	16256,25	547,56	12962,50	15712,50	16350,00	17466,67	774,37	0,154	0,008	0,113
Grãos	2458,33	3004,16	185,96	2800,00	3137,50	2758,33	2229,16	262,99	0,071	0,198	0,272
<i>Percentual dos constituintes do milho (%)</i>											
Folha	19,515	18,688	1,86	20,053	18,305	18,957	19,090	2,64	0,098	0,108	0,135
Colmo	33,001	32,137	0,92	33,908	32,855	30,437	33,074	1,30	0,323	0,051	0,072
Espiga	47,362	47,459	1,80	46,198	47,408	48,880	47,084	2,55	0,909	0,181	0,120
<i>Matéria seca dos constituintes do milho (%)</i>											
Folha	26,352	21,635	0,79	25,256	23,040	26,885	20,792	1,12	0,084	0,400	0,361
Colmo	35,675	35,004	0,68	36,421	36,875	32,344	35,716	0,96	0,674	0,196	0,090
Espiga	37,972	43,360	0,93	38,321	40,083	40,769	43,491	1,32	0,058	0,604	0,379

PMV:produção de matéria verde, PMS: produção de matéria seca, PMVF:produção de matéria verde de folhas , PMSF:produção de matéria seca de folhas , , PMVC:produção de matéria verde do colmo. , PMSC:produção de matéria seca de colmo. , PMVE:produção de espiga. , PMSE:produção de matéria seca de espiga. , PMVEP: produção de espiga com palha

Observou-se efeito linear positivo na produção de matéria verde (PMV; P=0,011), produção de matéria verde de folhas (PMVF; P=0,037) e produção de espiga com palha (PMVEP; P=0,008) do milho quando exposto de forma exclusiva a aplicação de silício (Tabela 5, figuras 4A, 4B, 4D). A figura 4C mostra o efeito quadrático para a produção de matéria verde do colmo (PMVC; P=0,023).



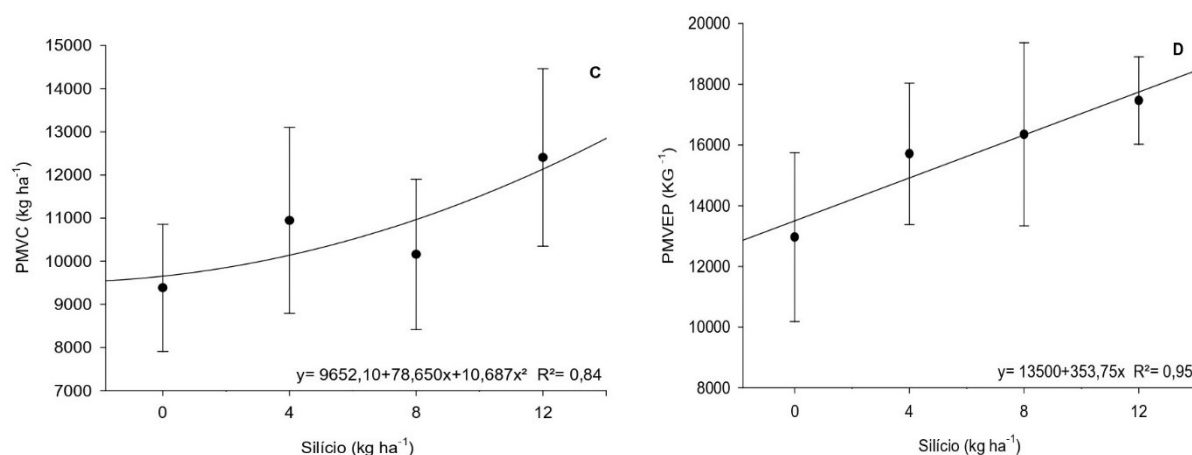


Figura 4 - Efeito dos níveis de silício na produção de matéria verde (A), produção da matéria verde da folha (B), produção da matéria verde do colmo (C) e produção da matéria verde da espiga com palha (D).

5.2 Sanidade folha, colmo e Grão.

Com relação à variável sanidade de ataque de colmo e folhas e características dos grãos de híbridos de milho, observou-se que todos os tratamentos sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense* e com diferentes doses de silício apresentaram a sanidade de ataque ao colmo excelente (1) e a folhas altamente resistentes (1), grãos semiduros, sem a presença de grãos ardidos (1) e de cor amarela. (Tabela 6).

Tabela 6- Sanidade das folhas, colmos e características dos grãos de híbrido de milho fertirrigado com silício, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Tratamento	Sanidade de ataques		Grãos			
	Colmo	Folhas	Dureza	Ardidos	Cor	Falhado
Si0	1	1	Semiduro	1	Amarelo	1
Si0AB	1	1	Semiduro	1	Amarelo	1
Si4	1	1	Semiduro	1	Amarelo	1
Si4AB	1	1	Semiduro	1	Amarelo	1
Si8	1	1	Semiduro	1	Amarelo	1
Si8AB	1	1	Semiduro	1	Amarelo	1
Si12	1	1	Semiduro	1	Amarelo	1
Si12AB	1	1	Semiduro	1	Amarelo	1

Si0- dose 0 de silício sem *Azospirillum*, Si0AB- dose 0 de silício com *Azospirillum*, Si4- dose 4 de silício sem *Azospirillum*, Si4AB- dose 4 de silício com *Azospirillum*, Si8- dose 8 de silício sem *Azospirillum*, Si8AB- dose 8 de silício com *Azospirillum*, Si12- dose 12 de silício sem *Azospirillum*, Si12AB- dose 12 de silício com *Azospirillum*.

5.3 Composição macro e micronutrientes da folha, colmo, grão e raiz

Não foi observado efeito da utilização do *Azospirillum brasilense* e silício na composição dos macro e micronutrientes ($P>0,05$) das folhas de híbrido de milho (Tabela 7). No entanto, o *Azospirillum brasilense* afetou o percentual de fósforo das folhas do milho com maiores valores observados quando se utilizou o inoculante ($2,45\text{g kg}^{-1}$) em relação a ausência de *Azospirillum brasilense* ($1,97\text{g kg}^{-1}$) (Tabela 7).

Tabela 7- Composição macro e micronutriente da folhas de híbrido de milho fertirrigado com silício, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Variáveis	<i>Azospirillum 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	4,52	3,99	0,028	3,98	4,0	5,0	4,0	0,040	0,212	0,238	0,068
Fósforo	1,97	2,45	0,141	1,895	2,31	2,20	2,45	0,200	0,023	0,272	0,064
Potássio	25,65	26,34	2,707	28,19	25,63	24,31	25,87	3,829	0,859	0,910	0,863
Cálcio	11,10	10,65	0,402	11,27	11,43	10,958	9,85	0,568	0,441	0,226	0,177
Magnésio	6,763	6,82	0,274	6,875	6,946	6,820	6,526	0,387	0,886	0,877	0,599
Enxofre	2,15	2,19	0,087	2,06	2,22	2,01	2,38	0,123	0,745	0,181	0,204
Silício	1,47	1,21	0,014	1,50	1,42	1,10	1,35	0,020	0,2407	0,571	0,3575
Micronutrientes (mg kg)											
Boro	33,80	37,63	2,467	37,75	31,75	35,41	37,95	3,480	0,284	0,572	0,172
Cobre	25,73	24,48	1,002	26,08	27,75	24,15	22,43	1,417	0,388	0,074	0,802
Ferro	240,07	276,88	15,403	273,90	237,26	227,34	295,41	21,783	0,105	0,127	0,881
Manganês	10,23	12,09	1,483	10,01	11,32	9,64	13,68	2,098	0,386	0,530	0,222
Zinco	41,02	35,99	2,316	41,51	43,65	37,82	31,04	3,276	0,139	0,062	0,772
Sódio	1741,25	1744,00	85,405	1711,75	1668,75	1706,25	1883,75	120,78	0,982	0,602	0,648

Também não foi observado efeito da utilização do *Azospirillum brasilense* e silício na composição dos macro e micronutrientes ($P>0,05$) do colmo de híbrido de milho (Tabela 8). No entanto, observou-se efeito quadrático na proporção de ferro ($p=0,007$) na utilização de silício na forma exclusiva. O ponto máximo obtido foi de $115,759\text{ mg Kg}^{-1}$ quando utiliza-se 4kg ha^{-1} de silício (Tabela 8).

Tabela 8- Composição macro e micronutriente do colmo de híbrido de milho fertirrigado com diferentes doses de silício, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Variáveis	<i>Azospirillum 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 ⁻¹)											
Nitrogênio	4,84	4,19	0,043	4,52	5,38	3,91	4,27	0,061	0,299	0,391	0,300
Fósforo	0,95	1,06	0,072	0,796	1,173	0,968	1,08	0,102	0,299	0,087	0,203
Potássio	11,56	11,03	0,852	13,56	10,18	10,43	11,00	1,206	0,664	0,208	0,898
Cálcio	3,14	3,2	0,124	3,13	3,10	3,15	3,29	0,175	0,755	0,874	0,976
Magnésio	3,77	3,87	0,089	3,94	3,76	3,85	3,74	0,126	0,407	0,651	0,493
Enxofre	1,20	1,32	0,074	1,477	1,137	1,096	1,343	0,104	0,295	0,058	0,068
Silício	2,32	2,01	0,013	2,27	2,42	1,72	2,25	0,018	0,138	0,128	0,153
Micronutrientes (mg kg ⁻¹)											
Boro	20,92	21,46	3,42	21,97	24,63	19,53	18,63	4,838	0,912	0,818	0,759
Cobre	18,34	18,21	0,839	19,25	20,06	16,66	17,13	1,186	0,910	0,158	0,961
Ferro	126,81	116,18	5,219	108,90	146,44	113,76	116,87	7,380	0,164	0,007	0,610
Manganês	29,30	27,43	2,375	29,89	32,67	27,16	23,76	3,358	0,583	0,304	0,873
Zinco	33,50	30,23	2,363	35,95	30,03	26,15	26,34	3,342	0,339	0,022	0,631
Sódio	683,75	689,06	67,373	752,00	714,87	658,75	620,00	95,27	0,956	0,770	0,872

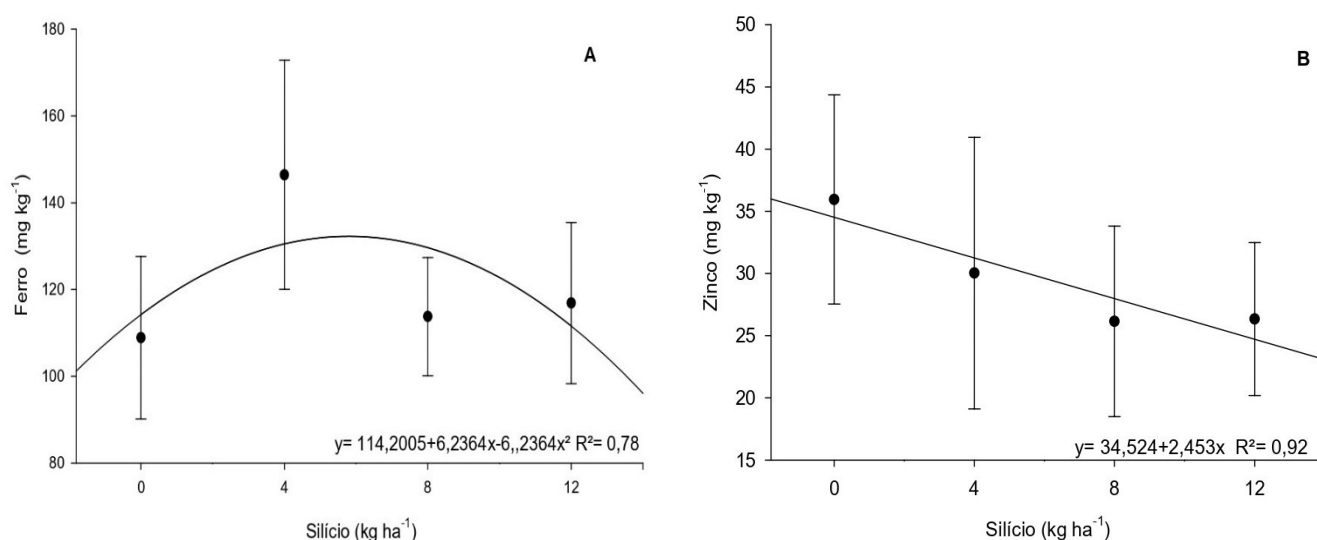


Figura 5- Efeito dos níveis de silício na proporção de Ferro(A) e Zinco (B) no colmo do milho.

Observou-se interação entre o *Azospirillum brasilense* x silício para o micronutriente Manganês ($P=0,033$). A inoculação *Azospirillum brasilense* afetou isoladamente a proporção de magnésio ($P=0,049$) nos grãos de híbridos de milho com maiores valores observados nos grãos que foram inoculados (3,84g kg) em relação aos não inoculados (3,58g kg) (Tabela 9).

Tabela 9- Composição macro e micronutrientes do grão de híbrido de milho fertirrigado com diferentes doses de silício, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Variáveis	<i>Azospirillum 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 ⁻¹)											
Nitrogênio	16,12	15,74	0,054	15,54	15,89	16,34	15,96	0,076	0,625	0,906	0,482
Fósforo	0,88	0,80	0,117	0,69	0,82	0,94	0,90	0,165	0,636	0,724	0,563
Potássio	12,00	12,00	0,633	11,75	13,12	11,25	11,87	0,896	0,997	0,512	0,533
Cálcio	7,03	7,46	0,213	7,09	7,41	7,21	7,27	0,301	0,164	0,893	0,313
Magnésio	3,58	3,84	0,089	3,57	3,66	3,81	3,80	0,127	0,049	0,487	0,173
Enxofre	2,39	2,97	0,742	3,72	2,15	2,40	2,44	1,050	0,586	0,720	0,285
Micronutrientes (mg Kg ⁻¹)											
Boro	26,79	28,74	3,543	28,00	19,61	29,49	33,96	5,011	0,700	0,261	0,802
Cobre	23,23	21,67	1,758	22,32	21,33	23,24	22,92	2,487	0,538	0,951	0,643
Ferro	48,76	52,87	2,059	52,88	45,43	49,75	55,21	2,912	0,172	0,129	0,372
Manganês	1,56	2,34	0,196	2,00	1,67	2,18	1,96	0,277	0,010	0,627	0,033
Zinco	51,62	50,75	2,662	54,65	55,66	42,46	51,98	3,766	0,818	0,082	0,913
Sódio	909,50	944,06	25,99	854,62	957,50	875,00	1020,00	36,76	0,357	0,016	0,898

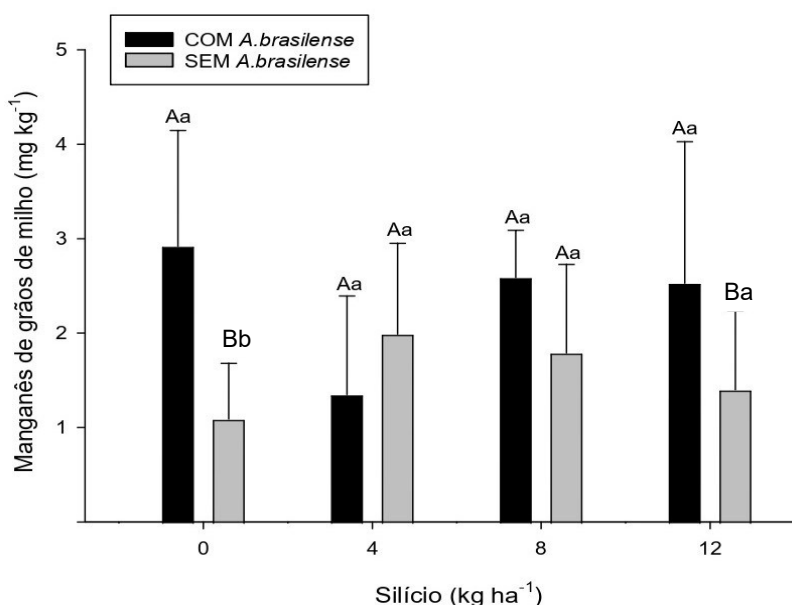


Figura 6 -Efeito da interação entre o *Azospirillum brasilense* x silícios na proporção de Magnésio em grãos de milho. Letras maiúsculas distintas, diferem para níveis de silício dentro da inoculação (com ou sem) *Azospirillum brasilense* e minúsculas distintas, diferem para inoculação (com ou sem) *Azospirillum brasilense* dentro de cada níveis de silício.

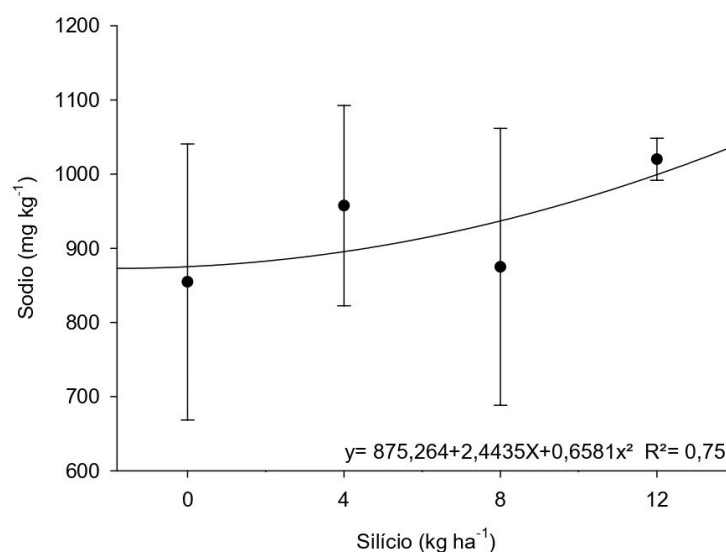


Figura 7- Efeito dos níveis de silícios na proporção de sódio em grãos de milho.

Observou-se interação entre *Azospirillum brasilense* x silício somente para as proporções de ferro ($P < 0,001$) na composição micronutriente da raiz, com valores superiores quando houve a aplicação de inoculante sem a adição de silício (Tabela 10).

Tabela 10 - Composição macro e micronutrientes da raiz de híbrido de milho fertirrigado com diferentes doses de silício, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Variáveis	<i>Azospirillum 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											
Fósforo	1,00	0,99	0,171	0,87	0,901	1,42	0,78	0,242	0,965	0,268	0,392
Potássio	7,96	7,96	0,427	6,75	8,18	8,31	8,62	0,604	0,997	0,161	0,910
Cálcio	8,19	8,16	0,130	7,98	8,02	8,26	8,44	0,184	0,891	0,284	0,695
Magnésio	3,40	3,42	0,077	3,23	3,41	3,53	3,48	0,109	0,856	0,270	0,894
Enxofre	1,37	1,43	0,088	1,29	1,33	1,46	1,51	0,124	0,624	0,573	0,863
Micronutrientes											
Boro	24,74	21,80	3,56	21,85	28,15	23,88	19,20	5,036	0,564	0,645	0,954
Cobre	10,78	11,19	1,730	11,52	11,44	11,31	9,69	2,440	0,868	0,943	0,874
Ferro	2221	2618	72,55	2592	2352	2469	2265	102,60	0,009	0,157	<0,001
Manganês	776,25	746,87	48,911	583,37	778,25	844,75	839,87	69,171	0,675	0,046	0,878

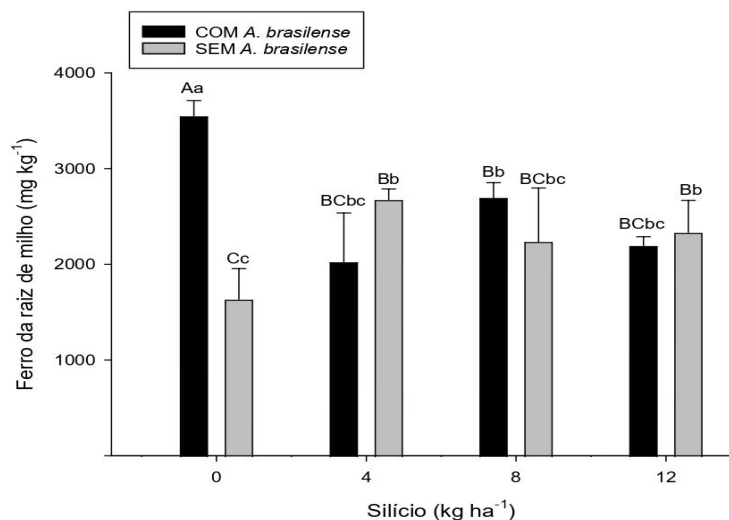


Figura 8- Efeito da interação entre o *Azospirillum brasilense* x silícios na proporção de Ferro na raiz de milho. Letras maiúsculas distintas, diferem para níveis de silício dentro da inoculação (com ou sem) *Azospirillum brasilense* e minúsculas distintas, diferem para inoculação (com ou sem) *Azospirillum brasilense* dentro de cada níveis de silício.

5.4 Relação estequiométrica do carbono, nitrogênio, fósforo e silício

Foi observado interação entre o *Azospirillum brasilense* e as dosagens de silício para a relação C:N ($P=0,0305$) (Tabela 11).

Tabela 11- Relação C:N, C:N:P e C:N:P:Si.

Variáveis	<i>Azospirillum brasilense</i>			Silício (kg ha ⁻¹)					P-valor		
	Sem	Com	EPM	0,0	4,0	8,0	12,0	EPM	AB	SI	AB x Si
C:N	49,49	51,41	1,108	48,89	55,26	53,18	44,47	1,568	0,2654	0,0078	0,0305
C:N:P	39,77	41,75	2,063	44,64	42,72	40,45	35,22	2,918	0,5171	0,2104	0,7349
C:N:P:Si	6,69	6,94	0,918	5,73	7,07	8,47	5,99	1,298	0,1545	0,2375	0,8537

C:N- Carbono: Nitrogênio; C:N:P- Carbono: Nitrogênio: Fosforo; C:N:P:Si- Carbono: Nitrogênio: Fosforo: Silício.

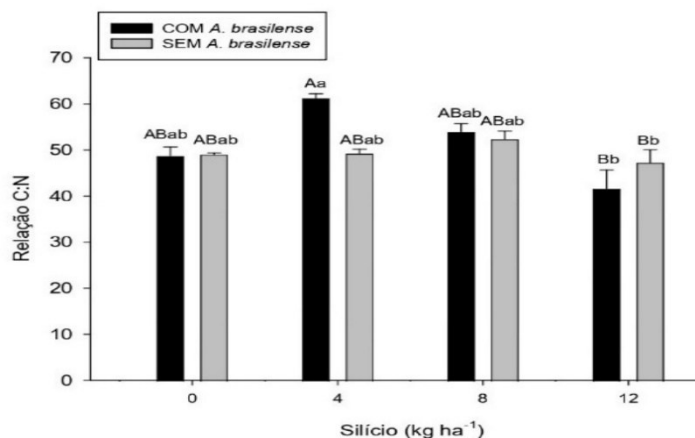


Figura 9- Efeito da interação entre o *Azospirillum brasilense* x silício na Relação C:N. Letras maiúsculas distintas, diferem para níveis de silício dentro da inoculação (com ou sem) *Azospirillum brasilense* e minúsculas distintas, diferem para inoculação (com ou sem) *Azospirillum brasilense* dentro de cada níveis de silício.

5.5 Composição químico-bromatológica de planta inteira do híbrido de milho

Não foi observado interação entre *Azospirillum brasilense* x silício para composição químico-bromatológica no híbrido de milho. Houve efeito linear positivo quando se utilizou apenas o silício para os valores médios de matéria mineral ($P=0,005$) e pH ($P=0,002$) (Tabela 12).

Tabela 12- Composição químico-bromatológica de híbrido de milho fertirrigado com silício e inoculado com *Azospirillum brasilense*.

Variáveis (g kg ⁻¹ MS)	<i>Azospirillum brasilense</i>			Silício (kg ha ⁻¹)					P-valor		
	Sem	Com	EPM	0,0	4,0	8,0	12,0	EPM	AB	SI	AB x SI
MS	292,0	295,3	0,770	305,1	306,0	292,9	281,1	1,090	0,668	0,638	0,502
MM	45,9	43,2	0,101	45,6	46,1	46,5	47,1	0,144	0,082	0,005	0,131
Proteína	66,47	64,92	1,108	56,51	56,73	56,99	57,7	1,567	0,370	0,943	0,152
FDN	57,72	56,28	1,108	565,1	567,3	569,9	577,9	1,567	0,3702	0,943	0,152
Hemicelulose	394,0	321,0	1,879	344,5	347,2	331,2	341,7	2,658	0,012	0,475	0,061
Celulose	16,82	16,76	0,051	17,17	16,70	16,03	17,27	0,073	0,939	0,627	0,058
pH	5,72	5,71	0,017	5,65	5,67	5,77	5,76	0,024	0,797	0,002	0,481

MS- Matéria seca; MM- matéria mineral; FDN- Fibra em detergente neutro; EPM: Erro padrão da média. *g kg⁻¹ matéria verde

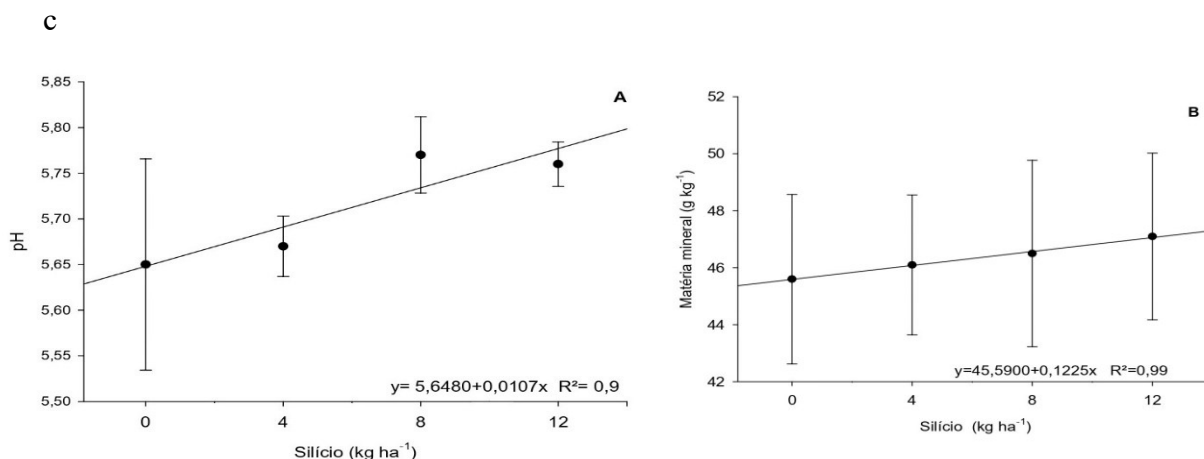


Figura 10- Efeito dos níveis de silício na proporção do pH (A) e matéria mineral (B) em cultivar plantas de milho.

5.6 Perfil fermentativo e perdas das silagens de Ração total para ovino, bovino e silagem exclusiva de híbrido de milho.

Observou-se interação entre *Azospirillum brasilense* x silício para a PE (P=0,007) e N-NH₃ (P=0,004) em silagens de ração total para ovinos a base de híbrido de milho (Tabela 13) e efeito quadrático na aplicação de silício para a RMS (p=0,026) (Figura 12).

Tabela 13- Perfil fermentativo e perdas em silagens de ração total para ovinos a base de híbrido de milho fertirrigado com diferentes doses de silício, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Variáveis	<i>Azospirillum 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
pH	5,11	4,90	0,104	5,38	4,86	4,82	4,97	0,147	0,176	0,051	0,591
PE	12,82	11,29	1,21	15,36	11,34	10,24	11,26	1,711	0,380	0,187	0,007
PG	45,0	51,30	0,513	38,2	44,3	55,7	54,5	0,726	0,398	0,288	0,223
N-NH ₃	37,86	38,68	1,902	52,44	32,99	29,80	37,84	2,69	0,762	<0,001	0,004
CT	0,506	0,435	0,058	0,455	0,388	0,567	0,472	0,083	0,406	0,518	0,460
RMS	903,75	911,25	0,661	884,65	912,72	928,18	904,46	0,935	0,431	0,026	0,059

CT (e.mg NaOH/100 g MS): Capacidade tampão; PG (g kg⁻¹): Perdas por gases; PE (kg ton⁻¹): Perdas por efluentes; N-NH₃: Nitrogênio amoniacal na MS (g kg⁻¹); RMS: Recuperação de matéria seca (g kg⁻¹); EPM: Erro padrão da média.

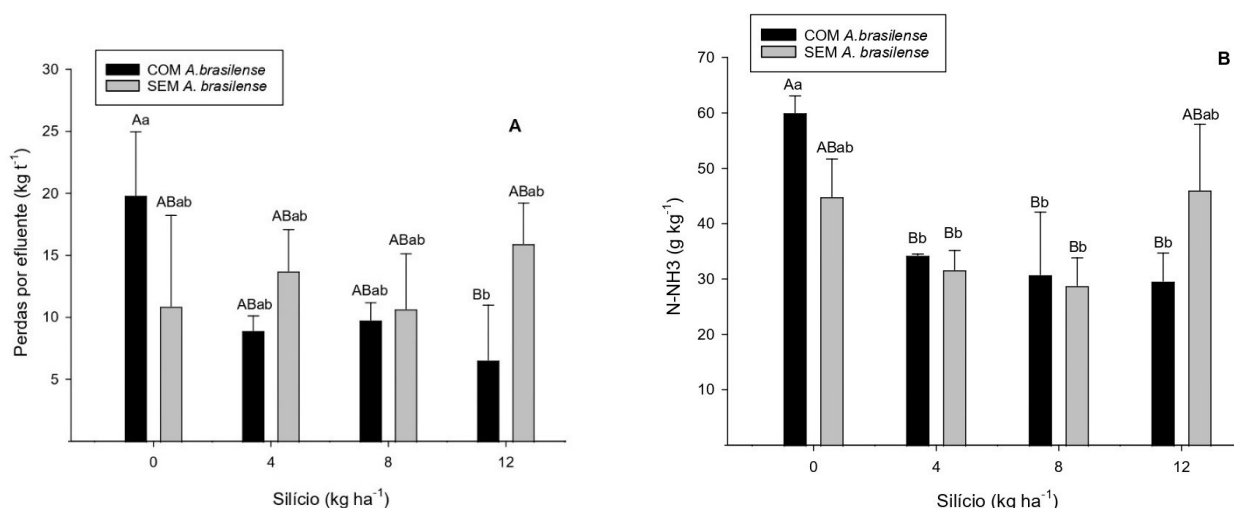


Figura 11- Efeito da interação entre o *Azospirillum brasilense* x silícios na perda por efluente (A) e N-NH₃ (B) em silagem de ração total para ovino. Letras maiúsculas distintas, diferem para níveis de silício dentro da inoculação (com ou sem) *Azospirillum brasilense* e minúsculas distintas, diferem para inoculação (com ou sem) *Azospirillum brasilense* dentro de cada níveis de silício.

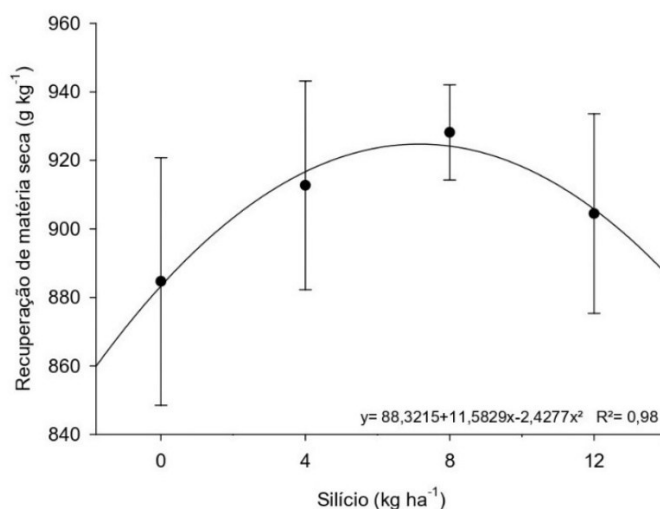


Figura 12- Efeito dos níveis de silício na recuperação de matéria seca em silagens de ração total para ovinos.

Não foi observado interação entre o *Azospirillum brasilense* x silício no perfil fermentativo silagens de ração total para bovinos de leite ($P > 0,05$). No entanto, a capacidade tampão foi afetada ($P = 0,036$) pelo uso de *Azospirillum brasilense* no plantio do milho (Tabela 14).

Tabela 14- Perfil fermentativo e perdas em silagens de ração total para bovinos de leite a base de híbrido de milho fertirrigado com diferentes doses de silício, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Variáveis	<i>Azospirillum brasilense</i>			Silício (kg ha ⁻¹)					P-valor		
	Sem	Com	EPM	0,0	4,0	8,0	12,0	EPM	AB	Si	AB x Si
pH	4,81	4,59	0,085	4,61	4,92	4,69	4,59	0,121	0,091	0,233	0,821
PE	15,41	21,30	2,953	22,51	16,45	22,48	11,99	4,176	0,173	0,244	0,339
PG	44,9	61,8	0,575	66,5	45,9	47,7	53,3	0,814	0,051	0,296	0,391
N-NH ₃	9,3	9,5	0,439	8,9	9,9	9,1	9,6	0,621	0,759	0,668	0,442
CT	0,61	0,37	0,075	0,40	0,59	0,56	0,41	0,106	0,036	0,474	0,259
RMS	816,0	916,4	1,225	919,1	774,3	892,8	878,6	1,733	0,274	0,721	0,554

CT (e.mg NaOH/100 g MS): Capacidade tampão; PG (g kg⁻¹): Perdas por gases; PE (kg ton⁻¹): Perdas por efluentes; N-NH₃ (% na MS): Nitrogênio amoniacal na MS; RMS (g kg⁻¹): Recuperação de matéria seca (g kg⁻¹); COM¹: Com inoculação de *Azospirillum brasilense*. SEM²: Sem inoculação de *Azospirillum brasilense*; EPM: Erro-padrão da média.

A associação dos *Azospirillum brasilense* com os níveis de silício afetou o N-NH₃ nas silagens de híbrido de milho ($P < 0,001$) com maiores valores observados com a inoculação e sem adição de silício (Tabela 15).

Tabela 15- Perfil fermentativo e perdas em silagens de híbrido de milho fertirrigado com diferentes doses de silício, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Variáveis	<i>Azospirillum 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
pH	4,29	4,25	0,059	4,39	4,22	4,23	4,24	0,084	0,651	0,472	0,512
PE	30,51	31,32	3,236	32,74	36,79	32,52	21,62	4,577	0,861	0,142	0,175
PG	40,1	40,7	0,349	40,4	34,2	40,4	46,6	0,494	0,900	0,389	0,674
N-NH ₃	7,51	8,44	0,210	11,32	6,29	6,38	7,91	0,297	<0,001	0,004	<0,001
CT	0,39	0,29	0,069	0,37	0,22	0,40	0,37	0,097	0,335	0,558	0,155
RMS	885,0	888,4	0,871	895,8	856,3	895,9	898,7	1,232	0,785	0,071	0,374

CT (e.mg NaOH/100 g MS): Capacidade tampão; PG (g kg⁻¹): Perdas por gases; PE (kg ton⁻¹): Perdas por efluentes; N-NH₃ (% na MS): Nitrogênio amoniacal na MS (g kg⁻¹); RMS (g kg⁻¹): Recuperação de matéria seca (g kg⁻¹); COM¹: Com inoculação de *Azospirillum brasilense*. SEM²: Sem inoculação de *Azospirillum brasilense*; EPM: Erro-padrão da média.

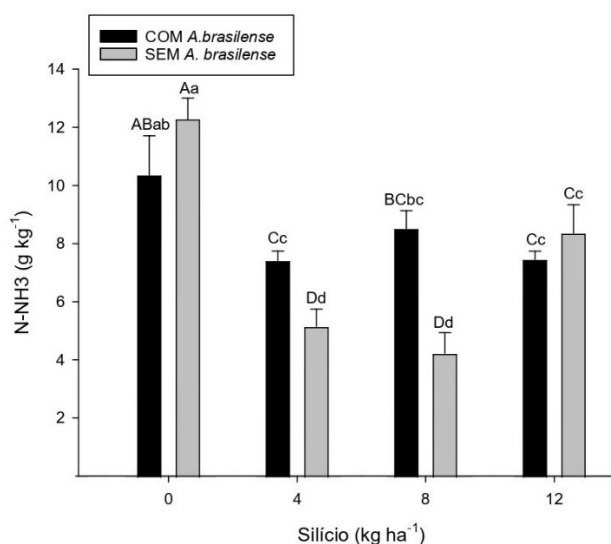


Figura 13- Efeito da interação entre o *Azospirillum brasilense* x silícios no N-NH₃ em silagem de híbrido de milho. Letras maiúsculas distintas, diferem para níveis de silício dentro da inoculação (com ou sem) *Azospirillum brasilense* e minúsculas distintas, diferem para inoculação (com ou sem) *Azospirillum brasilense* dentro de cada níveis de silício.

5.7 Composição químico-bromatológica das silagens de Ração total para ovino, bovino e silagem exclusiva de híbrido de milho.

Não se observou interação entre *Azospirillum brasilense* x silício composição química-bromatológica em silagens de ração total para ovinos a base de híbrido de milho. Houve efeito isolado do silício para proteína (P=0,0249) e celulose (P=0,0267) (Tabela 16). No fracionamento tivemos efeito isolado do *Azospirillum brasilense* para o carboidrato total (CHOT) (P=0,0482).

Tabela 16 - Composição químico-bromatológica de silagem de ração total para Ovino de corte fertirrigado com diferentes doses de silício, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Variáveis (g kg MS)	<i>Azospirillum 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	295,3	296,3	0,763	297,5	303,2	293,8	288,6	1,079	0,9252	0,8087	0,5557
MM	64,8	60,9	0,213	67,1	61,2	61,3	61,8	0,301	0,2167	0,4662	0,9295
MO	935,2	939,1	0,213	932,9	938,8	938,7	938,3	0,301	0,2167	0,4662	0,9295
Proteína	200,5	192,4	0,445	209,3	197,3	199,6	179,7	0,629	0,2091	0,0249	0,9530
FDN	276,1	281,1	0,579	275,2	282,6	281,2	275,5	0,819	0,5540	0,8818	0,3516
HEM	116,3	108,6	0,718	104,0	11,86	11,85	10,88	1,016	0,4573	0,6792	0,8969
Celulose	31,7	31,7	0,225	34,1	22,7	36,8	33,2	0,319	0,9923	0,0267	0,1145
Lignina	33,4	31,1	0,155	26,7	30,7	35,3	36,4	0,220	0,2978	0,0197	0,0578
NDT	806,3	805,7	0,026	805,6	806,1	806,2	806,2	0,036	0,1531	0,582	0,3572
EE	35,21	32,17	0,167	31,31	33,50	33,26	36,70	0,236	0,2199	0,4724	0,7429
Fracionamento de carboidrato total											
CHOT	697,27	714,85	0,574	699,56	703,06	702,16	719,45	0,812	0,0482	0,3321	0,7311
Fração A+B1	417,70	437,71	0,815	425,28	422,81	417,58	445,15	1,152	0,1045	0,3838	0,2891
Fração B2	257,45	256,77	0,591	256,75	258,75	261,00	251,95	0,835	0,9368	0,8860	0,3944
Fração C	22,10	20,36	0,130	17,55	21,50	23,53	22,35	0,185	0,3651	0,1662	0,0159

MS- Matéria seca; MM- matéria mineral; MO – matéria organica; FDN- Fibra em detergente neutro; HEM- Hemicelulose; NDT- Nutriente digestíveis total; EE- Extrato etéreo; CHOT- Carboidrato total; EPM: Erro padrão da média.

Observou-se interação entre *Azospirillum brasilense* x silício para a proteína (P=0,0224) na composição químico-bromatológica da silagem de ração total para bovino a base de híbrido de milho e efeito isolado do silício para extrato etéreo (EE) (P=0,011) (Tabela 17).

Foi observado interação entre o *Azospirillum brasilense* x silício para hemicelulose (P=0,0498) na composição químico-bromatológica da silagem de híbrido de milho. E a celulose (P=0,0182) foi afetada exclusivamente pela fertirrigação com silício e Fração A+B1 do fracionamento de carboidrato total foi afetado isoladamente pela inoculação de *Azospirillum brasilense* (0,0430) (Tabela 18).

Tabela 17 - Composição químico-bromatológica de silagem de ração total para bovino de leite fertirrigado com diferentes doses de silício, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Variáveis (g kg ⁻¹ MS)	<i>Azospirillum 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	287,9	297,0	0,808	300,4	295,4	294,0	280,2	1,142	0,4357	0,6396	0,6320
MM	69,6	67,2	0,354	64,3	73,3	69,9	66,1	0,501	0,6288	0,5921	0,9201
MO	930,4	932,8	0,354	935,7	926,7	930,1	934,0	0,501	0,6288	0,5921	0,9201
Proteína	157,0	167,6	0,316	166,8	164,5	159,3	158,6	0,447	0,0271	0,5090	0,0224
FDN	524,7	523,6	1,27	518,8	531,9	518,7	527,1	1,808	0,9491	0,9417	0,4314
HEM	219,7	232,4	1,302	214,2	227,1	234,6	228,2	1,841	0,4992	0,8845	0,4897
Celulose	52,9	47,8	0,403	48,6	54,3	43,5	54,9	0,570	0,3792	0,4676	0,9442
Lignina	18,6	16,2	0,114	18,6	18,3	16,5	16,2	0,161	0,1506	0,6373	0,5396
NDT	800,58	799,75	0,087	801,16	799,16	801,16	799,16	0,123	0,5113	0,478	0,7512
EE	28,83	27,00	0,151	24,90	22,78	30,23	33,76	0,214	0,410	0,011	0,8081
Fracionamento de carboidrato total											
CHOT	745,95	738,39	0,434	746,66	755,05	733,73	733,25	0,614	0,2386	0,0680	0,0760
Fração A+B1	220,35	235,26	1,292	260,28	229,18	226,85	194,93	1,827	0,4284	0,1418	0,7182
Fração B2	502,29	484,55	1,285	467,56	506,06	485,71	514,33	1,817	0,3456	0,3023	0,3218
Fração C	23,30	18,58	0,164	18,83	19,76	21,18	23,98	0,232	0,0623	0,4518	0,7176

MS- Matéria seca; MM- matéria mineral; MO – matéria organica; FDN- Fibra em detergente neutro; HEM- Hemicelulose; NDT- Nutriente digestíveis total; EE- Extrato étereo; CHOT- Carboidrato total; EPM: Erro padrão da média.

Tabela 18- Composição químico-bromatológica silagem de híbrido de milho fertirrigado com diferentes doses de silício, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Variáveis (g kg MS)	<i>Azospirillum 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	29,20	29,53	0,792	30,25	29,82	29,29	28,11	1,12	0,7704	0,5696	0,4187
MM	4,78	4,65	0,145	4,33	4,87	4,88	4,77	0,205	0,5413	0,2143	0,8272
MO	95,22	95,35	0,145	95,67	95,13	95,13	95,23	0,205	0,5413	0,2143	0,8272
Proteína	70,8	69,9	0,190	71,2	67,5	67,7	75,0	0,269	0,7434	0,1929	0,1361
FDN	529,5	526,3	0,246	527,6	527,6	526,7	529,6	0,349	0,3707	0,9431	0,2797
HEM	200,3	222,9	1,064	222,8	199,6	213,2	210,8	1,505	0,1481	0,7516	0,0498
Celulose	49,9	46,8	0,252	40,1	50,2	45,9	57,4	0,356	0,3907	0,0182	0,0818
Lignina	24,0	18,3	0,165	19,8	22,1	20,4	22,3	0,234	0,0243	0,8306	0,1914
NDT	798,89	798,95	0,066	799,06	799,00	799,13	798,48	0,094	0,9516	0,959	0,9582
EE	31,81	34,83	0,224	31,85	31,86	36,58	33,00	0,317	0,3584	0,6907	0,9273
Fracionamento de carboidrato total											
CHOT	848,07	851,53	0,309	852,56	857,01	846,48	843,15	0,437	0,4425	0,1601	0,6874
Fração A+B1	180,18	212,85	1,037	211,18	196,68	198,00	180,20	1,467	0,0430	0,5413	0,9181
Fração B2	633,31	608,75	0,903	613,36	625,08	620,03	625,65	1,277	0,0750	0,8952	0,9791
Fração C	34,56	29,93	0,275	27,983	35,25	28,46	37,30	0,389	0,2546	0,2657	0,0959

MS- Matéria seca; MM- matéria mineral; MO – matéria organica; FDN- Fibra em detergente neutro; HEM- Hemicelulose; NDT- Nutriente digestíveis total; EE- Extrato étereo; CHOT- Carboidrato total; EPM: Erro padrão da média.

5.8 População microbiana das silagens de Ração total para ovino, bovino e silagem exclusiva de híbrido de milho

As populações de mofos ($P=0,028$) e leveduras ($P=0,004$) de silagens de ração total para ovinos foram afetadas pelo uso de *Azospirillum brasilense*, com maiores valores observados nas silagens onde os grãos de milho foram inoculados no momento plantio (Tabela 19). A aplicação de 12 kg ha^{-1} promoveu a ausência de leveduras na silagem de ração total para ovinos ($P=0,004$) (Tabela 19).

Tabela 19- População microbiana de silagens de ração total para ovinos a base de híbrido de milho fertirrigado com diferentes doses de silício, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Variáveis	<i>Azospirillum 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	5,78	6,22	0,209	6,23	5,47	5,89	6,41	0,295	0,172	0,197	0,233
Mofo	4,28b	4,75 ^a	0,126	4,63	4,73	4,22	4,48	0,178	0,028	0,270	0,054
Levedura	1,77b	3,61 ^a	0,473	4,04	1,98	4,74	0,0	0,669	0,025	0,004	0,284

BAL- bactérias ácido lácticas; EPM:- erro padrão da média.

Observou-se interação entre o *Azospirillum brasilense* x silício na população de leveduras ($p=0,002$) na silagem de Ração total para bovino de leite, com maiores valores obtidos quando se utilizou *Azospirillum brasilense* e 12 kg há^{-1} de silício (Tabela 20).

Tabela 20- População microbiana de silagens de ração total para bovinos de leite a base de híbrido de milho fertirrigado com diferentes doses de silício, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Variáveis	<i>Azospirillum 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	6,07	6,11	0,309	6,06	6,0	6,43	5,88	0,437	0,922	0,832	0,395
Mofo	4,29	4,28	0,063	4,30	4,04	4,37	4,43	0,089	0,924	0,063	0,150
Levedura	4,25	4,32	0,151	4,12	3,71	4,44	4,88	0,213	0,756	0,025	0,002

BAL- bactérias ácido lácticas; EPM:- erro padrão.

A população microbiana de silagens de híbrido de milho não foi afetada ($P>0,05$) pelos níveis de silício associado ou não com *Azospirillum brasilense* (Tabela 21).

Tabela 21 - População microbiana de silagens de híbrido de milho fertirrigado com diferentes doses de silício, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*.

Variáveis	<i>Azospirillum 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	5,22	5,16	0,226	5,27	5,24	5,21	5,06	0,319	0,848	0,972	0,168
Morfo	4,70	4,43	0,229	4,62	4,28	4,83	4,52	0,323	0,442	0,688	0,496
Levedura	4,28	3,37	0,446	3,78	3,89	3,36	4,27	0,630	0,188	0,791	0,503

BAL- bactérias ácido láticas; EPM:- erro padrão.

6 DISCUSSÃO

6.1 Características morfoprodutiva

Segundo Etesami (2018) propõe que o uso combinado de silício com as bactérias promotoras de crescimento pode ser uma tática útil e sustentável para elevar o crescimento das plantas em condições subótimas. Neste estudo as variáveis Diâmetro da espiga com palha (DECP), Diâmetro da espiga sem palha (DESP), Comprimento da espiga sem palha (CESP), Peso da espiga com palha (PECP), obtiveram ganhos com a associação do *Azospirillum brasilense* e pelas doses de silício. Já o comprimento da espiga com palha (CECP) com a aplicação do *Azospirillum brasilense* obteve ganhos comparado ao sem *Azospirillum brasilense* e as dosagens de 8 e 12 kg ha⁻¹ silício foram que tiveram o maior CECP (Tabela 4).

Diversos autores como Costa e Gomes (2021), Oliveira et al. (2023), demonstram que o nutriente nitrogênio tem o grande impacto para o desenvolvimento da cultura do milho. Diversas pesquisas como a dos autores Ma e Yamaji (2006); Rastogi et al. (2021), destacam que a adição de silício nas plantas aumenta a eficiência no uso do nitrogênio, promovendo crescimento vegetativo robusto e maior síntese de clorofila. Além disso, estudos mostram que o silício não só melhora a absorção de nitrogênio, mas também contribui para a resistência a estresses ambientais e melhora a qualidade nutricional das plantas. Esses benefícios associados com *Azospirillum brasilense* podem ter otimizado a eficiência de utilização do nitrogênio pela planta. Isso explica os resultados observados nas Figuras 3.

Dartora et al. (2013) verificaram incremento de 15% no diâmetro de colmo, 12% na massa seca de parte aérea e 9% na produtividade de grãos no tratamento com inoculação em relação à testemunha. Pacheco et al. (2024) em pesquisa sobre desempenho de milho inoculado com *Azospirillum brasilense*, verificou que comprimento de espiga foi maior quando o milho foi inoculado com *Azospirillum brasilense* na dose de 200ml ha⁻¹.

Melo et al. (2024) encontrou resultados onde doses de silício influenciaram significativamente o diâmetro do colmo ($p < 0,05$) em estudo verificando o crescimento e

partição da matéria seca de milho submetido a adubação silicatada em solo de cerrado no Amapá, Brasil.

Neste estudo, a aplicação de 12 kg ha⁻¹ de silício obteve o maior valor na produção de matéria verde (PMV; p=0,011), produção de matéria verde de folhas (PMVF; p=0,037), produção de espiga com palha (PMVEP; p=0,008) e produção de matéria verde do colmo (PMVC; p=0,023) do milho (Figuras 4). Isso pode ser explicado porque o silício fortalecer a estrutura celular, melhorar a resistência mecânica, aumentar a área de exposição ao sol e melhorar a condição hídrica das células, assim resultando em uma maior produtividade. Esses resultados, evidência a reposta positiva da aplicação do silício para o desenvolvimento da planta.

Esse aumento foi analisado por Sousa et al. (2010), que verificaram efeito positivo do silício no aumento de massa do colmo, melhor conformidade arquitetônica das folhas, maior concentração de clorofila e melhor desempenho fotossintético, resultando em maior produção de biomassa fresca.

Resultados semelhantes foram relatados por Castro (2024), quando analisou as características morfoprodutivos e valor nutricional das silagens de milho na forma de ração total submetidos à fertirrigação com silício e inoculação com *Azospirillum brasilense* na entressafra agrícola. Castro (2024) constatou, efeito isolado para o uso do silício (p<0,05), observando uma produção linear à medida que aumentou os níveis de aplicação de silício para variáveis produção de matéria verde total (t ha⁻¹) de 33,76 a 52,38 (t ha⁻¹), produção de matéria verde das folhas vivas de 6,53 a 10,25 (t ha⁻¹) e do colmo de 15,15 a 23,76 (t ha⁻¹).

6.2 Sanidade das folhas, colmo e características dos grãos

Os grãos foram classificados como semiduros, com coloração amarela e ausência de grãos ardidos e falhados (Tabela 6). A qualidade do grão está relacionada à presença de fungos, insetos, ácaros e a contaminações de qualquer origem (EMBRAPA, 2004), no presente trabalho os grãos obtiveram excelente qualidade pela ausência de contaminações de qualquer origem.

Conforme os critérios de avaliação aplicados, os tratamentos avaliados mostraram resultados excelentes, quanto à sanidade de ataque do colmo e das folhas, observou-se que o colmo manteve uma condição de sanidade satisfatória e as folhas demonstraram boa resistência. Uma possível explicação é que o híbrido Feroz Viptera 3 utilizado nesse experimento apresenta uma excelente tolerância a doenças foliares e ao complexo de enfezamentos, além de ter um baixo fator de reprodução para nematoides, o que minimiza os problemas fitossanitários (SYNGENTA, 2023).

Assim como para outras culturas, no caso específico do milho, por ser uma espécie C4, reduções na área foliar das plantas pode comprometer a produtividade final, visto que haverá uma diminuição na produção de assimilados que serão redistribuídos para o enchimento dos grãos (SILVA, et al. 2020). O milho safrinha destaca-se por sua resistência notável ao ataque de pragas, resultado do seu avançado melhoramento genético, especialmente adaptado para o cultivo na estação seca. Adicionalmente, a inoculação com *Azospirillum brasilense* e a aplicação de silício são essenciais para o aporte de nutrientes, fortalecendo a planta. Isso torna o milho mais vigoroso e menos suscetível a pragas, garantindo uma colheita mais saudável e produtiva, mesmo em condições adversas.

6.3 Composição macro e micronutrientes da folha, colmo, grão e raiz

Analizando os nutrientes foliares das folhas de milho, pode-se verificar maior teores foliares de fósforo (P), quando se utilizou-se o inoculante com *Azospirillum brasilense* (Tabela 7). Segundo Baldotto et al. (2012), as bactérias promotoras do crescimento de plantas possuem a capacidade de solubilização de fosfato e relatam um acúmulo maior de nitrogênio e fósforo foliar em plantas de milho inoculadas com bactérias diazotróficas quando comparado ao sem inoculação, assim como o aumento do nutriente fosforo na parte folia desse experimento.

Resultados semelhantes foram encontrados por Pacheco et al. (2024), trabalhando com desempenho de milho inoculado com *Azospirillum brasilense*, onde os tratamentos de 200ml ha⁻¹ e 400ml ha⁻¹ com inoculante obteve valores 2,6 e 2,80 de fósforo respectivamente, corroborando o resultado de 2,45g kg⁻¹ de fósforo encontrado nesse experimento.

Em relação a composição do colmo somente o micronutrientes ferro e zinco tiveram efeito isoladamente com o nível de silício, o ferro teve efeito quadrático com valor maior (146,44mg kg⁻¹) quando aplicado 4kg ha⁻¹ de silício (Figura 5A), já o zinco teve efeito linear decrescente (Figura 5B).

Ramos et al. (2013), com o objetivo de verificar a eficiência de utilização do silicato de Ca, realizaram um experimento utilizando doses crescentes de silicato de Ca (0, 700, 1400, 2800, 5600kg ha⁻¹). O intuito foi avaliar os atributos químicos do solo, além da produção de cana-de-açúcar. Ao final da experimentação verificou-se que o silicato elevou o valor de Fe entre outro macro e micronutriente e diminuiu os teores de Zn, (H+Al) e MO.

De modo geral, o papel do silício no transporte de micronutrientes das raízes para a parte aérea pode estar relacionado ao aumento da concentração de citrato, o que tornaria a redistribuição de micronutrientes mais eficaz (HERNANDEZ-APAOLAZA, 2014). Aplicação de silício está diretamente associada ao aumento de ácidos orgânicos como citrato e malato no

xilena, para promover o transporte de Fe (ZHANG et al., 2019). Por essa razão, o citrato é extremamente importante tanto para o transporte de ferro de longa distância, quanto para sua utilização nas folhas (IDOUDI et al., 2024).

Já na composição macro e micronutrientes do grão o micronutriente Manganês teve efeito significativo com a interação do silício e *Azospirillum brasilense* (Tabela 9). O silício influencia a absorção e translocação de vários macros e micronutrientes e frequentemente diminui ou elimina o efeito adverso do excesso de metais no meio sobre as plantas, especialmente do Mn_{2+} (EPSTEIN, 1994). Já as bactérias do gênero *Azospirillum brasilense* exercem influência sobre outros mecanismos da planta, como a produção e liberação de fitormônios, liberação de aminoácidos, biossíntese, citocinas, giberelinas e poliamidas, que por sua vez beneficiam o crescimento das raízes o que favorece maior aporte de água e nutrientes (BASHAN e DE-BASHAN, 2010).

Ferreira et al. (2001) ao avaliarem os efeitos da adubação com N (0, 70, 140 e 210 kg ha^{-1}), Mo e Zn e suas interações sobre a produção e qualidade de grãos de milho, sob o aspecto proteico e teor de nutrientes nos grãos, observaram efeitos positivos na qualidade dos grãos de milho com o aumento nos teores de proteína e dos nutrientes minerais P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn, em consequência do aumento na adubação nitrogenada. Já Oliveira, et al., 2012, no estudo com Composição química dos grãos de milho em resposta à adubação mineral e inoculação com rizobactérias, obteve resultados com efeitos não significativos sobre os teores e acúmulo de Fe, Mn e Zn nos grãos de milho.

O teor de sódio no grão de milho não é amplamente discutido nas fontes disponibilizadas. No entanto, o nível de nutrientes nos grãos, incluindo sódio, pode ser influenciado por fatores como adubação, temperatura e umidade. NOVAIS, et al. (2019), em pesquisa sobre Caracterização física e química de grãos de milho pipoca comercializados no Brasil, observaram concentrações de sódio (Na) menores que o limite de quantificação instrumental (LQI) de 4,51mg $100g^{-1}$, já Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA), 100g do grão possui 1,12mg de sódio (USP, 2024). Resultados encontrado nesse experimento foram superiores aos resultados de NOVAIS, et al. 2019 e o da (TBCA). Na Figura 7 demonstra os valores linear crescente do micronutriente sódio onde a aplicação de silício 0, 4, 8 e 12kg ha^{-1} obteve um valor de 85,46; 95,75; 87,5; 102 mg/100g respectivamente.

Em relação a composição macro e micronutriente da raiz, somente o elemento ferro obteve interação entre *Azospirillum brasilense* e silício, esse fato está correlacionado que o silício pode entra na formação de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (SAVANT et al., 1997) e a inoculação com bactérias do gênero *Azospirillum brasilense*, influência sobre outros

mecanismos da planta, que por sua vez beneficiam o crescimento das raízes o que favorece maior aporte de água e nutrientes (BASHAN e DE-BASHAN, 2010). Sabendo desses fatores o resultado encontrado nesse experimento corrobora com os autores onde o tratamento inoculado com *Azospirillum brasilense* e sem a presença de silício obteve maior valor no micronutriente ferro, esse fato está ligado que o silício ele entra na formação de diversos óxidos e hidróxidos ferro, assim diminuindo a sua disponibilidade na solução do solo (Figura 8).

6.4 Relação estequiométrica do carbono, nitrogênio, fósforo e silício

No presente estudo a relação C:N com aplicação de 4 kg ha⁻¹ com *Azospirillum brasilense* obteve maior relação C:N (Tabela 11), valores médios de C:N, variando de 44,47 a 55,26, indicando uma alta relação C:N, isso resulta em um maior aporte de compostos ricos em C, como a lignina e a celulose, importantes para a característica estrutural da planta (CASTRO, 2024).

Existem relatos de que o Si pode reduzir as concentrações de C nos tecidos vegetais, devido à substituição parcial de alguns compostos de C nas plantas (KLOTZBÜCHER et al., 2018). Na figura 9 podemos observar que à medida que a dose de silício de 12kg ha⁻¹ foi o que obteve menor valor numérico (44,47), mas esse valor ainda indica uma relação C:N alta.

6.5 Composição químico-bromatológica de planta inteira do híbrido de milho

No mercado atual existem muitos materiais recomendados, todos os anos, tanto de milho convencional como transgênico para a produção de silagem. Além das características agrônomicas, devem ser considerados os parâmetros bromatológicos do material (Embrapa, 2014).

O teor médio de 29,51% de MS apresentados na tabela 12 estão próximas ao relatados por Ferreira et al. (2011), que a planta de milho deve ser colhida nos intervalos de 30 a 35% de MS para confecção de silagens e que a porcentagem de MS e de grãos na silagem de milho são afetadas substancialmente pelo estágio de desenvolvimento em que a planta de milho é colhida, além da cultivar utilizado.

Já a Fibra em detergente neutra (FDN) ficou em média 56,9%, esta variável está relacionada com o consumo da silagem pelo animal e o recomendado segundo Van Soest (1994), que estes valores de FDN fiquem abaixo de 60% como sendo o ideais para melhor consumo pelos animais. Os valores encontrados nesses experimentos corroboro com os encontrado por Buso et al (2018) e Rosa et al. (2004) que encontraram valores médio entre 53 e 59% de FDN, trabalhando com diferentes híbridos de milhos.

A hemicelulose teve maior valor sem a inoculação com *Azospirillum brasilense* essa variação nos conteúdos de HEM podem estar ligados com a determinação das frações de FDN e FDA, uma vez que seu conteúdo é obtido pela diferença das mesmas (Novais, 2019). Os resultados encontrados nesse estudo tiveram teores médio de hemicelulose 34,05% esses valores corroboram com a faixa 25 a 34 % de hemicelulose encontrada por Assis et al (2014), trabalhando com 10 tipos de híbridos de milhos.

Verificou-se maior quantidade de matéria mineral quando se aplicou 12 kg ha⁻¹ de silício (Figura 10B), uma possível explicação é que depois de absorvido pela planta, o silício é depositado principalmente na parede celular (Ma & Yamaji, 2006), por exemplo, de folhas e colmos, como foi verificado por Singh et al. (2005). Além disso, Pozza et al. (2004) também constataram que as plantas tratadas com silício apresentaram maior quantidade de Fe e presença de Cu e Zn.

Foi observado nesse experimento que a mediada que é aumentada a dose de silício o pH ele aumenta (Figura 10A), nota-se que mesmo diferindo ($p < 0,05$), a amplitude de variação foi pequena. Embora a análise dos valores de pH não seja essencial para a escolha de um híbrido a ser utilizado no processo de ensilagem, esta variável está associada principalmente com a concentração de proteína e minerais na planta, o que pode indiretamente contribuir para o entendimento de como a planta aloca N e minerais presentes no solo (ASSIS, et al.2014).

Os valores médios de proteína (Tabela 10) obtidos nesse trabalho podem ser considerados baixos quando comparados aos teores encontrados por Casto Filho et al. (2007), que obteve valor, em média, de 7,5%. Do mesmo modo, Velho et al. (2007), em trabalho que analisou a composição bromatológica de silagens de milho em função de diferentes densidades de compactação, conseguiu resultados de teores médios de PB em torno de 7,52%. Com isso, evidencia a necessidade de uma suplementação com concentrados proteicos na silagem ou na forma de ração total quando for utilizado esse híbrido.

6.6 Perfil fermentativo, perdas e recuperação de matéria seca das silagens.

O valor do pH é um indicativo importante para avaliar a qualidade fermentativa das silagens (MUCK, 2013), mas este indicativo é dependente do teor de MS da silagem, dos ingredientes que compõem o material a ser ensilado, dos aditivos utilizados e do tempo de armazenamento da silagem. Os valores de pH proposto por Mcdonald et al. (1991) considerados adequados, variam entre 3,8 e 4,2. A Silagem de milho puro deste experimento manteve próximo da faixa indicada por Mcdonald et al. (1991), já as silagens de ração total obtiveram

valores de pH acima 4,59 (Tabela 13 e 14), isso foi influenciado pela composição da dieta. Yang et al. (2011) e Chen et al. (2015), relatam que para silagens de ração total com alto teor de MS, o valor de pH normal pode estar entre 4,0 e 5,0.

A silagem de ração total para ovino corte, bovino de leite e silagem exclusiva de milho apresentaram valores N-NH₃ abaixo de 10%, apresentando interação significativas entre a fertirrigação e a inoculação de *Azospirillum brasilense* (Tabelas 13, 14 e 15), resultado este que indica uma possível qualidade de fermentação das silagens avaliadas, de acordo com McDonald e Heron (1991) teores acima de 10% são indicadores de fermentação indesejada e proteólise intensa no processo de fermentação das silagens. Segundo Afric (1987) e Henderson (1993), valores considerados como ideais de N-NH₃ para uma silagem de boa qualidade devem atingir no máximo 8 a 11%, o que indica a possível qualidade das silagens avaliadas no presente estudo.

Os teores de nitrogênio amoniacal verificados nas silagens estudadas estão próximos aos descritos por Kung jr e Shaver (2001), que relataram teor médio de N-NH₃ de 5% a 7% para valores adequados de silagens de milho. Mesmo com interação significativa do silício x *Azospirillum brasilense* o N-NH₃ (Tabela 13, 14 e 15) não alterou a qualidades das silagens indicam que o processo de fermentação não quebrou excessivamente a proteína em amônia. A silagem de ração total para ovino e para bovino de leite obteve valores maiores de N-NH₃ comparada a silagem exclusiva de milho isso se deve pela utilização de ureia na composição da silagem de ração total (Tabela 13, 14 e 15).

Outro fator que pode atuar sobre o padrão de fermentação, e consequentemente na qualidade da fermentação é o poder tampão, segundo Paziani, (2004) o poder tampão é a capacidade do material ensilado em resistir á variação do pH. Nesse estudo somente a silagem de ração total para bovino de leite teve efeito significativo para a inoculação (Tabela 14). Segundo Playne; McDonald, (1966) as principais substâncias relacionadas com este efeito são os ácidos orgânicos, o teor de minerais e os compostos nitrogenado. Para Fukami, et al., (2018) *Azospirillum brasilense* é uma bactéria fixadora de N atmosférico, pode-se observar um aumento de compostos nitrogenados na planta através de processos bioquímicos específicos, em que as plantas inoculadas com esta bactéria apresentam maior captação de N nos colmos, folhas e grãos, principalmente se houver disponibilidade de N no solo. Resultados semelhante foram encontrados por Sousa, (2023) trabalhando com mitigação do déficit hídrico utilizando a fertilização com silício e inoculação *Azospirillum brasilense* na produtividade e no valor nutritivo do milheto na forma de silagem na entressafra agrícola.

Resultados referentes ao valor de perdas por efluentes são apresentados nas tabelas 13,14 e 15 de silagem de ração total para ovino, silagem de ração total para bovino e silagem

de milho respectivamente, onde pode se observar que somente a silagem de ração total para ovino que teve efeito de interação entre *Azospirillum brasilense* e dosagens de silício. A presença de umidade aumenta a produção de efluente, e o processo de ensilagem, desde a forma de colheita, processamento, estágio de maturação da planta, dentre outros, contribuem para a produção de efluente (RAMOS, 2021). Levando isso em conta essa variação possa estar atrelada ao teor de MS da silagem do que com os tratamentos, observando na tabela 16, onde o teor de MS ficou em média 29% e segundo Van soest, (1994) valor de referência está entre 30 a 35% de matéria seca.

Já a Recuperação de matérias seca (RMS) só a silagem de ração total para ovino com aplicação de 8 kg ha⁻¹ obteve maior valor (Figura 12). O teor médio de RMS para silagem de ração total para ovino foi de 90,66%, esse valor é considerado um bom resultado, valores semelhantes RMS foram encontrados por Sousa, (2023) e Costa (2023), trabalhando com silagem de ração total com base milheto

6.7 População microbiana das silagens de Ração total para ovino, bovino e silagem exclusiva de híbrido de milho

A atividade microbiana pode ser dividida em duas categorias: microrganismos desejáveis, benéficos ao processo de conservação das características nutricionais da forragem, como as bactérias ácido lácticas e microrganismos indesejáveis, como os clostrídios, enterobactérias, mofos e leveduras (MUCK, 2010). Todas as silagens desse trabalho as bactérias lácticas apresentaram valores satisfatórios e típicos de silagens bem fermentadas, em que as médias variaram de 5,06 a 6,43 log UFC g⁻¹ de silagem, Sousa, (2023). encontrou resultados semelhante em que as médias variaram de 4 a 7 log UFC g⁻¹ de silagem.

Com relação à contagem de mofos apenas a silagem de ração total para ovino obteve efeito significativo isolado para *Azospirillum brasilense*, observou-se como efeito principal do *Azospirillum brasilense* um aumento tanto no número de mofos, quando comparado ao não uso do mesmo. Quanto às doses de silício, observou-se que a dose de 4 kg ha⁻¹ de silício apresentou uma contagem menor em relação às doses maiores (8 e 12 kg ha⁻¹ de silício) (Tabela 19). Resultados diferentes foram obtidos por Sousa, (2023) trabalhando com biotecnologias aplicadas na viabilidade de plantio do sorgo forrageiro para produção de grãos e silagem em dietas de ruminantes na modulação do déficit hídrico no período da seca, onde foi observado efeito redução no número de mofos, quando utilizou se a inoculação com *Azospirillum brasilense*.

Já as leveduras foram observadas interação *Azospirillum brasilense* x silício somente na silagem de ração total para bovino (Tabela 20) e efeitos isolados para silagem de ração total para ovino, onde a menor contagem ficou por conta da aplicação de 12kg ha⁻¹ silício (Tabela 19).

Em modo geral todas as silagens tiveram concentrações expressivas de mofos e leveduras (Tabelas 19, 20 e 21), esse fato pode estar correlacionado aos valores de pH e aos teores de MS, onde foi observado que as silagens ficaram com os teores abaixo de 30% (Tabelas 16,17 e 18), essa umidade presente no momento da ensilagem pode ter levado a proliferação de microrganismo indesejáveis.

As Fontes que temos disponíveis hoje não esclarece bem o os efeitos causados da interação do *Azospirillum brasilense* e silício na microbiologia das silagens. Pesquisas devem ser desenvolvidas a ponto de identificar os efeitos das dosagens de silício e da inoculação com *Azospirillum brasilense* sobre os parâmetros microbiológicos das silagens (CASTRO,2024).

6.8 Composição químico-bromatológica de silagem de milho e ração total para bovino de leite e ovino de corte.

As silagens produzidas neste trabalho apresentaram teores de matéria seca adequadas (Tabelas 16, 17 e 18). Segundo Mcdonald et al., (1991) estabelecem que valores iguais ou inferiores a 25% de MS, proporcionam desvio da rota de fermentação desejada, resultando em maior desenvolvimento de bactérias do gênero *Clostridium*, aumentando a produção de ácido butírico da mesma. A matéria seca das silagens desse estudo não foram influenciadas pela aplicação do silício e da inoculação com *Azospirillum brasilense*.

Todos os valores de FDN das silagens ficaram abaixo de 60% (Tabela 16, 17 e 18), segundo Costa, (2023) o teor de FDN deve se manter abaixo de 60%, para uma taxa de passagem mais rápida pelo trato digestivo, o excesso de fibra limita a ingestão de matéria seca devido ao enchimento ruminal (KRÄMER-SCHMID et al., 2016).

A proteína da silagem de ração total para bovino teve teor médio de 162,3 g kg⁻¹ de proteína (Tabela 17). Já a silagem de ração total para ovinos obteve valor máximo de 209,3 g.kg⁻¹ quando não se aplicou silício (Tabela 16). Sousa, (2023) e Costa, (2023) em estudos contendo silagem de ração total a base de milhetos contabilizaram teor médio de 120 g kg⁻¹ proteína, valor muito abaixo do que foi observado neste experimento. As silagens de ração total desse experimento obtiveram valores de proteína 196,4 e 162,3 g kg⁻¹ respectivamente (Tabelas 16 e 17), revelaram-se adequados para atender às necessidades de ovino de corte e bovino de leite.

A variável extrato etéreo silagem de ração total para bovino de leite teve valores médios de 30,02 e 33,76 g kg⁻¹ nas dosagens de 8 e 12 kg ha⁻¹ respectivamente. Sá, (2022) trabalhando com silagem de ração completa a base de milho contendo subprodutos do babaçu em dietas de ovinos e bovinos e Restelatto, (2018) estudando perfil fermentativo, composição químico-bromatológica e perdas na silagem de ração em mistura total, observou valores médios para extrato etéreo de 23,0,25 e 28,25 g kg⁻¹ respectivamente, esses valores são inferiores ao encontrado nesse estudos onde foi obtido média de 31,6 g kg⁻¹, no entanto, Valadares Filho et al. (2002) citaram teores de extrato etéreo de 29,9 em 100 observações para silagem de milho o que se aproximam ao encontrado nesse estudo.

Somente carboidrato total da silagem de ração total para ovino de corte teve efeito isolado para inoculação de *Azospirillum brasilense*, onde o tratamento inoculado teve valor superior ao sem inoculação, com valores médios 714,85 e 697,27 g kg⁻¹ respectivamente (Tabela 16). Esse resultado difere de Schumacher et al. (2021), estudando o efeito da inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* sobre o fracionamento nitrogenado e glicídico em silagens de sorgo, obteve valores de carboidratos total com a inoculação de *Azospirillum brasilense* inferior ao sem inoculação. Os valores médios de carboidrato total (766,01 g kg⁻¹) obtidos neste estudo estão de acordo com aqueles relatados por Van soest (1994), constituindo 500 a 800 g kg⁻¹ da matéria seca das plantas forrageiras.

Para fração A+B1 o tratamento com *Azospirillum brasilense* foi superior ao sem inoculação. Alimentos com elevada fração A + B1 são considerados boas fontes energéticas para aumento no conteúdo dos microrganismos ruminais (Carvalho et al., 2007) e o sincronismo entre a taxa de digestão das proteínas e dos carboidratos, podendo ter importante efeito sobre os produtos finais da fermentação e sobre a produção animal (Nocek & Russell, 1988).

Assim, o cultivo de milho em combinação com a aplicação de silício e a inoculação com *Azospirillum brasilense* se apresenta como uma opção viável para a produção de forragem conservada, atendendo especialmente às necessidades nutricionais dos animais em períodos de variação climática,

7 CONCLUSÃO

A aplicação de silício associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* promove incrementos no diâmetro da espiga com palha, diâmetro da espiga sem palha, comprimento da espiga com palha e peso da espiga com palha.

O uso de silício resulta em maior produção de matéria verde, sendo recomendada a dose de 12 kg ha⁻¹ de silício.

A inoculação com *Azospirillum brasilense* aumenta o teor de magnésio no grão de milho.

A aplicação de diferentes doses de silício associadas à inoculação com *Azospirillum brasilense* na produção do milho não altera os padrões fermentativos, as populações microbianas e a composição químico-bromatológica das silagens de milho e das silagens de ração total para bovinos de leite e ovinos de corte.

8 REFERÊNCIAS

ABDRABBO, M.A.A.; SALEH, S.M.; FARAG, A.A. Water requirements for maize under climate change. **Journal of Applied Sciences Research**, Islamabad, v. 12, p.19-28, 2016.

AFRC. Technical committee on responses to nutrients. Report 2. Characterization of feedstuffs. Nutr. Abstr. Rev., Series B., v.57, p.713-736, 1987. AFRC. Technical committee on responses to nutrients. Report 2. Characterization of feedstuffs. Nutrição. Abstrato. Revista., Series B., v.57, p.713-736, 1987.

ÅGREN, G. I.; WETTERSTEDT, J. Å. M.; BILLBERGER, M. F. K., 2012. Nutrient limitation on terrestrial plant growth - modeling the interaction between nitrogen and phosphorus. **New Phytologist**, v.194, p.953–960.

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

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.

ARAUJO, C. A. et al., Efeito do tempo de ensilagem sobre a composição química, perfil fermentativo e estabilidade aeróbia de silagens de milho (zea mays). **Diversitas Journal**. Santana do Ipanema/AL. vol. 5, n. 1, p.547-561, jan./mar. 2020.

ARAÚJO, K. G.; VILLELA, S. D. J.; Leonel, F. P.; Costa, P. M.; Fernandes, L. O.; Tamy, W. P.; Andrade, V. R. Yield and quality of silage of maize hybrids. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.41, n.6, p.1539-1544, 2012.

ASSIS, F. B. et al, Caracterização agronômica e bromatológica de híbridos de milho para ensilagem. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 35, n. 6, p. 2869-2882, nov./dez. 2014. DOI: 10.5433/1679-0359.2014v35n6p2869

BABALOLA, O. O. Beneficial bacteria of agricultural importance. **Biotechnol Lett**, v. 32, n. 11, p. 1559-1570, 2010.

BALDOTTO, L. E. B.; SILVA, L. G. J. S.; CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; BALDOTTO, M. A. Initial growth of maize in response to application of rock phosphate, vermicompost and endophytic bacteria. **Revista Ceres**, v. 59, n.2, p. 262-270, 2012.

BÁRBARO, I.M; BRANCALIÃO, S.R.; TICELLI, M. É possível a fixação biológica de nitrogênio no milho? Artigo em Hypertexto, 2008.

BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; FAGERA, N. K.; DANNOFF, L. E.; SILVA, O. F. silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 25, p. 325 – 330, 2001.

BARBOSA, Rodolfo dos Santos. **Produtos comerciais como atenuantes do estresse hídrico na cultura do milho**. 2022. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Pombal, 2022.

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

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L.E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth—a critical assessment. **Adv. Agron.** 108:77–136, 2010.

BASSO, F. C. et al. Fermentation and aerobic stability of corn silage inoculated with *Lactobacillus buchneri*. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 41, n. 7, p. 1789–1794, 2012.

BERNARDES, T. F.; RÊGO, A. C. Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v. 97, p. 1852–1861, 2014.

BERNARDES, T.F.; CARVALHO, I.Q.; SILVA, N.C. A snap shot of maize silage quality on dairy farms in South Brazil. In: KUOPPALA, K.; RINNE, M.; VANHATALO, A. (Ed.). **INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE**, 16. Hämeenlinna. Proceedings Hämeenlinna, p. 322-323, 2012.

BOLSEN, K. K.; LIN, C.; BRENT, B. E. et al. Effect of silage additives on the microbial succession and fermentation process of alfalfa and corn silages. **Journal of Dairy Science**, 75(11), 3066-3083, 1992.

BOUFLEUR, Julia Andressa. **Silagem de ração total na alimentação de equinos**. Orientador: Gumerindo Lorian Franco. 2024. 60 f. Dissertação mestrado (Título de Mestre em Ciência Animal.) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, CAMPO GRANDE, MS, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/8808>. Acesso em: 14 ago. 2024.

BUSO, W. H. D.; MACHADO, A. S.; RIBEIRO, T. B.; SILVA, L. O. Produção e composição bromatológica da silagem de híbridos de milho sob duas alturas de corte. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 5, n. 4, p.74-80, out./dez. 2018

CAETANO, H.; OLIVEIRA, M. D. S. D.; FREITAS JÚNIOR, J. E. D.; RÊGO, A. C. D.; RENNÓ, F. P.; CARVALHO, M. V. D. Evaluation of corn cultivars harvested at two cutting heights for ensilage. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 40, n. 1, p. 12–19, 2011.

CANTARELLA, H. (2007). Nitrogênio. In: Novais, R. F.; Alvarez V., V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. (Ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 375- 470.

CASTRO FILHO, M. A. et al. Valor nutritivo da palha de milho verde para bovinos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.8, n.2, p. 112–121, 2007

CASTRO, C. R. N. Características morfoagrômicas, produção de grãos e valor nutricional das silagens de milho na forma de ração total submetidos à fertirrigação com silício

e inoculação com *azospirillum brasilense* na entressafra agrícola Dissertação (Mestrado), Programa de pós-graduação em Ciência Animal. Chapadinha-MA, 2024.

CARVALHO, G.G.P.; GARCIA, R.; PIRES, A.J.V. et al. Fracionamento de carboidratos de silagem de capim-elefante emurhecido ou com farelo de cacau. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.4, p.1000-1005, 2007.

CHEN, L.; GUO, G.; YU, C. et al. The effects of replacement of whole-plant corn with oat and common vetch on the fermentation quality, chemical composition and aerobic stability of total mixed ration silage in Tibet. **Animal Science Journal**, v. 86, p. 69–76, 2015.

COELHO, J. D. Milho: Produção e Mercado. Caderno Setorial ETENE, 6(182), 2021.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO -. Acompanhamento da Safra Brasileira grãos Safra 2018/2019, agosto/2019. Brasília, 2019. 20 p. CONAB. Último levantamento da safra 2020/21 confirma redução na produção de grãos. Disponível em:<<https://www.conab.gov.br/ultimasnoticias/4234ultimolevantamentodasafra202021confirma-reducao-na-producao-de-graos>>. Acesso em: 25 out..2024.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 11, safra 2023/24, n. 3 terceiro levantamento, dezembro 2023. CONAB. Último levantamento da safra 2023/24 confirma teve uma diminuição de 8,2 % na sua produtividade em relação à safra anterior, decorrente do comportamento climático adverso. Disponível em: < Disponível em: <http://www.conab.gov.br> >. Acesso em: 04 nov..2024.

COSTA, Renata Sousa. Biotecnologias aplicadas na viabilidade de plantio do sorgo forrageiro para produção de grãos e silagem em dietas de ruminantes na modulação do déficit hídrico no período da seca. 2023. 72 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (25.06)/CCAA) - Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2023.

COSTA, T. M. Da; GOMES, P. S. L. Produção do milho sob doses de nitrogênio em latossolo. Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas do Vale do São Lourenço – EDUVALE, Jaciara-MT, 2021.

CQBAL 4.0. **Tabela de composição química e bromatológicas de alimentos**. 2017-2018. Disponível em: < <http://www.cqbal.com.br>>. Acesso em: 25/11/2023.

CRUZ, J. C; FILHO, I. A. P; NETO, M. M. G. Milho para Silagem. Disponível em: . Acesso em: 02 jan. 2024

DARTORA, J.; GUIMARÃES, V.F.; MARINI, D. SANDER, G. Adubação nitrogenada associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae* na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.10, p.1023-1029, 2013.

DEHGHANIPOODEH, S., GHOBADI, C., BANINASAB, B., GHEYSAARI, M. & SHIRANIBIDABADI, S. (2018). Effect of silicon on growth and development of strawberry under water deficit conditions. *Horticultural Plant Journal*, 4(6), 226–232. <https://doi.org/10.1016/J.HPJ.2018.09.004>

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. **FAO: Irrigation and Drainage paper**, **33**, p. 212, 1979.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. **FAO: Irrigation and Drainage paper**, **33**, Roma, p. 212, 1979.

DOUDI, M.; SLATNI, T.; LAIFA, I.; RHIMI, N.; RABHI, M.; HERNÁNDEZAPAOLAZA, L.; ZORRIG, W.; ABDELLY, C. Silicon (Si) mitigates the negative effects of iron deficiency in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by improving photosystem activities and nutritional status. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 206, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.108236>.

EMBRAPA, Produção de Silagem de Milho para Suplementação do Rebanho Leiteiro. 1. ed. rev., atual. e ampl. Juiz de fora, Mg: Embrapa Comunicado técnico 74, 2014. Disponível em:<[https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/991566/1/COT74PersioP](https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/991566/1/COT74PersioProducaodeSilagemdeMilhoparaSuplementacaodoRebanhoLeiteiro.pdf)roducaodeSilagemdeMilhoparaSuplementacaodoRebanhoLeiteiro.pdf.> Acesso em:20. NOV. 2024

EMBRAPA, Protocolo de qualidade de milho. 1. ed. rev., atual. e ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. Disponível em:<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/415866/1/doc592004.pdf>> Acesso em:10. NOV. 2024.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences* . 1994, v.91, p. 11⁻¹⁷, USA.

ETESAMI, H. 2018. Can interaction between silicon and plant growth promoting rhizobacteria benefit in alleviating abiotic and biotic stresses in crop plants? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 253, p. 98–112.

FARIA, T. F. R. et al. Composição bromatológica de silagens de milho comerciais produzidas no Brasil. **Archivos de Zootecnia**, p. 8, 2020.

FERREIRA ACB, ARAÚJO GAA, PEREIRA, PRG & CARDOSO, AA (2001) Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agricola**, 58:131- 138.

FERREIRA, G.D.G., BARRIÈRE, Y., EMILE, J.C., JOBIMZ. C.C., ALMEIDA, O.C. 2011. Valor nutritivo da silagem de dez híbridos de milho. *ActaScientiarum Animal Sciences*, Maringá, 33, 255-260.Doi: 10.4025/actascianimsci.v33i3.9890

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

FOMINA and I. Skorochood, “Microbial interaction with clay minerals and its environmental and biotechnological implications,” *Minerals* 10, 861 (2020).

FREITAS, A., Sistema de alimentação UNIFEED: Rações completas. 2008. Notícias Limousine, 17:33-36. Disponível em: Acesso em: 12 nov. 2024.

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

GRAÇA, G. A. DA. Silício como mitigador do estresse por deficiência hídrica na cultura do milho. **REVISTA ACADÊMICA DIGITAL, SOUZA EAD**, Ed. Nº 70, p. 1-18, fevereiro, 2024.

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.

GLICK, B. R.; PATTEN, C. L.; HOLGUIN, G.; PENROSE, D. M. Biochemical and genetic mechanisms used by plant growth-promoting bacteria. London: Imperial College Press, 1995. 270 p.

GONG, H.; ZHU X.; CHEN K.; WANG S.; ZHANG C. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. **Plant Science**, v. 169, n. 2, p. 313-321, 2005.

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.

GONZALEZ-PORRAS, C. V., TEIXEIRA, G. C. M., PRADO, R. de M., FERREIRA, P. M., PALARETTI, L. F. & OLIVEIRA, K. S. (2024). Silicon via fertigation with and without potassium application, improve physiological aspects of common beans cultivated under three water regimes in field. **Scientific Reports**, 2024 14:1, 14(1), 1–19. <https://doi.org/10.1038/S41598-024-52503-8>

GUIMARÃES, V.F.; KLEIN, J.; FERREIRA, M.B.; KLEIN, D.K. Promotion of rice growth and productivity as a result of seed inoculation with Azospirillum brasilense. **African Journal Agriculture Researcher**. 2020, 16, 765–776. Link: https://www.researchgate.net/publication/342727000_Promotion_of_rice_growth_and_productivity_as_a_result_of_seed_inoculation_with_Azospirillum_brasilense

GUIMARÃES, M. E. S, Estabilidade aeróbia de silagem de dieta total submetida a diferentes tempos de estocagem com ou sem presença de aditivo. 2019. 27 f. Monografia (curso graduação em Zootecnia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

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.

GUYADER, J.; LITTLE, A.; KRÖBEL, R.; BENCHAAAR, C.; BEAUCHEMIN, K. A. Comparison of greenhouse gas emissions from corn-and barley-based dairy production systems in Eastern Canada. **Agriculturas Systems**, v. 152, “s/n”, p. 38-46, 2017. <https://doi.org/10.1111/pce.12004>

HATTORI, T.; SONOBE, K.; ARAKI, H.; INANAGA, S.; AN, P.; MORITA, S. Silicon application by sorghum through the alleviation of estresse-induced increase in hydraulic resistance. **Journal of Plant Nutrition**, v.31, n.8, p. 1482-1495, 2008.

HENDERSON, N. Silage additives. *Animal Feed Science and Technology*, v.45, p.35-56, 1993. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(93\)90070-Z](https://doi.org/10.1016/0377-8401(93)90070-Z).

HERNANDEZ-APAOLAZA, L. Can silicon partially alleviate micronutrient deficiency in plants? A review. *Plant*, v. 240, n. 3, p. 447–458, 2014. <https://doi.org/10.1007/s00425-014-2119-x>

HUNGRIA, M, NOGUEIRA, M., ARAUJO, R. Inoculation of *Brachiaria* spp. with the plant growth- promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: An environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. *Agric Ecosyst Environ* 221:125– 131, 2016.

HUNGRIA, M. et al. Seed and leaf-spray inoculation of PGPR in *Brachiaria* (*Urochloa* spp.) as an economic and environmental opportunity to improve plant growth, forage yield and nutrient status. *Plant Soil* 2021, 463, 171–186. Doi: 10.1007/s11104-021-04908-x.

IBGE. SIDRA: Banco de Dados de Tabelas Estatísticas. Sistemático da Produção Agrícola. 2022. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default>>. Acesso em: 19 nov. 2023.

IBRAHIM, M. F. M., EL-SAMAD, G. A., ASHOUR, H., EL-SAWY, A. M., HIKAL, M., ELKELISH, A., EL-GAWAD, H. A., EL-YAZIED, A. A., HOZZEIN, W. N. & FARAG, R. (2020a). Regulation of agronomic traits, nutrient uptake, osmolytes and antioxidants of maize as influenced by exogenous potassium silicate under deficit irrigation and semiarid conditions. *Agronomy* 2020, Vol. 10, Page 1212, 10(8), 1212. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10081212>

IMEA Instituto matogrossense de economia agropecuária. Disponível em: <https://www.imea.com.br/imea-site/relatorios-mercado-detalhe?c=3&s=3>. Acesso em 14 set. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. 2023.

IRFAN, M., MAQSOOD, M. A., REHMAN, H. ur, MAHBOOB, W., SARWAR, N., HAFEEZ, O. B. A., HUSSAIN, S., ERCISLI, S., AKHTAR, M. & AZIZ, T. (2023). Silicon nutrition in plants under water-deficit conditions: overview and prospects. *Water* 2023, Vol. 15, Page 739, 15(4), 739. <https://doi.org/10.3390/W15040739>

JOBIM, C. C. et al. Avanços metodológicos nas avaliações da qualidade da forragem conservada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, Supl. Esp., p. 101-120, 2007.

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.

JUNQUEIRA, I.A. et al. Ação de biorreguladores na qualidade e fisiologia de sementes e plântulas de girassol. *Pesq. Agropec. Pernambuco*. 22:e201713, 2017.

KHANUM, S., TAWAHA, A. R. M., KARIMIRAD, R. & AL-TAWAHA, A. R. (2022). Beneficial effects of supplementation silicon on the plant under abiotic and biotic stress. *Silicon* 2022 15:6, 15(6), 2481–2491. <https://doi.org/10.1007/S12633-022-02209-1>

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

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

KORNDORFER, G.H. et al. Calibration of soil and plant silicon analysis for rice production. *J. Pnat Nutr. Athens*. 7:1071-1084. 2001.

KLOTZBÜCHER, T. et al., 2018. Variable silicon accumulation in plants affects terrestrial carbon cycling by controlling lignin synthesis. **Global Change Biology**, v.24, p.183–189.

KRÄMER-SCHMID, Monika; LUND, Peter; WEISBJERG, Martin Riis. Importance of NDF digestibility of whole crop maize silage for dry matter intake and milk production in dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, v. 219, p.68-76, 2016.

KUNG JR, L.; SHAVER, R. Interpretation and use of silage fermentation analysis reports. *Focus on forage*, v. 3, n. 13, p. 1-5, 2001

KUNG JR., L.; TAYLOR, C.C.; LYNCH, M.P.; NEYLON, J.M. The effects of treating alfalfa with *Lactobacillus buchneri* 40788 on silage fermentation, aerobic stability, and nutritive value for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.86, n. 1, p.336–343, 2003.

KUNG, Jr. L. et al. The effect of preservatives based on propionic acid on the fermentation and aerobic stability of corn silage and a total mixed ration. *Journal of Dairy Science*, v. 81, n. 5, p.1322-1330, 1998.

LASKARI, M.; MENEXES, G.; KALFAS, I.; GATZOLIS, I.; DORDAS, C. Water stress effects on the morphological, physiological, characteristics of maize (*Zea Mays* L.) and on environment cost. **Agronomy**, v. 12, n. 10, p. 1-17. 2022.

LOB, S., SA'AD, N. S., IBRAHIM, N. F., SOH, N. C., SHAH, R. M. & ZAUDIN, M. S. H. (2023). Enhanced Growth of Chili (*Capsicum annuum* L.) by Silicon Nutrient Application in Fertigation System. *Malaysian Applied Biology*, 52(2), 13–19. <https://doi.org/10.55230/MABJOURNAL.V52I2.2648>

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, London, v. 11, n. 8, p.392-397, 2006.

MARQUES, D.J.; BIANCHINI, H.C.; MACIEL, G.M.; MENDONÇA, T.F.N. & SILVA, M.F. Morphophysiological Changes Resulting from the Application of Silicon in Corn Plants Under Water Stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, New York, fev. 2021.

MARQUES, D.M. et al. Azospirillum brasilense favors morphophysiological characteristics and nutrient accumulation in maize cultivated under two water regimes. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 19, e1152, 2020.

McDONALD, P.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. The biochemistry of silage. 2ed. Marlow: Holcombe Publications, 340p, 1991.

McDONALD, P.; HENDERSON, A.R.; HERON, S.J.E. The biochemistry of silage. s.l.: Scholium International, 155p. 1991.

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

MELO, P. M. et al. Growth and dry matter partitioning of maize subjected to silicate fertilization in Cerrado soil in Amapá, Brazil. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales, São José dos Pinhais**, v.17, n.4, p. 01-18, 2024.

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

MIYAJI, M.; NONAKA, K. Effects of altering total mixed ration conservation method when feeding dry-rolled versus steam-flaked hulled rice on lactation and digestion in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 101, n. 6, p. 5092–5101, mar. 2018.

MIZUBUTI, I.Y.; et al. Métodos laboratoriais de avaliação de alimentos para animais. Londrina: EDUEL, 2009. 228p.

MUCK, R. E. Recent advances in the silage microbiology. *Agriculture and Food Science*. 22:3 – 15, 2013,

MUCK, R.E. Microbiologia silagem e seu controle por meio de aditivos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, p. 183-191, (supl. Especial) 2010.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. Nutrient requirements of beef cattle. 7.ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 1996.

NAZIR, N. et al. Mechanism of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in enhancing plant growth-A Review *International Journal of Management, Technology And Engineering*, v.8, p.709721. 2018.

NERI, J. et al. Silagem de TMR (total mixed ration) e PMR (partial mixed ration) para vacas leiteiras: desafios e oportunidades. In: Simpósio Internacional de Produção e Nutrição de Gado de Leite, 2019, Uberlândia. **Anais...** Belo Horizonte: FEPMVZ, set. 2019, p. 10⁻¹

NEUMANN, M.; MÜHLBACH, P. R. F.; NÖRNBERG, J. L.; RESTLE, J.; OST, P. R. Efeito do tamanho de partícula e da altura de colheita das plantas de milho (*Zeamays L.*) sobre as perdas durante o processo fermentativo e o período de utilização das silagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1395-1405, 2007.

NEUMANN, M.; TURCO, G. M. S.; FARIA, M. V.; VIGNE, G. L. D.; DE SOUZA, A. M. Produção e composição física de planta de milho para silagem em diferentes sistemas de cultivo. *Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia*, v. 12, n. 1, p. 87-97, 2019.

NOCEK, J.E.; RUSSELL, J.B. Protein and energy as an integrated system: relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. **Journal of Dairy Science**, v.71, n.8, p.2070-2107, 1988.

NOGUEIRA, A. R. de A.; SOUZA, G. B. **Manual de laboratórios**: solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. 313p.

NOGUEIRA, A. R. A., SOUZA, G. B. Tecido vegetal. Manual de laboratórios: solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste; p. 334, 2005.

NOVAES, M.D. S. et al. Caracterização física e química de grãos de milho pipoca comercializados no Brasil. *Multi-Science Journal*, v.2, n.2, p. 75-81, ago/out 2019.

NOVAIS, C.D.R. Perfil fermentativo, composição química e estabilidade aeróbica de silagens de milho (*zea mays*) acrescidas com capim tifton-85 (*cynodon spp.*). 2019. 64p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, 2019

NUSSIO, L.G.; SIMAS, J.M.C.; LIMA, M. M. Determinação do ponto de maturidade do milho para silagem. In: Luiz Gustavo Nussio; Maity Zopollato; José Carlos de Moura. (Org.). **Anais...** 2º Workshop sobre milho para silagem. 1 ed. Piracicaba-SP: FEALQ v. 1, p. 11-26, 2001.

OLIVEIRA, A.C., A.J.V. PIRES, H.C. OLIVEIRA, N.M.S. PATES, N.C. FONCECA, G.G.P CARVALHO e A.B. Oliveira. Composição nitrogenada de silagens de gramíneas tropicais tratadas com uréia. *Arquivos de Zootecnia*, 56: 15-21, 2007.

OLIVEIRA, D. T. M., ANDRADE, C. L. L. de, CABRAL FILHO, F. R., TEIXEIRA, M. B., & FERREIRA, T. M. (2023). Biometric evaluation of the use in different sources of nitrogen in safrinha corn. *Brazilian Journal of Science*, 2(1), 63–71. <https://doi.org/10.14295/bjs.v2i1.252>

OLIVEIRA, G.R.F. et al. Seeds and inoculation with *Bacillus subtilis*. *Braz. J. Biosyst. Eng.* 10:439–448, 2016.

OLIVEIRA, M. A. et al. Composição química dos grãos de milho em resposta à adubação mineral e inoculação com rizobactérias. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 59, n.5, p. 709-715, set/out, 2012.

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

PACHECO, D. S. et al. Performance of corn inoculated with azospirillum brasilense. **Revista de Agronomia e Medicina Veterinária**, 2024, v. 11, n. 2, p. 01-10.

PAZIANI, S. F. Controle de perdas na ensilagem, desempenho e digestão de nutrientes em bovinos de corte alimentados com rações contendo silagens de capim tanzânia. 2004. 208p Tese (doutoradp) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, 2004.

PINTER, I.F. et al. Characterization of the as tolerance conferred by plant growth promoting rhizobacteria to in vitro grown grapevine. *Applied Soil Ecology*. v. 09, p. 6068. 2017.

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

POZZA, A.A.A.; REIS, T.H.P.; MEDEIROS, J.F.; ROMANIELLO, M.M.; GUIMARÃES, P.T.G.; FIGUEIREDO, F.C. Eficiência nutricional das variedades de cafeeiro adubadas com silício. In: 32o CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 2006, p.152-153. Poços de Caldas-MG.

RAMOS, L. A., NOLLA, A., KORNDÖRFER, G. H., PEREIRA, H. S. & CAMARGO, M. S (2006) Reactivity of soil acidity correctives and conditioners in lysimeters. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, 30,849-857.

RAMOS, B. L. P et al, Perdas no Processo de Ensilagem: Uma breve revisão. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 5, e8910514660, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14660>

RASTOGI, A. et al. Does silicon really matter for the photosynthetic machinery in plants...?. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 169, p. 40-48, 2021.

REIS, T. H. P.; GUIMARÃES, P. T. G.; FIGUEIREDO, F. C.; POZZA, A. A. A; NOGUEIRA, F.D.; RODRIGUES, C.R. O silício na nutrição e defesa de plantas. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007.

RESTELATTO, R. Perfil fermentativo, composição químico-bromatológica e perdas na silagem de ração em mistura total. Tese (Doutorado), Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

RODRIGUES, F. D. A., OLIVEIRA, L. D., KORNDÖRFER, A. P. & KORNDÖRFER, G. H (2011). Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. *Informações agronômicas* 134, 14-20.

RODRIGUES, P. H. M.; RUZANTE, J. M.; SENATORE, A. L. et al. Avaliação do Uso de Inoculantes Microbianos sobre a Qualidade Fermentativa e Nutricional da Silagem de Milho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 33: 538-545, 2004.

ROSA, J.R.P., SILVA, J.H.S., RESTLE, J., PASCOAL, L.L., BRONDANI, I.L., ALVES FILHO, D.C., FREITAS, A.K. 2004. Avaliação do Comportamento Agrônômico da Planta e Valor Nutritivo da Silagem de Diferentes Híbridos de Milho (*Zea mays*, L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, 33, 302-312

SÁ, C. G. de. Silagem de ração completa a base de milho contendo subprodutos do babaçu em dietas de ovinos e bovinos. Dissertação (Mestrado), Programa de pós-graduação em Ciência Animal. Chapadinha-MA, 2022.

SÁ NETO, A. et al. Silagem de milho ou de cana-de-açúcar com *Lactobacillus buchneri* exclusivamente ou em associação com *L. plantarum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 5, p. 528-535, 2013.

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

SANTOS, M. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Microbial inoculants: Reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. **AMB Express** 2019, 9, 205. Doi: 10.1186/s13568-019-0932-0.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

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

SAVANT, N. K.; SNYDER, G. H.; DATNOFF, L. E. silicon management and sustainable rice production. **Advances in agronomy**, v. 58, p. 151 – 199, 1997.

SCHELER, E. D.; CAVICHIOLI, F.A. (2021) Viabilidade de silagem de milho para o gado leiteiro. **Revista Interface Tecnológica**, v. 18, n. 1, p. 265–275.

SCHMIDT, P. RESTELATTO, R. ZOPOLLATTO, M. Ensiling total mixed rations - An innovative procedure. In: Proceedings of the V International Symposium on Forage Quality and Conservation, Piracicaba, Brazil. p. 16⁻¹⁷. 2017.

SCHUMACHER, L.L.; VIÉGAS, J.; TONIN, T.J.; PEREIRA, S.N.; SKONIESKI, FR; CARDOSO, G. dos S.; HORA, ALVC da.; TEIXEIRA, J.V.; TEMP, L.B.; NEMOTO, B. dos S. . Efeito da inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* no fracionamento de nitrogênio e glicídio em silagens de sorgo. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento** , [S. l.] , v. 2, pág. e16710212321, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i2.12321. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/12321>. Acesso em: 20 fev. 2025.

SENGER, C. C. D.; KOSLOZKI, G. V.; SANCHES, L. M. B. et al. Evaluation of autoclave procedures for fibre analysis in forage and concentrate feedstuffs. **Animal feed science and technology**, v. 146, n. 1-2, p. 169⁻¹⁷⁴, 2008.

SHEN, X., ZHOU, Y., DUAN, L., LI, Z., ENEJI, A.E., AND LI, J., Silicon effects on photosynthesis and antioxidante parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet_B radiation, **J. Plant Physiol.**, vol. 167, p. 1248–1252, 2010.

SHI, Y., ZHANG, Y., HAN, W., FENG, R., HU, Y., GUO, J. Silicon enhances water stress tolerance by improving root hydraulic conductance in *Solanum lycopersicum* L. **Front. Plant Sci.** 7: 196, 2016.

SHIM, D.; LEE, K.J.; LEE, B.W. Response of phenology – and yield-related traits of maize to elevated temperature in a temperate region. **The Crop Journal**, Amsterdam, v. 5, p.305-316, 2017.

SILVA, A.N. Alterações morfofisiológicas e qualidade de grãos em culturas com potencial para cultivo em safrinha no Cerrado. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2020, 131p. Tese de Doutorado.

SILVA, J. L. F. da, PRADO, R. de M., ALVES, T. L., LATA-TENESACA, L. F. & SOARES, M. B. (2023). New strategy for silicon supply through fertigation in sugarcane integrating the pre-sprouted seedling phase and field cultivation. **Scientific Reports** 2023 13:1, 13(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-27323-3>

SILVA, R.S.; CAMPOS, H.D.; RIBEIRO, L.M.; BRAZ, G.B.P.; MAGALHÃES, W.B.; BUENO, J.N. Danos na cultura do milho em função da redução de área foliar por desfolha artificial e por doenças. *Summa Phytopathologica*, v.46, n.4, p.313-319, 2020.

SINGH, S. P.; COOPER, J. E.; FISHER, H. L.; TARRANT, C. J.; LLOYD, T.; BANJO, J.; CORFE, S.; JONES, C. Determining the chronology and components of psychosis onset: The Nottingham Onset Schedule (NOS). **Schizophrenia Research**, Philadelphia, v. 1, n. 80, p.117-130, 2005.

SOUSA, J. V., RODRIGUES, C. R., LUZ, J. M. Q., CARVALHO, P. C., RODRIGUES, T. M. & BRITO, C. H. (2010). Silicato de Potássio via foliar no milho: fotossíntese, crescimento e produtividade. **Bioscience Journal**, 26 (4), 502-513.

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

SOUZA, T. T., ANTOLIN, L. A. S., BIANCHINI, V. J. M., PEREIRA, R. A. A., SILVA, E. H. F. M., MARIN, F. R. Longer crop cycle lengths could offset the negative effects of climate change on Brazilian maize. **Bragantia**, v.78, p. 622-631, 2019.

SUN, H.; SHEN, Y.; YU, Q.; FLERCHINGER, G.N.; ZHANG, Y.; LIU, C.; ZHANG, X. Effect of precipitation change on water balance and WUE of the winter wheat-summer maize rotation in the north China Plain. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, p.1139-1145, 2010.

SYNGENTA. Semente de milho Feroz Viptera 3. portal.syngenta, 2023. Disponível em:< <https://portal.syngenta.com.br/sementes/nk-milho/feroz-viptera-3> > Acesso: 15/11/2024.

VALADARES FILHO, S. C., ROCHA JÚNIOR, V. R. & CAPPELLE, E.R. Tabelas brasileiras de alimentos para bovinos. Viçosa: UFV; 2002, p.78.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. Ithaca, New York : Cornell University, 1994. 476p.

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS (TBCA). Universidade de São Paulo (USP). Food Research Center (FoRC). Versão 7.2. São Paulo, 2023. Acesso:21/11/2024. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tbca>.

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

THAKUR, A., SINGH, A., TANDON, A. & SHARMA, V. (2023). Insights into the molecular mechanisms of uptake, phytohormone interactions and stress alleviation by silicon: a beneficial but non-essential nutrient for plants. *Plant Growth Regulation*, 1–13. <https://doi.org/10.1007/s10725-023-01002-3>

THORNE, S. J., HARTLEY, S. E. & MAATHUIS, F. J. M. (2020). Is Silicon a Panacea for Alleviating Drought and Salt Stress in Crops. **Frontiers in Plant Science**, 11, 543584. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2020.01221/BIBTEX>.

TIWARI, S. et al. *Bacillus*: Plant growth promoting bacteria for sustainable agriculture and environment. In: New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering. Elsevier, cap. 3, p.4355. 2019. <<https://doi.org/10.1016/B9780444-641915.000031>>.

USDA – United States Department of Agriculture. Grain and Feed Update. <https://www.fas.usda.gov/data/brazil-grain-and-feed-update>¹⁷USDA. Zuffo, A. M. & Aguilera, J. G. **Agronomia: Avanços e Perspectivas**. Nova Xavantina. 137 p., 2020.

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.

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.

VELHO, J. P.; MÜHLBACH, P. R. F.; GENRO, T. C. M. [et al.] Alterações bromatológicas nas silagens de milho submetidas a crescentes tempos de exposição ao ar após “desensilagem”. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 36, n. 3, p.916 – 923, mai-jun, 2007.

Working Group WRB, Base referencial mundial del recurso suelo, 2006. Acessado: 14 de março de 2025.

XIE, Y.; XU, S.; LI, W.; WANG, M.; WU, Z.; BAO, J.; JIA, T.; YU, Z. Effects of the Application of *Lactobacillus plantarum* Inoculant and Potassium Sorbate on the Fermentation Quality, In Vitro Digestibility and Aerobic Stability of Total Mixed Ration Silage Based on Alfalfa Silage. *Animals*, p. 2229, 2020.

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.

YANG, W.Z.; BEAUCHEMIN, K.A. Increasing the physically effective fiber content of dairy cow diets may lower efficiency of feed use. **Journal of Dairy Science**, 89:2694-2704, 2011.

ZANINE, A.; PORTELA, Y.; FERREIRA, D.; PARENTE, M.; PARENTE, H.; SANTOS, E.; OLIVEIRA, J.; PERAZZO, A.; NASCIMENTO, T.; DA CUNHA, I. A.; DE SÀ, C.; MACHADO, N.; SANTOS, F. N.; SOUSA, F. C.; COSTA, R. Babassu Byproducts in Total Mixed Ration Silage Based on Sugarcane for Small Ruminants Diets. **Agronomy**, v. 12, n. 7, p. 1641, 2022.

ZHANG, X.; ZHANG, D.; SUN, W.; WANG, T. The adaptive mechanism of plants to iron deficiency via iron uptake, transport, and homoeostasis. *Int. J. Mol. Sci.* v.20, p. 2424, 2019. <https://doi.org/10.3390/ijms20102424>.