



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - PPGCIAG  
CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ANNA ISABELLE LIMA ROLIM

**CARACTERÍSTICAS FERMENTATIVAS E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA  
SILAGEM DE MILHO SUBMETIDA AO MANEJO BIOLÓGICO**

São Luís – MA, Brasil

2025



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - PPGCIAG  
CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ANNA ISABELLE LIMA ROLIM

**CARACTERÍSTICAS FERMENTATIVAS E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA SILAGEM DE  
MILHO SUBMETIDA AO MANEJO BIOLÓGICO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, sob a orientação do Profa. Dra. Valéria Xavier de Oliveira Apolinário e coorientação do Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura (*In memoriam*) e Profa. Dra. Camila Pinheiro Nobre

São Luís – MA, Brasil

2025

Rolim, Anna Isabelle Lima.

Características fermentativas e composição química da silagem de milho submetida ao manejo biológico. / Anna Isabelle Lima Rolim . – São Luís(MA), 2025.

46p.

Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, 2025 .

Orientadora: Profa. Dra. Valéria Xavier de Oliveira Apolinário.

Elaborado por Luciana de Araújo – CRB 13/445


ANNA ISABELLE LIMA ROLIM

## **CARACTERÍSTICAS FERMENTATIVAS E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA SILAGEM DE MILHO SUBMETIDA AO MANEJO BIOLÓGICO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Ciências Agrárias.


Data de aprovação: 20/08/2025

### **BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 VALERIA XAVIER DE OLIVEIRA APOLINARIO  
Data: 18/11/2025 09:59:53-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Profª. Dra. Valéria Xavier de Oliveira Apolinário (Orientadora)  
Universidade Estadual do Maranhão

Documento assinado digitalmente  
 JOSE ANTONIO ALVES CUTRIM JUNIOR  
Data: 10/11/2025 14:52:51-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. José Antônio Alves Cutrim Junior (Avaliador externo)  
Instituto Federal do Maranhão

Documento assinado digitalmente  
 ERICK RODRIGO DA SILVA SANTOS  
Data: 20/11/2025 13:25:33-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dr. Erick Rodrigo da Silva Santos (Avaliador externo)  
University of Alberta

“É justo que muito custe o que muito vale.”

— **Santa Teresa D'Ávila**

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus, por ter me protegido, abençoado minha mente nos momentos difíceis e guiado meus passos até aqui.

À minha família, que me permitiu estudar e ser quem eu sou hoje. Quero deixar o meu muito obrigada, vocês são minha base.

Ao meu amado, Laecio Abreu, por sempre estar ao meu lado, mesmo em momentos que duvidei da minha capacidade e no meio de muitas lágrimas sempre arrumou um jeito de colocar um sorriso no meu rosto dando-me forças para continuar e sendo um grande apoio. À minha sogra, Maria Santana que cuidou de mim diversas vezes nesse período, ao meu sogro que do jeito dele sempre cuidou de tudo, obrigada por serem pessoas maravilhosas.

Ao professor Emanuel Gomes, que me resgatou e acreditou em mim, se não fosse por ele esse trabalho não seria possível, meu muito obrigada aos diversos ensinamentos e por ter me guiado enquanto pôde. Me disseste que queria um trabalho fora da sua área de solos, então esse é pra você. Eternas saudades.

À minha orientadora, Valéria Apolinário, pela confiança no desenvolvimento deste trabalho, pela paciência, ajuda, opiniões e valiosos ensinamentos.

Ao meu amigo, Clésio Santos, que nunca mediu esforços para me ajudar e me trouxe pessoas importantíssimas nessa jornada. Você é uma inspiração de pessoa e profissional para mim.

Ao professor Zanine, por ter me aceito e aberto as portas da universidade para mim, sempre sendo muito solícito.

Ao Francisco Naysson, que apareceu como um anjo na minha vida ao estender a mão para mim, me ajudou de todas as formas, sempre se esforçando independente de dia da semana, horário, foi solícito comigo. Minha eterna admiração e gratidão.

Ao professor Cutrim Junior, que me acompanha desde a graduação, obrigada pelos diversos conselhos e por sempre dizer que eu dava conta. Você é a base da profissional que me tornei hoje.

À minha amiga, Karol Carvalho, que por muitas vezes com sua calma foi meu ponto de paz e equilíbrio.

À Universidade Federal do Maranhão (UFMA), por colaborar de forma significativa para a realização desse trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) pelo financiamento do projeto e pela bolsa de mestrado concedida, deixo aqui o meu sincero agradecimento.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	12
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1 Panorama produtivo e comercial do milho .....	13
2.2 Estacionalidade de Forragem.....	14
2.3 Silagem de Milho.....	15
2.4 Perfil fermentativo das silagens de milho.....	16
2.5 Produção de volumoso: agricultura convencional x agricultura biológica.....	18
2.6 <i>Azospirillum brasilense</i> e fungos micorrízicos arbusculares .....	19
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	20
3.1 Local experimental, implantação e manejo do milho .....	20
3.2 Delineamento experimental, colheita e ensilagem.....	21
3.3 Perfil fermentativo e perdas fermentativas .....	23
3.4 Quantificação de populações microbianas.....	24
3.5 Composição química.....	24
3.6 Estabilidade aeróbia .....	25
3.7 Análises estatísticas .....	26
4 RESULTADOS.....	26
4.1 Perdas fermentativas .....	26
4.2 Populações microbianas e pH .....	26
4.3 Composição química.....	27
5 DISCUSSÃO .....	28
6 CONCLUSÃO .....	32
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	33
REFERÊNCIAS.....	33

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

B	-	Tratamento Bactéria
BAL	-	Bactérias cido lticas
BDA	-	Batata dextrose gar
C1	-	Tratamento Controle 1
C2	-	Tratamento Controle 2
FDA	-	Fibra em detergente cido
FDN	-	Fibra em detergente neutro
HEM	-	Hemicelulose
LIG	-	Lignina
ML	-	Mofos e Leveduras
Kg	-	Quilograma
MM	-	Matéria mineral
MO	-	Matéria orgânica
MS	-	Matéria seca
N-NH <sub>3</sub>	-	Nitrogênio amoniacal
PB	-	Proteína bruta
PE	-	Perdas por efluentes
PG	-	Perdas por gases
pH	-	Potencial hidrogeniônico
RMS	-	Recuperação de matéria seca
UFC	-	Unidades formadoras de colnias

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química do milho (%) antes da ensilagem sob manejos biológico e convencional. ....	25
Tabela 2. Perfil fermentativo e perdas fermentativas das silagens à base de milho submetidas a manejo biológico e convencional. ....	26
Tabela 3. Quantificação das populações microbianas de bactérias ácido lácticas (BAL), leveduras (LEV) e mofos, além dos valores de pH, em silagens à base de milho submetidas a manejo biológico e convencional ....	27
Tabela 4. Composição química das silagens à base de milho submetidas a manejo biológico e convencional. ....	27

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Croqui da área experimental do cultivo de milho sob manejo biológico e convencional, representando a distribuição dos tratamentos em blocos ao acaso (BL I, BL II, BL III, BL IV). C1, controle, sem insumo; C2, Controle 2 com adição de NPK; B, <i>Azospirillum brasilense</i> ; F, <i>Rhizoglossus clarum</i> ; B×F, manejo biológico com <i>Azospirillum brasilense</i> e <i>Rhizoglossus clarum</i> .....	19
Figura 2. Estabilidade aeróbia das silagens à base de milho submetidas a manejo biológico e convencional ao longo do tempo de exposição ao ar (0, 24, 48, 72, 96 e 120 horas). C1, Controle 1, sem insumo; C2, Controle 2 com adição de NPK; B×F, manejo biológico com <i>Azospirillum brasilense</i> e <i>Rhizoglossus clarum</i> ; T. ambiente, temperatura ambiente .....	24

## RESUMO

A crescente preocupação com a sustentabilidade agrícola tem impulsionado a busca por alternativas que conciliem produtividade e redução dos impactos ambientais. Nesse contexto, a utilização de bactérias promotoras de crescimento como *Azospirillum brasilense*, destaca-se por sua capacidade de fixação biológica de nitrogênio e pela melhoria na absorção de nutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio, reduzindo a necessidade de fertilizantes sintéticos. O presente estudo foi realizado no Campo Experimental do Núcleo Tecnológico de Engenharia Rural (NTER), localizado na Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), em São Luís, Maranhão, Brasil em 2024, e teve como objetivo avaliar a composição química, perdas fermentativas e estabilidade aeróbia de silagens de milho submetidas a adubação com soluções baseadas na natureza (associações de bactérias e fungos micorrízicos arbusculares) no trópico úmido. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos (Controle 1 – sem insumo biológico ou sintético; Controle 2 – adubação com NPK; bactéria associativa; fungos micorrízicos arbusculares; bactéria associativa + fungos micorrízicos arbusculares) e quatro repetições por tratamento. As variáveis avaliadas incluíram perfil fermentativo, composição química, quantificação das populações microbianas, perdas fermentativas e estabilidade aeróbia. A estabilidade aeróbia foi monitorada por meio de data-loggers, com medições realizadas a cada dez minutos. Observou-se efeito significativo ( $P < 0,05$ ) para as variáveis de, fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA). As silagens adubadas com a associação entre bactéria e fungo apresentaram menores valores de FDN (37,17%) e FDA (21,64%). Esse tratamento também resultou em um aumento de 40% na incidência de mofos, comparado aos demais grupos. Verificou-se ausência de leveduras nas silagens dos tratamentos contendo bactérias e fungos, enquanto o tratamento controle apresentou maior crescimento fúngico. A análise de composição química não apresentou diferenças estatísticas para MS, PB, MO e cinzas. Conclui-se que a utilização de adubações biológicas à base de *Azospirillum brasilense* e do fungo micorrízico arbuscular *Rhizoglyphus clarum*, preserva as características fermentativas e químicas associadas a qualidade das silagens.

**Palavras-chave:** *Azospirillum brasilense*, *Rhizoglyphus clarum*, adubação, silagem

## ABSTRACT

The growing concern with agricultural sustainability has driven the search for alternatives that reconcile productivity with reduced environmental impacts. In this context, the use of plant growth-promoting bacteria, such as *Azospirillum brasilense*, stands out for its ability to fix atmospheric nitrogen biologically and enhance nutrient uptake—particularly nitrogen, phosphorus, and potassium—thereby reducing the need for synthetic fertilizers. This study was conducted in 2024 at the Experimental Field of the Rural Engineering Technology Center, located at the Maranhão State University, in São Luís, Maranhão, Brazil. Its objective was to evaluate the chemical composition, fermentative losses, and aerobic stability of corn silages fertilized with nature-based solutions (combinations of bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi) in a humid tropical environment. The experimental design was a randomized block arrangement with five treatments: Control 1 – no biological or synthetic input; Control 2 – NPK fertilization; associative bacterium; arbuscular mycorrhizal fungi; and associative bacterium + arbuscular mycorrhizal fungi, with four replicates per treatment. The variables analyzed included fermentation profile, chemical composition, quantification of microbial populations, fermentative losses, and aerobic stability. Aerobic stability was monitored using data loggers, with measurements recorded every ten minutes. A significant effect ( $P < 0.05$ ) was observed for neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) contents. Silages fertilized with the combined application of bacteria and fungi showed lower NDF (37.17%) and ADF (21.64%) values. This treatment also resulted in a 40% increase in mold incidence compared with the other groups. No yeasts were detected in silages from treatments containing bacteria and fungi, whereas the control treatment showed greater fungal growth. Chemical composition analysis revealed no statistical differences for DM, CP, OM, or ash contents. It can be concluded that biological fertilization with *Azospirillum brasilense* and the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizoglyphus clarum* preserves the fermentative and chemical characteristics associated with silage quality.

**Keywords:** *Azospirillum brasilense*, *Rhizoglyphus clarum*, fertilization, silage

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos, impulsionada pelo aumento populacional e pelas transformações nos padrões de consumo (Saath & Fachinello, 2018; Costello et al., 2020), tem desafiado a agropecuária a produzir de forma mais eficiente e sustentável. Esse desafio é ainda mais relevante em regiões tropicais e subtropicais, como o Brasil, onde as condições ambientais exigem estratégias produtivas adaptadas e resilientes (Artaxo, 2022). Nesse contexto, torna-se fundamental buscar alternativas que integrem a segurança alimentar com a conservação dos recursos naturais e a mitigação dos impactos ambientais associados à produção agropecuária (Crist & Engelman, 2017).

A sustentabilidade dos sistemas produtivos envolve a adoção de práticas que otimizem o uso dos recursos naturais e minimizem os impactos negativos ao meio ambiente. Na agropecuária, as práticas agrícolas relacionadas à produção de alimentos para os animais têm papel central, demandando abordagens que conciliem produtividade e conservação ambiental (Oliveira & Montebello, 2014; Felix et al., 2020). As soluções baseadas na natureza, como o uso de bioinsumos e microrganismos benéficos, vêm ganhando destaque por sua capacidade de melhorar a eficiência dos sistemas agropecuários e contribuir para uma produção mais equilibrada e sustentável (Silva et al., 2021).

O milho (*Zea mays* L.) é uma das principais culturas agrícolas do Brasil, amplamente utilizado tanto na alimentação humana quanto na nutrição animal (Duarte & Garcia, 2021). Sua importância na dieta dos animais, especialmente dos ruminantes, reforça a necessidade de práticas que promovam seu cultivo sustentável. Dentre os nutrientes essenciais, o nitrogênio se destaca por ser um dos mais demandados pelo milho, sendo determinante para seu crescimento e rendimento (Paulo et al., 2016). Nesse cenário, os insumos biológicos surgem como aliados promissores na nutrição vegetal, podendo complementar ou, em alguns casos, reduzir a dependência de insumos convencionais (Silva et al., 2021).

Na pecuária, o milho é amplamente utilizado na confecção de silagem, devido às suas características agrônomicas e nutricionais favoráveis, como alto teor de matéria seca, elevada concentração de carboidratos solúveis e baixa capacidade tampão, que favorecem a fermentação láctica e a conservação da forragem (Silva et al., 2017; Daniel et al., 2019). O uso de silagens contribui para a estabilidade da alimentação animal ao longo do ano, atenuando os efeitos da sazonalidade na disponibilidade de alimentos (Paula, 2021).

Entre as alternativas biotecnológicas, destacam-se os microrganismos promotores de crescimento vegetal, como o *Azospirillum brasilense*, conhecido por sua capacidade de fixar nitrogênio atmosférico e estimular o crescimento radicular, promovendo maior absorção de

nutrientes (Aguirre et al., 2020; Modesto et al., 2021; Peloso, 2023). Além disso, os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) formam associações simbióticas com as raízes das plantas, aumentando significativamente a absorção de fósforo e contribuindo para a tolerância a estresses ambientais (Smith & Read, 1997; Tedersoo, 2018; Moura et al., 2019). Esses microrganismos representam ferramentas valiosas para melhorar a eficiência dos sistemas agrícolas de forma ambientalmente responsável.

Nesse contexto, investigar os efeitos de tecnologias biológicas sobre a produção e a qualidade da silagem de milho torna-se essencial para validar sua aplicação em sistemas produtivos sustentáveis. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar a composição química, as perdas fermentativas e a estabilidade aeróbia de silagens de milho cultivado com soluções baseadas na natureza, por meio da aplicação de associações de bactérias e fungos micorrízicos arbusculares, em condições de trópico úmido.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Panorama produtivo e comercial do milho**

O milho é um dos três cereais mais produzidos e consumidos globalmente (USDA, 2024), com sua principal destinação voltada a alimentação humana. Contudo, a maior parte da produção é destinada a indústria para transformação e extração de amido, álcool, adoçantes, óleos e produção de ração animal (Duarte & Garcia, 2021). Estima-se que cerca de 70% da produção mundial de milho seja destinada à alimentação animal, com esse número podendo alcançar 85% em países desenvolvidos (MAPA, 2023).

Na safra de 2023/24, a produção de milho nos Estados Unidos, China e Brasil deve totalizar 1,22 bilhão de toneladas, representando 65% da produção animal (USDA, 2023). O Brasil ocupa a terceira posição entre os maiores produtores de milho, com 137 milhões de toneladas produzidas (USDA, 2023). Embora os Estados Unidos liderem a produção global, o Brasil se destacou em 2023 como o maior exportador mundial do cereal, sendo responsável por 27% de todo o milho comercializado internacionalmente (USDA, 2023).

Os principais estados produtores de milho no Brasil, em ordem decrescente, são Mato Grosso, Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais (CONAB, 2023). A principal região produtora de milho no país é a Centro-Oeste, com o estado de Mato Grosso responsável por 65% da produção dessa região e 37% da produção nacional (CONAB, 2023). Devido à sua extensão continental, o Brasil realiza o cultivo de milho em três safras anuais, com destaque para a segunda safra, que é a de maior produtividade (Coelho, 2023).

Na região Nordeste, que é a terceira maior produtora de milho do Brasil, a produção é predominantemente realizada por empresas, representando 87% da produção. A região é composta por duas áreas principais de expansão: o Matopiba, que abrange partes dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, com uma exploração agrícola consolidada; e o Sealba, que inclui municípios do leste de Sergipe, Alagoas e o nordeste da Bahia, sendo uma área de exploração mais recentes (CONAB, 2023). Os estados da Bahia, Maranhão e Piauí são os maiores produtores nordestinos, responsáveis por 80% da produção de milho da região (CONAB, 2023).

No Maranhão, a cultura do milho se destaca pela sua importância econômica e social com uma área plantada de 610,6 mil hectares na safra 2022/2023, resultando em uma produção de 3.111,5 toneladas de grãos, com um rendimento médio de 5.096 kg há<sup>-1</sup> (Coelho, 2023). A facilidade de escoamento, especialmente pelo porto do Itaqui, localizado na capital São Luís, fez do Maranhão o maior exportador nordestino de milho nos últimos anos (Coelho, 2023).

## **2.2 Estacionalidade de Forragem**

A estacionalidade forrageira é um fenômeno que ocorre quando as condições climáticas alteram a produção de forragem (Fluck et al., 2025). A produção animal baseada em pastagens enfrenta grandes desafios para manter a eficiência produtiva dos rebanhos devido à variação sazonal na oferta de forragem ao longo do ano (Silva et al., 2020). A flutuação na disponibilidade de plantas forrageiras representa um dos principais obstáculos da pecuária a pasto: durante o período chuvoso, observa-se alta taxa de crescimento das forrageiras, favorecida pelas condições climáticas adequadas; entretanto, na estação seca, há redução expressiva no desenvolvimento vegetal, ocasionada pelo déficit hídrico e pelo estresse ambiental. Essa oscilação resulta em forte variação na quantidade e na qualidade da forragem disponível aos animais, comprometendo o desempenho produtivo dos rebanhos (Santos et al., 2018).

Diante desse contexto, é essencial adotar estratégias nutricionais capazes de sustentar o desempenho animal durante todo o ano, especialmente em regiões com forte variação climática, como o Nordeste brasileiro (Santos et al., 2025). A elevação na demanda por produtos de origem animal, somada à pressão por redução de custos e diminuição dos impactos ambientais, reforça a relevância do uso de técnicas de conservação de forragens (Santos et al., 2025). Conforme destacado por Neumann et al. (2017), tais práticas são fundamentais nos sistemas pecuários, tanto voltados à produção de leite quanto de carne.

De acordo com Neres et al. (2021), nas últimas décadas tem-se observado um aumento significativo no uso de volumosos suplementares nos rebanhos, reflexo da maior conscientização dos produtores sobre as perdas ocorridas durante o período de entressafra e da intensificação dos sistemas

de produção, nos quais as pastagens, isoladamente, não sustentam o desempenho produtivo ideal. Dessa forma, a utilização de forragens conservadas não se limita a uma estratégia para contornar a estacionalidade da produção forrageira, mas configura-se como uma ferramenta eficiente para ajustar a taxa de lotação em sistemas de criação de ruminantes especialmente bovinos, que exigem grandes volumes de alimento para manter a produtividade. A silagem é uma das principais alternativas para alimentação animal em períodos de escassez de pasto, podendo substituir a forragem verde quando bem produzida, quando o processo de ensilagem é conduzido adequadamente, garante-se a preservação da umidade e do valor nutritivo do material original, oferecendo ao rebanho uma fonte estável e de boa qualidade durante a seca (Fluck, 2025).

### **2.3 Silagem de Milho**

O milho desempenha um papel fundamental na alimentação animal, sendo amplamente utilizado como ingrediente concentrado na formulação de rações para suínos, aves e bovinos (Strazzi, 2015). Além disso, a planta fresca pode ser utilizada como volumoso, apresentando uma capacidade de oferta de energia digestível por hectare até 100% superior a de outras gramíneas e leguminosas forrageiras, o que lhe confere elevado valor nutricional (Van Soest et al., 1994; Ferrareto & Shaver, 2015). Entre as formas de utilização do milho como volumoso, destaca-se a silagem, uma estratégia de conservação de forragens essencial para a alimentação do rebanho, especialmente em períodos de escassez de pastagens (Pereira et al., 2007; Spada et al., 2023).

A silagem de milho é amplamente utilizada nos sistemas de produção de carne e leite, garantindo suprimento adequado de volumoso em quantidade e qualidade durante os períodos de menor disponibilidade de forragem (Vieira et al., 2013; Macêdo et al., 2019). Quando produzida sob boas práticas, a silagem de milho pode preservar de 80 a 100% do valor nutritivo do material original, assegurando bons desempenhos zootécnicos (Oliveira et al., 2010). Para ser considerada de alta qualidade, a silagem deve apresentar elevado teor energético e boa produtividade de massa, possibilitando alta ingestão pelos animais (Lupatini et al., 2004). Além disso, diversos fatores influenciam sua qualidade bromatológica, como o genótipo da planta (Almeida et al., 1999), teor de matéria seca em torno de 31%, proteína bruta de aproximadamente 8%, teores adequados de celulose (35%) e hemicelulose (21%), além de baixos teores de fibra em detergente ácido (FDA) e fibra em detergente neutro (FDN), inferiores a 35% e 40%, respectivamente (Oliveira et al., 2010). A digestibilidade é um fator crítico, influenciando diretamente o desempenho animal, sendo beneficiada por baixos teores de FDA e FDN, que elevam a oferta de nutrientes digestíveis totais e a ingestão voluntária de matéria seca (Spada et al., 2023).

Diversos estudos destacam os impactos positivos da silagem de milho sobre o desempenho animal. Cui et al. (2022) relataram que sua inclusão na dieta de bovinos melhora o crescimento, a fermentação ruminal e a microbiota, além de regular o metabolismo de aminoácidos, carboidratos e nucleotídeos. Johnson et al. (2020) observaram que bovinos em terminação alimentados com silagem de milho apresentaram maior rendimento de carcaça (peso da carcaça quente: 372,2 kg) em comparação com aqueles alimentados com silagem de cevada (366,0 kg). Além dos bovinos, a silagem de milho pode ser uma alternativa para suínos, promovendo efeitos positivos sobre a microbiota intestinal, crescimento e metabolismo de proteínas e lipídeos (Yin et al., 2024). Em ovinos, Yanga et al. (2021) verificaram que a silagem de milho aumentou o peso da carcaça e o índice de marmoreio da carne em comparação ao feno de amendoim, efeito associado à maior expressão de mRNA no músculo bíceps femoral.

Embora a silagem de milho seja uma fonte energética de alto valor para a alimentação animal, sua produção envolve alto consumo de energia fóssil, um aspecto relevante em análises energéticas do agroecossistema (Zanini et al., 2003). Nesse contexto, o desenvolvimento de estratégias sustentáveis de manejo pode reduzir os custos de produção e garantir a obtenção de uma silagem de alta qualidade, contribuindo para a eficiência produtiva e ambiental do setor agropecuário.

#### **2.4 Perfil fermentativo das silagens de milho**

A conservação de forragens na forma de silagem é justificada pela sua capacidade de manter características semelhantes à planta original (Nascimento, 2013). Esse processo ocorre por meio de dois princípios fundamentais: a anaerobiose e a acidificação do meio. No entanto, para que a acidificação seja eficiente, é necessário que a fermentação ocorra, o que inevitavelmente resulta em perdas de matéria seca. O objetivo da ensilagem, portanto, é minimizar essas perdas, garantindo a preservação da qualidade do material (Ávila & Carvalho, 2020).

O processo fermentativo da silagem pode ser dividido em quatro fases: pré-fechamento do silo, fermentação ativa, fermentação estável e abertura do silo (Macêdo & Santos, 2019). A atenção deve ser redobrada nas etapas anteriores à vedação do silo, incluindo a colheita, transporte e compactação da forragem, pois perdas durante essas fases podem comprometer o valor nutritivo do produto. Essas perdas ocorrem devido à liberação de carboidratos solúveis e a atividade enzimática remanescente nas células vegetais, que continuam respirando mesmo após o corte da planta (Danner et al., 2003).

Após a vedação do silo, inicia-se a fase anaeróbica da fermentação, durante a qual as bactérias ácido-láticas (BAL) se tornam predominantes e conduzem o processo fermentativo (Macêdo & Santos, 2019). As principais BAL presentes em silagens de milho pertencem aos gêneros

*Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Pediococcus*, *Enterococcus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc* e *Weissella* (Ávila & Carvalho, 2020). Além dessas, as bactérias ácido-propiónicas (BAP) podem estar presentes e são desejáveis por contribuírem para a estabilidade aeróbia da silagem (Ávila & Carvalho, 2020).

A ausência de oxigênio na fase fermentativa interrompe a atividade das enzimas vegetais, favorecendo a ação das BAL, que metabolizam os carboidratos solúveis e os convertem em ácidos orgânicos, principalmente ácido lático (Pahlow et al., 2003; Muck, 2010). O acúmulo desse ácido reduz o pH da silagem para valores entre 3,8 e 5,0, inibindo microrganismos indesejáveis, como clostrídios, bacilos, enterobactérias, fungos filamentosos e leveduras, garantindo a conservação do material ensilado (Elferink et al., 2000).

Para que a silagem seja considerada de boa qualidade, é essencial minimizar a perda de matéria seca ao longo do processo (Borreani et al., 2018). As maiores perdas ocorrem durante a colheita, fermentação, produção de efluentes e exposição nas fases de armazenamento e fornecimento aos animais (Borreani et al., 2018). Recomenda-se que a forragem apresente teor de MS entre 25% e 40% da matéria orgânica e seja processada em partículas de aproximadamente 2 cm para favorecer a compactação e minimizar as perdas (McDonald et al., 1991). Além disso, o teor de carboidratos solúveis da planta forrageira pode variar conforme a espécie, o estágio fenológico e a época da colheita (McDonald et al., 1991). No caso do milho, silagens mais compactadas apresentam menores perdas de carboidratos solúveis (Velho et al., 2007).

A concentração de ácidos orgânicos na silagem é um fator determinante da qualidade fermentativa, pois indica o tipo de fermentação predominante (Muck, 2010). Os principais ácidos produzidos são o lático, acético, propiônico e butírico (Macêdo & Santos, 2019). O ácido lático deve ser mais abundante, pois possui maior capacidade acidificante devido à sua elevada constante de dissociação (Moisio & Heikonen, 1994; Tomich et al., 2003). Por outro lado, uma fermentação dominada pelos ácidos acético, propiônico e butírico não é desejável, pois favorece o crescimento de microrganismos deteriorantes (Macêdo & Santos, 2019). Além disso, fatores como a temperatura do silo podem influenciar diretamente a produção de ácidos orgânicos na silagem, especialmente os ácidos lácticos e acéticos (Kim & Adesogan, 2006).

Outro parâmetro relevante para a qualidade da silagem é a proporção de nitrogênio amoniacal em relação ao nitrogênio total ( $\text{NH}_3/\text{NT}$ ), que reflete o grau de degradação proteica (Muck, 2010). O  $\text{NH}_3$  resulta da desaminação de proteínas por microrganismos proteolíticos, como os clostrídios, além de processos de hidrólise ácida dentro do silo (Bolsen, 1992; Tomich et al., 2003). De acordo com Rabelo et al. (2018), silagens de milho bem conservadas devem apresentar níveis de  $\text{NH}_3$  em torno de 10%, garantindo menor degradação proteína e maior estabilidade do material ensilado.

## **2.5 Produção de volumoso: agricultura convencional x agricultura biológica**

Os solos do trópico úmido são altamente intemperizados e caracterizam-se por condições ambientais extremas, como intensa radiação solar, elevada pluviosidade, altas temperaturas e elevadas taxas de evapotranspiração. Essas características resultam em solos naturalmente pobres em fertilidade, o que representa um desafio para a prática agrícola na região (Nesper, 2015; Moura et al., 2021; Nascimento, 2023).

A baixa eficiência no uso de nutrientes é uma limitação adicional desses solos, especialmente para elementos essenciais como nitrogênio, fósforo e potássio. Esse efeito está diretamente relacionado à coesão do solo, intensificada pelos ciclos repetitivos de umedecimento e secagem, que reduzem o volume enraizável e comprometem a absorção de nutrientes pelas plantas. Como consequência, a viabilidade econômica da agricultura na região torna-se limitada (Aguiar, 2010; Sousa, 2018).

Além das restrições edáficas, a predominância do modelo de agricultura de corte e queima agrava a degradação dos solos. O uso do fogo para limpeza das áreas cultiváveis e a incorporação das cinzas como fertilizante comprometem os ciclos biogeoquímicos, favorecendo a emissão de partículas e gases para a atmosfera e reduzindo a biodiversidade microbiana do solo. Esse processo acelera a degradação ambiental e compromete a sustentabilidade da produção agrícola na região (Wittman, 2017; Macêdo et al., 2019; Moura, 2021).

Para reverter esse quadro, práticas sustentáveis de manejo tornam-se essenciais, priorizando estratégias que promovam a conservação do solo e a manutenção da produtividade agrícola. A fixação biológica de nitrogênio e o uso de insumos naturais são exemplos de abordagens que podem contribuir para a melhoria das condições edáficas e garantir a estabilidade da produção ao longo do tempo (Moura, 2021).

A agricultura biológica surge como uma alternativa viável para esse cenário. De acordo com a Federação Internacional dos Movimentos da Agricultura Biológica (IFOAM, 2021), essa abordagem prioriza a saúde dos solos, dos ecossistemas e das pessoas, fundamentando-se na promoção da biodiversidade e no uso de processos ecológicos adaptados às condições locais. Ao evitar o emprego de insumos sintéticos e adotar práticas ambientalmente responsáveis, esse sistema integra tradição, inovação e ciência para garantir uma produção agrícola mais equilibrada e sustentável (Cristache, 2018).

Apesar dos benefícios ambientais e sociais, a agricultura biológica enfrenta desafios significativos. O alto custo da mão de obra, a escassez de produtos comerciais específicos e a necessidade de maior atenção no manejo são fatores que limitam sua adoção em larga escala. Além disso, estudos indicam que, embora os produtos resultantes desse sistema apresentem maior valor

nutricional, o retorno financeiro pode ser inferior ao da agricultura convencional, tornando a viabilidade econômica um ponto crítico a ser considerado (Seufert & Ramankutty, 2017).

Diante dessas limitações, o desenvolvimento de tecnologias alternativas tem ganhado destaque, especialmente na produção de biofertilizantes, bioestimulante e agentes de biocontrole. No Brasil, inoculantes à base de bactérias promotoras de crescimento vegetal têm sido cada vez mais empregados como alternativa para substituir, total ou parcialmente, o uso de fertilizantes químicos, representando atualmente um mercado que ultrapassa 10 milhões de doses anuais, devido fácil acesso ao mercado (Hungria, 2022). Esses produtos, formulados para estimular processos fisiológicos das plantas, podem melhorar o crescimento, a produtividade e a qualidade nutricional dos cultivos, contribuindo para a viabilidade da agricultura sustentável (Panettieri et al., 2020; Côte, 2022).

A implementação dessas tecnologias, aliada a práticas tradicionais de manejo, como rotação de culturas e o uso de plantas de cobertura, fortalece a resiliência dos sistemas agrícolas. Além disso, estratégias como o uso de bioinoculantes contendo rizobactérias e fungos micorrízicos arbusculares, apresentam potencial para aumentar a eficiência da absorção de nutrientes e melhorar a qualidade do solo ao longo do tempo (Panettieri et al., 2020).

## **2.6 *Azospirillum brasilense* e fungos micorrízicos arbusculares**

Os micro-organismos presentes no solo podem estabelecer interações complexas com uma ampla diversidade de espécies vegetais. As plantas, por sua vez, oferecem uma variedade de nichos ecológicos que favorecem o crescimento e a manutenção de comunidades diversificadas de organismos vivos, entre os quais se destacam as bactérias (Trivedi et al., 2020). As rizobactérias promotoras de crescimento vegetal são definidas como bactérias que habitam a rizosfera e utilizam os exsudatos radiculares como fonte de nutrientes, desempenhando funções que favorecem e estimulam o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Ahemad & Kibret, 2014).

Essas bactérias promovem o crescimento das plantas por meio de mecanismos bioquímicos e enzimáticos, como a fixação biológica de nitrogênio, a produção de hormônios vegetais, a solubilização de fosfatos e a atuação como agentes de controle biológico, entre os efeitos benéficos proporcionados por esses processos, destacam-se o aumento na produtividade de grãos e emergência de sementes, o aumento da biomassa vegetal, o maior rendimento de colheita e a ampliação da resistência das plantas a doenças (Kang et al., 2019; Rodríguez-Vázquez & Mesa-Marín, 2023).

As bactérias diazotróficas, como aquelas pertencentes ao gênero *Azospirillum*, estabelecem associação com a rizosfera das plantas por meio de colonização externa ou endofítica (Besen et al., 2019). A espécie *Azospirillum brasilense* exibe efeitos benéficos como a estimulação do

desenvolvimento das plantas, através do aumento dos hormônios do crescimento, além de favorecer uma maior absorção de nutrientes, como nitrogênio, potássio e fósforo e reduzir os efeitos adversos causados por condições ambientais (Pankievicz et al., 2021; Pelloso et al., 2023). Pesquisas indicam que bactérias do gênero *Azospirillum* são capazes de colonizar as raízes do milho, estabelecendo uma relação simbiótica que proporciona diversos benefícios à planta favorecendo tanto o desenvolvimento radicular quanto o crescimento da parte aérea (Bueno, 2025).

Algumas espécies de fungos também apresentam potencial em promover o crescimento das plantas, entre eles os Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA), pertencentes ao filo Glomeromycota (Tedersoo et al., 2018), que são conhecidos por sua habilidade em aumentar a absorção de nutrientes pelas plantas, especialmente o fósforo através de associação mutualística com as raízes de plantas (Moura et al., 2019).

A simbiose entre fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e plantas é reconhecida como uma das associações ecológicas mais relevantes do planeta, uma vez que esses fungos podem aumentar significativamente a absorção de nutrientes pelas plantas (Xu et al., 2018;). Ademais, estudos têm demonstrado que os FMA podem melhorar a estrutura do solo, favorecer a retenção de nutrientes e reforçar a resistência das plantas a doenças (Begum et al., 2019; Lutz et al., 2023).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) ocorrem em uma ampla variedade de habitats terrestres, incluindo florestas, pastagens, áreas agrícolas e até mesmo solos desérticos. Desempenham papel essencial na ciclagem de nutrientes e na manutenção da biodiversidade dos ecossistemas terrestres, além de poderem ser aplicados como agentes biofertilizantes para promover o crescimento vegetal e aumentar a produtividade agrícola. (Srivastava et al., 2021).

Sendo assim, a diversidade e a atividade dos FMA e das bactérias promotora de crescimento representam um mecanismo chave ao funcionamento dos ecossistemas, principalmente pelo aumento da produtividade da biomassa vegetal e pelo incremento na dinâmica e aporte de nutrientes ao solo.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Local experimental, implantação e manejo do milho**

O experimento foi conduzido no Campo Experimental do Núcleo Tecnológico de Engenharia Rural (NTER), localizado na Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), em São Luís, Maranhão, Brasil. O município está situado nas coordenadas geográficas 2°30'4''S de latitude e 44°18'33''W de longitude, com temperatura média anual de aproximadamente 27 °C, variando entre 28-33°C para as máximas e 20-23°C para as mínimas.

O clima da região é do tipo tropical chuvoso (Aw), de acordo com Köppen, caracterizado por um regime de precipitação média anual de 2.100 mm, com um período chuvoso predominantemente entre janeiro e junho e um período seco de julho a dezembro (Instituto Nacional de Meteorologia, 2023). O experimento foi realizado no período chuvoso de fevereiro a maio de 2024. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrocoeso arênico, com textura franco-arenosa, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2006).

A área experimental permaneceu em pousio desde 2017, com cobertura de gramíneas nativas. Entre 2012 e 2017, foi realizada a aplicação de resíduos de leguminosas na forma de ramos frescos, totalizando 12 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa seca de *Gliricidia sepium*. Em 2014, foram aplicados calcário e gesso natural na superfície do solo, com a incorporação de 1 Mg ha<sup>-1</sup> de cal (equivalente a 390 ha<sup>-1</sup> de magnésio e 130 ha<sup>-1</sup> de cálcio) e 6 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso (1.020 kg ha<sup>-1</sup> de cálcio). Ao longo do experimento, foram aplicados 2.598 kg ha<sup>-1</sup> de cálcio.

O milho (cultivar IPR64/Pioneer) foi semeado em 27 de fevereiro de 2024 e colhido em 24 de maio de 2024, totalizando 87 dias de ciclo. A adubação consistiu na aplicação de 55 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo na forma de superfosfato triplo, 83 kg ha<sup>-1</sup> de potássio na forma de cloreto de potássio e 50 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio na forma de ureia. Além disso, foram incorporados 6 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca de *Crotalaria juncea*, correspondendo a 180 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio. Para a correção do solo, aplicou-se 2 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário e 500 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato natural reativo (83 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo).

Nos tratamentos com fertilização NPK, a adubação seguiu a formulação 4-14-8, fornecendo 35 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo, 46 kg ha<sup>-1</sup> de potássio e 23 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio. Para os tratamentos com inoculantes, foram utilizadas as estirpes *Azospirillum brasilense* (AbV5 e AbV6) e o fungo micorrízico arbuscular *Rhizoglyphus clarum* (CNPAB – A05). A inoculação bacteriana foi realizada no momento da semeadura, misturando 5 mL de inoculante para cada 300 g de sementes de milho. Para a inoculação do solo com FMA (fungo micorrízico arbuscular), foi aplicada uma dose de 1,43 g contendo, em média, 100 esporos diretamente sobre sementes no momento do plantio.

### 3.2 Delineamento experimental, colheita e ensilagem

O experimento foi conduzido em sistema de plantio direto, adotando o delineamento em blocos ao acaso, com cinco tratamentos: Controle 1 (C1), sem aplicação de insumos biológicos ou sintéticos; Controle 2 (C2), com adição de NPK; aplicação de bactéria associativa (B); aplicação de fungos micorrízicos arbusculares (F); e a combinação de bactéria associativa com fungos micorrízicos arbusculares (B×F) (Figura 1). Cada tratamento foi repetido quatro vezes, totalizando quatro repetições por tratamento.

A colheita do milho ocorreu quando as plantas atingiram um teor de matéria seca entre 30 e 35% na média de 90 dias. O corte foi realizado manualmente, com auxílio de um cutelo, a altura de 10 cm do solo. Em seguida, o material foi picado em fragmentos de 1 a 2 cm, utilizando uma ensiladeira estacionária. Após o processamento, a forragem foi homogeneizada manualmente, sem a adição de aditivos para ensilagem, e distribuída em bandejas plásticas conforme os tratamentos experimentais.

Os silos experimentais utilizados eram cilíndricos, confeccionados em cloreto de polivinila (PVC), com dimensões de 50 cm de comprimento e 10 cm de diâmetro. Antes do enchimento, cada silo preparo com 1 kg de areia seca, separada da forragem por uma tela sombrite para permitir a quantificação do efluente produzido. O conjunto completo, composto pelo silo preenchido, areia e tampa, foi pesado antes do início da fermentação.

Após a homogeneização, a forragem foi depositada em silos e compactada com um êmbolo de madeira, seguindo uma densidade de aproximadamente  $600 \text{ kg/m}^3$  de matéria natural. Em seguida, os silos foram fechados com tampas do tipo “taps”, equipadas com válvulas de Bunsen, lacrados com fita adesiva e pesados novamente tendo média de 3kg por silo. O armazenamento foi realizado em temperatura ambiente, e os silos foram abertos após 92 dias de fermentação.

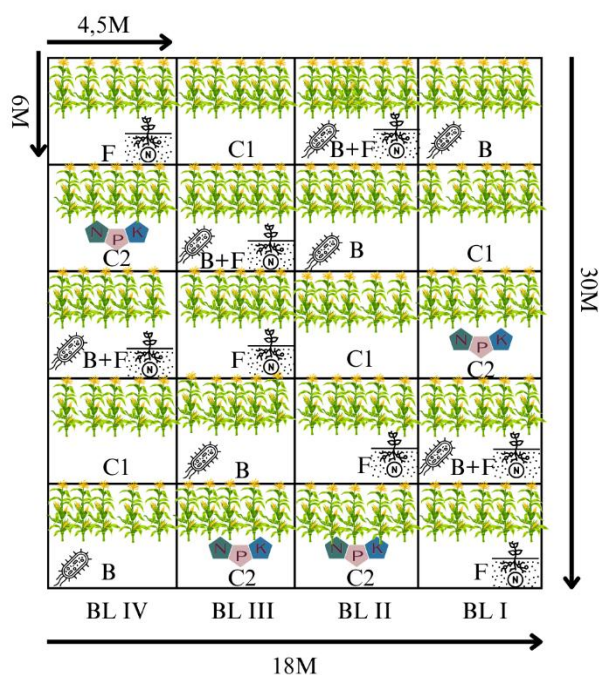


Figura 1. Croqui da área experimental do cultivo de milho sob manejo biológico e convencional, representando a distribuição dos tratamentos em blocos ao acaso (BL I, BL II, BL III, BL IV). C1, controle, sem insumo; C2, Controle 2 com adição de NPK; B, *Azospirillum brasilense*; F, *Rhizoglopus clarum*; B×F, manejo biológico com *Azospirillum brasilense* e *Rhizoglopus clarum*.

### 3.3 Perfil fermentativo e perdas fermentativas

As análises foram realizadas na Universidade Federal do Maranhão (UFMA) Campus Chapadinha. Os silos foram abertos com 92 dias e foi realizado o descarte da camada superficial, foram aferidos a temperatura e o pH das silagens, conforme descrito por Silva & Queiroz (2022). Para a determinação do pH, foram coletadas amostras de 25 g de silagem, as quais foram adicionados 80 mL de água destilada. Após 1 hora de repouso, o pH foi mensurado utilizando um potenciômetro digital, seguida a metodologia descrita por Bolsen et al. (1992). Em seguida, as amostras foram coletadas para avaliação da estabilidade aeróbia e para a realização de análises futuras.

As perdas de matéria seca (PMS) foram quantificadas pela diferença de peso entre o fechamento e a abertura dos silos. As perdas por gases (PG), perdas por efluentes (PE) e a recuperação de matéria seca (RMS) foram determinadas conforme as equações descritas por Jobim et al. (2007).

A perda por gases (% da MS) foi calculada utilizando a equação:

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

Onde: PG: perda de gases durante o armazenamento (% da MS); PSf: peso do silo no fechamento; PSa: peso do silo na abertura; MFf: massa de forragem no fechamento; MSf: teor de MS da forragem no fechamento.

A produção de efluente ( $\text{kg t}^{-1}$  de massa verde) foi determinada pela equação:

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

Onde: PE: produção de efluente ( $\text{kg t}^{-1}$  de massa verde); Pab: peso do conjunto (silo + areia + pano + tela) na abertura (kg); Pen: peso do conjunto (silo + areia + pano + tela) no fechamento (kg); MVfe: massa verde de forragem ensilada (kg).

O índice de recuperação de matéria seca (RMS) foi calculado por:

$$RMS = [(Mfab \times MSab) / (MFfe \times MSfe)] \times 100$$

Onde: 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.

Para a determinação da capacidade tampão (CT) utilizaram-se aproximadamente 15 g de amostra macerada juntamente com 250 mL de água destilada. Com ajuda de um potenciômetro, o material foi titulado primeiro até pH 3,0 com HCL 0,1 N para liberar os bicarbonatos como dióxido de carbono. Em seguida, titulado até pH 6,0 com NaOH 0,1 N, registrando o volume gasto de NaOH para mudar o pH de 4,0 até 6,0 conforme descrito por (PLAYNE; McDONALD, 1966).

Para determinação do teor dos carboidratos solúveis em água (CHO'S) utilizou-se a metodologia proposta por Dubois et al. (1956) e adaptações de Corsato et al. (2008). Foi realizada diluição de 800 ml de água absoluta em 200 ml de água destilada em uma proveta de 1000 ml, após foi pesado 0,050 g da amostra, adicionado em um balão volumétrico de 50 ml e completado com solução de álcool etílico a 80% até a marca, o recipiente foi vedado com papel filme, em seguida foi levado para banho-maria durante 30 minutos a 80 °C. O conteúdo foi homogeneizado e filtrado com auxílio de TNT, em seguida transferido para uma proveta de 100 ml onde o conteúdo foi completado até o limite da proveta. Após isso o extrato etanólico foi transferido para um frasco com tampa, evitando a volatilização do mesmo. Em seguida, foram retiradas alíquotas de 1 ml de extrato etanólico e transferido para tubos de ensaio com tampa rosqueável. Posteriormente, adicionou-se 0,5 ml de solução de fenol a 5% e 2,5 ml de ácido sulfúrico concentrado. Após essa pipetagem, os tubos devem ser homogeneizados com auxílio de vórtex e deixado esfriar a temperatura ambiente. Construiu-se uma curva padrão com concentrações crescentes de solução de glicose a 0,01%, (0,0015; 0,0030; 0,0045; 0,0060; 0,0075; 0,0090; 0,0105g/ml) conduzindo as leituras em espectrofotômetro a 490 nm de absorbância.

O teor de nitrogênio amoniacal como parte do nitrogênio total (N-NH<sub>3</sub>%) foi determinado utilizando-se 15g de silagem fresca. Essa amostra foi transferida para liquidificador, juntamente com 100 mL de solução de cloreto de potássio 15% e processada durante 5 minutos, sendo filtrados e coletados 10 mL. O material foi colocado em um tubo digestor contendo 250 mg de óxido de magnésio calcinado e posteriormente destilado para determinação do nitrogênio pelo método de Kjeldahl e expresso em percentual do nitrogênio total da silagem (NOGUEIRA; SOUZA, 2005).

### **3.4 Quantificação de populações microbianas**

Para quantificação das populações microbianas: bactérias ácido lácticas (BAL), leveduras (LEV) e mofos. Foram realizadas diluições seriadas de 10<sup>1</sup> a 10<sup>6</sup>. Em seguida, o plaqueamento foi conduzido em placas de Petri estéreis utilizando o método *pour-plate* em meios de cultura (González et al., 2003). O ágar MRS (Difco, Detroit, Michigan, EUA) com 0,1% de ácido acético, foi utilizado para o cultivo de BAL (37°C/48 h). Para o cultivo de LEV e mofos, utilizou-se ágar BDA (Batata dextrose ágar, KASVI®), acrescido de 1,5% de ácido tartárico, com incubação a 25°C por 72 h. Para a quantificação das unidades formadoras de colônia (UFC), foram consideradas placas contendo entre 30 e 300 ufc.

### **3.5 Composição química**

As amostras da planta no dia do fechamento dos silos e das silagens, foram submetidas à secagem parcial em estufa de circulação forçada de ar (55°C/72h). Em seguida, as amostras foram moídas em moinho de facas, com peneira de crivo de 1 mm, para análises da composição química.

As amostras da planta e das silagens foram analisadas quanto aos teores de matéria seca (MS, método 930,15), matéria orgânica (MO, método 972,43), matéria mineral (MM, método 942,05) e proteína bruta (PB,  $N \times 6,25$ , método 984,13), conforme descrito pela AOAC (2005). Nessas amostras, também foram determinados os teores de fibra insolúvel em detergente (FDN), utilizando-se  $\alpha$ -amilase termoestável, e fibra em detergente ácido (Van Soest et al., 1991), conforme adaptação de Detmann et al. (2021).

Tabela 1. Caracterização da composição química do milho (%) antes da ensilagem sob manejos biológico e convencional.

Variáveis (%)	Tratamentos					<i>P</i> -valor <sup>i</sup>
	B	B×F	C1 <sup>g</sup>	C2 <sup>h</sup>	F	
MS <sup>a</sup>	33,65	33,08	32,14	31,46	33,65	0,5412
MM <sup>b</sup>	4,00	4,38	3,67	4,14	4,00	0,0610
MO <sup>c</sup>	95,99	95,61	96,32	95,85	95,99	0,0610
PB <sup>d</sup>	9,91	9,27	10,11	9,96	9,91	0,1922
FDN <sup>e</sup>	46,24a	41,86b	42,35b	47,70a	46,24a	0,0051
FDA <sup>f</sup>	29,63a	26,42b	26,14b	29,38a	29,63a	0,0423

Variáveis: <sup>a</sup>MS, Matéria seca; <sup>b</sup>MM, Matéria natural; <sup>c</sup>MO, Matéria orgânica; <sup>d</sup>PB, Proteína bruta; <sup>e</sup>FDN, Fibra insolúvel em detergente neutro; <sup>f</sup>FDA, Fibra insolúvel em detergente ácido; <sup>g</sup>C1, Controle 1, sem insumo; <sup>h</sup>C2, Controle 2 com adição de NPK. Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas linhas diferem entre si, de acordo com o teste Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

### 3.6 Estabilidade aeróbia

Para avaliar da estabilidade aeróbia, foi coletado 1,5 kg de silagem no momento da abertura, pesado e retornado para seu respectivo balde sem compactação. Essas amostras foram expostas durante 200 horas em uma sala com temperatura controlada ( $\pm 25$  °C).

A temperatura das silagens foi monitorada utilizando *data-logger* (DS18B20 Maxim Integrated™, Califórnia, Estados Unidos), com faixa operacional de -55 a 125 °C e precisão de  $\pm 0.5$  °C. Os dispositivos foram inseridos no centro da massa de cada silagem, registrando a temperatura a cada 10 minutos. Outros *data-loggers* foram distribuídos na sala para mensuração da temperatura ambiente. A EA foi definida como o número de horas que a silagem permaneceu estável, considerando o início da deterioração quando a temperatura interna das silagens atingiu dois graus Celsius acima da temperatura ambiente (Kung et al., 2002).

### 3.7 Análises estatísticas

Todos os dados foram avaliados pelo teste de Shapiro-Wilk para verificação da normalidade e homogeneidade de variâncias pelo teste de Levene. Os dados da avaliação microbiológica expressos em unidades formadoras de colônia (ufc) foram transformados para unidade logarítmica na base dez (UFC log<sub>10</sub>). As médias foram comparadas pelo teste Tukey a um nível de significância de 5%, como ferramenta de auxílio para estas análises estatísticas, utilizou-se o procedimento PROC GLM do programa estatístico SAS OnDemand for Academics (SAS Institute, 2025).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Perdas fermentativas

As variáveis relacionadas às perdas fermentativas tais como, perdas por gases (PG), perdas por efluente (PE), recuperação da matéria seca (RMS) e capacidade tampão (CT) não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos ( $P > 0,05$ ). Em contraste, observaram-se diferenças significativas ( $P \leq 0,05$ ) para o nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) e os carboidratos solúveis (CS). O teor de N-NH<sub>3</sub> foi significativamente mais elevado no tratamento com fungo (F), atingindo 2,20% do nitrogênio total, superando expressivamente os demais tratamentos, cujos valores variaram de 0,06% a 0,21%. Para os CS, a maior concentração foi registrada no tratamento com interação B×F (3,70%), o qual se diferenciou estatisticamente dos demais.

Tabela 2. Perfil fermentativo e perdas fermentativas das silagens à base de milho submetidas a manejo biológico e convencional.

Variáveis	Tratamentos					<i>P</i> -valor <sup>f</sup>
	B	B×F	C1 <sup>g</sup>	C2 <sup>h</sup>	F	
PG <sup>a</sup> %	12,02	9,59	10,47	9,50	10,54	0,2417
PE <sup>b</sup> (kg ton <sup>-1</sup> MN)	4,01	4,21	4,14	4,28	4,50	0,1749
RMS <sup>c</sup> %	92,42	93,51	87,62	87,78	90,20	0,1093
N-NH <sub>3</sub> <sup>d</sup> (%N total)	0,06 b	0,21b	0,15b	0,17b	2,20 a	0,0300
CS <sup>e</sup>	2,40b	3,70 <sup>a</sup>	2,27b	2,23b	2,86ab	0,0364
CT <sup>f</sup>	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,0969

Variáveis: <sup>a</sup>PG, Perdas por gases; <sup>b</sup>PE, Perdas por efluentes; <sup>c</sup>RMS, Recuperação da matéria seca; <sup>d</sup>N-NH<sub>3</sub>, Nitrogênio amoniacal; <sup>e</sup>CS, Carboidratos solúveis; <sup>f</sup>CT, Capacidade tampão; <sup>g</sup>C1, Controle 1, sem insumo; <sup>h</sup>C2, Controle 2 com adição de NPK; <sup>f</sup>*P*-valor, Probabilidade de efeitos Bactéria (B), C1, C2, Fungo (F) e interação B com F (B×F); Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas linhas diferem entre si, de acordo com o teste Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

### 4.2 Populações microbianas e pH

Houve efeito significativo dos tratamentos sobre as populações de leveduras (LEV) e mofos (MOFO) ( $P < 0,001$ ), enquanto não foram observadas diferenças estatísticas para bactérias ácido-láticas (BAL) e pH ( $P > 0,05$ ) (Tabela 1). Em relação às leveduras, o tratamento Controle 1 (C1) e Fungo (F) apresentaram as maiores populações (4,34% e 2,63%, respectivamente), ao passo que os tratamentos com bactéria associativa (B), sua combinação com fungos micorrízicos arbusculares (B×F) e o Controle 2 (C2) não apresentaram contagens detectáveis. A maior incidência de mofos foi registrada no tratamento B×F (5,70%), sendo que os demais tratamentos apresentaram valores inferiores, variando de 2,92% a 3,16%. O pH manteve-se estável entre os tratamentos, com variação de 3,82 (F) a 3,90 (B, B×F, C1 e C2). A população de BAL oscilou entre 5,20% (F) e 6,97% (C1), sem diferenças significativas entre os tratamentos.

Tabela 3. Quantificação das populações microbianas de bactérias ácido lácticas (BAL), leveduras (LEV) e mofos, além dos valores de pH, em silagens à base de milho submetidas a manejo biológico e convencional

Variáveis (%)	Tratamentos					<i>P</i> -valor <sup>f</sup>
	B	B×F	C1 <sup>d</sup>	C2 <sup>e</sup>	F	
BAL <sup>a</sup>	6,11	5,57	6,97	5,82	5,20	0,23
LEV <sup>b</sup>	0,0 b	0,0 b	4,34 a	0,0 b	2,63 a	<0,001
MOFO	3,05 b	5,70 a	3,16 b	2,92 b	3,05 b	<0,001
pH <sup>c</sup>	3,87	3,9	3,9	3,9	3,82	0,20

Variáveis: <sup>a</sup>BAL, Bactérias ácido-láticas; <sup>b</sup>LEV, Leveduras; <sup>c</sup>pH, Potencial hidrogeniônico; <sup>d</sup>C1, Controle 1, sem insumo; <sup>e</sup>C2, Controle 2 com adição de NPK; <sup>f</sup>*P*-valor, Probabilidade de efeitos Bactéria (B), C1, C2, Fungo (F) e interação B com F (B×F); Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas linhas diferem entre si, de acordo com o teste Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

### 4.3 Composição química

Observou-se efeito significativo de B×F sobre FDN ( $P = 0,0068$ ) e FDA ( $P = 0,0465$ ), enquanto MS, MM, MO e PB não foram influenciados pelos tratamentos ( $P > 0,05$ ) (Tabela 3). O teor de FDN foi menor em B×F (37,17%) e F (40,93%), enquanto os demais tratamentos apresentaram valores superiores (43,85% a 44,94%). Da mesma forma, FDA foi reduzido em B×F (21,64%) em comparação aos demais tratamentos (24,26% a 26,67%). O teor de MS variou de 30,24% (B) a 32,20% (B×F), sem diferenças significativas. MM, MO e PB também não foram afetados, apresentando valores médios de 3,63%, 96,16% e 7,53%, respectivamente.

Tabela 4. Composição química das silagens à base de milho submetidas a manejo biológico e convencional.

Variáveis (%)	Tratamentos					<i>P</i> -valor <sup>i</sup>
	B	B×F	C1 <sup>g</sup>	C2 <sup>h</sup>	F	
MS <sup>a</sup>	30,24 a	32,20 a	30,72 a	31,46 a	31,91 a	0,4397

MM <sup>b</sup>	3,33 a	3,23 a	3,43 a	3,88 a	5,30 a	0,0610
MO <sup>c</sup>	96,66 a	96,76 a	96,56 a	96,11 a	94,69 a	0,0610
PB <sup>d</sup>	7,34 a	7,19 a	7,59 a	7,76 a	7,78 a	0,1811
FDN <sup>e</sup>	43,88 a	37,17 b	44,94 a	43,85 a	40,93 b	0,0068
FDA <sup>f</sup>	26,38 a	21,64 b	26,67 a	25,79 a	24,26 a	0,0465

Variáveis: <sup>a</sup>MS, Matéria seca; <sup>b</sup>MM, Matéria natural; <sup>c</sup>MO, Matéria orgânica; <sup>d</sup>PB, Proteína bruta; <sup>e</sup>FDN, Fibra insolúvel em detergente neutro; <sup>f</sup>FDA, Fibra insolúvel em detergente ácido; <sup>g</sup>C1, Controle 1, sem insumo; <sup>h</sup>C2, Controle 2 com adição de NPK; <sup>i</sup>P-valor, Probabilidade de efeitos Bactéria (B), C1, C2, Fungo (F) e interação B com F (B×F); Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas linhas diferem entre si, de acordo com o teste Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

#### 4.4 Estabilidade aeróbia

Observou-se efeito de B×F para temperatura das silagens ao longo do tempo de exposição ao ar (Figura 2). As 48 horas, todos os tratamentos apresentaram redução nas temperaturas internas das silagens em relação ao tempo inicial, com menores valores registrados em F (~23°C), seguido por C1 e B. As 96 horas, verificou-se aumento acentuado na temperatura do tratamento C2 (~26,75°C), enquanto B×F e C1 apresentaram aumentos de temperatura mais moderados. O tratamento F manteve-se próximo à temperatura ambiente (~25°C) durante todo o período. Após 120 horas de exposição, as temperaturas de todas as silagens retornaram a valores próximos aos iniciais (~25 °C).

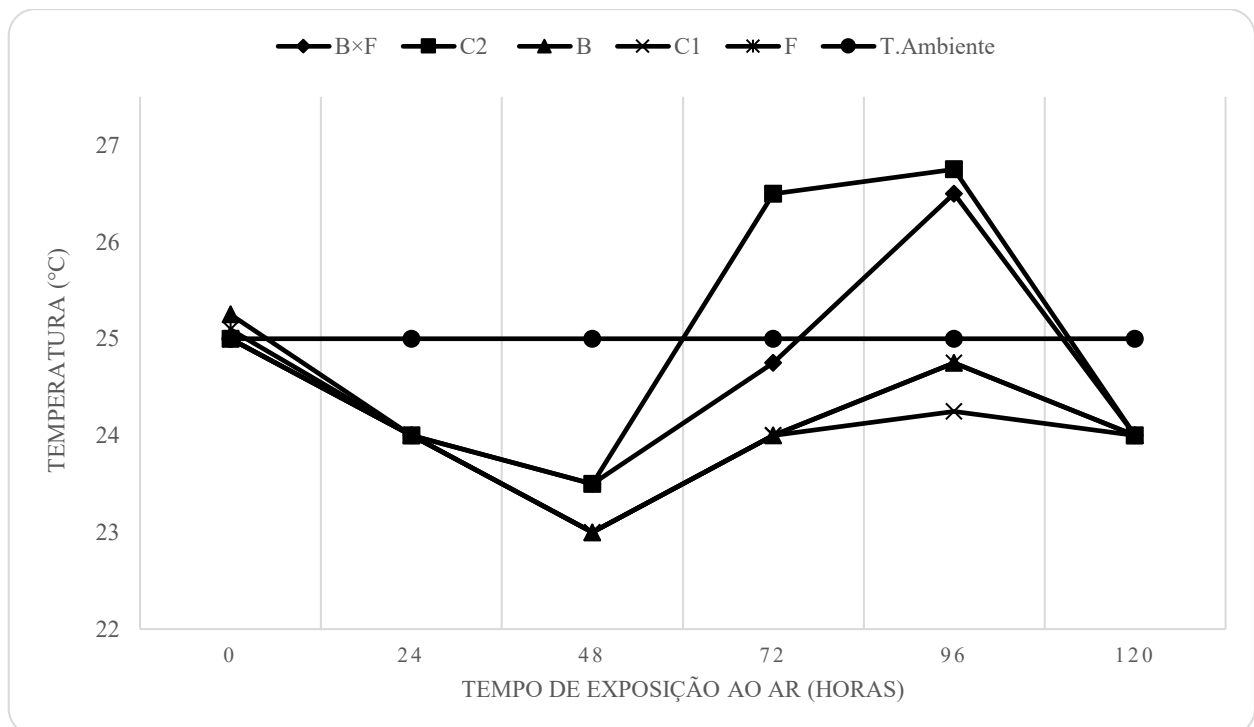


Figura 2. Estabilidade aeróbia das silagens à base de milho submetidas a manejo biológico e convencional ao longo do tempo de exposição ao ar (0, 24, 48, 72, 96 e 120 horas). C1, Controle 1, sem insumo; C2, Controle 2 com adição de NPK; B×F, manejo biológico com *Azospirillum brasilense* e *Rhizoglossus clarum*; T. ambiente, temperatura ambiente.

## 5 DISCUSSÃO

A análise do perfil fermentativo das silagens, especialmente no que se refere às perdas por gases (PG), perdas por efluentes (PE), recuperação da matéria seca (RMS), nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>), carboidratos solúveis (CS) e capacidade tampão (CT) é essencial para a avaliação da qualidade do material conservado. As perdas por efluentes nas silagens foram semelhantes entre os tratamentos, independentemente do sistema de manejo adotado para o cultivo do milho (biológico, químico ou sem adubação). Esse comportamento pode ser atribuído à similaridade dos teores de matéria seca (MS) do material ensilado, que variaram de 31,46% a 33,65% entre os tratamentos. De forma semelhante, Vilela et al. (2008) não observaram diferenças nas perdas por efluentes em silagens produzidas a partir de diferentes variedades de milho, atribuindo esse comportamento à proximidade dos teores de MS no momento da ensilagem. De fato, a produção de efluentes em um silo é influenciada por diversos fatores, sendo o teor de MS um dos mais determinantes (Borreani et al., 2018). Segundo Haigh (1999), quando forragens são ensiladas com cerca de 30% de MS, a produção de efluentes tende a ser pouco expressiva. Além disso, características como tamanho de partículas, processamento e densidade de compactação também exercem influência significativa sobre esse processo (Borreani et al., 2018).

A similaridade nos teores de MS entre os tratamentos, além de contribuir para a redução da lixiviação de nutrientes por meio do efluente, pode ter favorecido também a recuperação da matéria seca (RMS). Essa variável apresentou valores superiores a 87% em todos os tratamentos e não diferiu significativamente entre eles, o que indica eficiência no processo de conservação da silagem. Resultados semelhantes foram relatados por Bispo (2013), que observou RMS entre 86,31 e 88,94% em silagens de milho sob diferentes estratégias de vedação, e por Campos et al., (2017), com recuperação média de matéria seca de 90% em silagens de milho adubadas com diferentes doses de esterco de frango. Altos índices de RMS são desejáveis, pois refletem menor perda de material fermentável durante o processo de ensilagem, sendo indicativo de boa compactação, fermentação adequada e mínima atividade de microrganismos deterioradores durante o armazenamento (Campos et al., 2017).

As perdas por gases (PG) não apresentaram variação significativa em função do manejo adotado no cultivo do milho, mantendo-se em níveis reduzidos em todas as silagens, independentemente do tratamento aplicado. Essa estabilidade nas perdas gasosas pode estar associada à menor produção de etanol durante o processo fermentativo, uma vez que esse composto, principal subproduto da atividade das leveduras, está diretamente relacionado ao aumento das perdas por gases (McDonald et al., 1991). As análises microbiológicas corroboram essa hipótese, indicando baixa incidência de microrganismos deterioradores, especialmente leveduras, nas silagens avaliadas. De modo geral, os resultados apontam para um processo fermentativo eficiente, caracterizado por menor

lixiviação de nutrientes via efluente e por perdas gasosas reduzidas, o que contribuiu para uma alta recuperação de matéria seca (RMS) (Weiß et al., 2022).

Valores elevados de nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) indicam maior intensidade de proteólise durante a fermentação, o que pode comprometer o valor nutricional da silagem. Isso ocorre porque parte do nitrogênio da proteína verdadeira é convertida em compostos que não são aproveitáveis pelos animais (Kung et al., 2018). O aumento nos níveis de N-NH<sub>3</sub> pode estar associado à atividade de microrganismos proteolíticos, como clostrídios, cuja proliferação é favorecida por condições menos ácidas ou pela baixa disponibilidade de substratos energéticos (Macêdo et al., 2017). Apesar de haver diferença significativa entre os tratamentos, o maior N-NH<sub>3</sub> nas silagens analisadas não ultrapassou 2,20% do nitrogênio total no tratamento com fungo (F). Esse valor está bem abaixo do limite considerado crítico, indicando que a degradação proteica foi mínima e que houve boa conservação do valor nutricional das silagens. Esse valor está bem abaixo do limite considerado crítico, de acordo com Rosa et al., (2004), mesmo em diferenças entre híbridos de milho, os teores de N-NH<sub>3</sub> devem permanecer abaixo de 10 % do N total, isso traduz uma condição típica de silagens de boa qualidade e indica que a degradação proteica foi mínima e que houve boa conservação do valor nutricional das silagens. De acordo com Van Soest (1994), silagens bem preservadas apresentam baixas concentrações de N-NH<sub>3</sub>, geralmente inferiores a 10% do nitrogênio total, sendo esse parâmetro um indicador da extensão da proteólise durante o processo fermentativo.

Os carboidratos solúveis são os principais substratos utilizados pelas bactérias ácido-láticas para a produção de ácidos orgânicos, especialmente ácido lático, o qual é fundamental para a rápida queda do pH e a estabilidade da silagem (Ali, 2021). No presente estudo, o maior teor encontrado de CS (3,70%) foi observado no tratamento com a combinação de bactéria e fungo (B×F), o que sugere uma possível ação conjunta dos inoculantes na preservação desses açúcares. Essa maior disponibilidade de CS pode ter favorecido a fermentação homolática, processo em que as BAL convertem açúcares quase exclusivamente em ácido lático, o que tende a acelerar a queda do pH, dificultar a multiplicação de microrganismos indesejáveis e melhorar a conservação e o valor nutritivo da silagem. De acordo com Weinberg & Muck, (1996), níveis elevados de CS no início da ensilagem indicam boa fermentabilidade da forragem e estão relacionados à produção de silagens com maior valor energético.

A capacidade tampão (CT) está diretamente associada à resistência do material ensilado à queda do pH durante a fermentação. Valores reduzidos dessa variável são desejáveis, pois promovem uma acidificação mais rápida do meio, o que inibe o crescimento de microrganismos indesejáveis e favorece a predominância de bactérias ácido-láticas (BAL), fundamentais para uma fermentação eficiente (Macêdo et al., 2017). No presente estudo, os baixos valores de CT observados entre os

tratamentos podem ter contribuído para a estabilidade fermentativa, refletida nos baixos valores de pH e na colonização eficaz pelas BAL. Essa hipótese é reforçada pelos valores de pH obtidos nas silagens, que se mantiveram semelhantes entre os tratamentos e dentro da faixa ideal para a conservação do material (3,8 a 4,2), conforme proposto por Kung et al. (2018) (Tabela 3). Weiß et al., (2022), também encontraram valores de pH inferiores a 5 ao avaliar silagens de milho com diferentes tempos de selagem.

A acidificação adequada da silagem é um dos principais indicadores da qualidade do processo fermentativo, uma vez que limita a ação de microrganismos deterioradores, contribui para a preservação dos nutrientes e promove maior estabilidade da silagem durante o armazenamento (McDonald et al., 1991). Nesse sentido, a manutenção do pH em níveis ideais entre todos os tratamentos, possivelmente influenciada pela baixa capacidade tampão da forragem, favoreceu o crescimento equilibrado das BAL, cujas populações também se mantiveram estáveis nas diferentes silagens avaliadas. Ressalta-se, ainda, que os valores de BAL observados nos tratamentos, oscilando entre 5,20% e 6,97%, permaneceram dentro dos padrões considerados adequados para uma fermentação eficiente, conforme descrito por Kung et al. (2018).

Além da baixa CT, a uniformidade no período de colheita do milho, realizado aos 87 dias após a semeadura, pode ter contribuído para homogeneidade fermentativa entre os tratamentos. A colheita em estádios precoces do desenvolvimento da planta, entre 85 e 110 dias, tende a concentrar maior população de BAL naturalmente presentes na epiderme das forragens, o que favorece a dinâmica inicial da fermentação (Santos, 2021). A padronização do estágio de maturação entre os lotes pode ter proporcionado condições semelhantes para o crescimento microbiano e, conseqüentemente, resultados equivalentes entre os tratamentos no que se refere ao pH final da silagem. Após o corte, o milho apresenta valores iniciais de pH entre 5,5 e 6, que são progressivamente reduzidos durante a fermentação pela produção de ácido láctico, principal metabólito das BAL (Muck et al., 2018). A manutenção do pH dentro da faixa recomendada não apenas indica uma fermentação bem-sucedida, mas também contribui para a preservação da integridade nutricional do material ensilado, evitando perdas por deterioração aeróbia e aumentando a estabilidade durante o armazenamento (Macêdo et al., 2017).

As leveduras estão frequentemente associadas à instabilidade aeróbia das silagens, podendo comprometer sua qualidade após a abertura do silo, especialmente quando expostas ao oxigênio. De acordo com Pinho et al. (2016), na presença de ar, esses microrganismos utilizam o ácido láctico disponível como substrato, promovendo a deterioração da silagem. Nesse contexto, os resultados de ausência de leveduras nos tratamentos que incluíram a inoculação com bactérias são relevantes. Costa

(2023) relatou que um dos principais efeitos do uso de *Azospirillum brasilense* é a redução significativa na população de mofos e leveduras, quando comparado à ausência da bactéria.

Os teores de matéria seca (MS) observados nas silagens de milho permaneceram dentro da faixa considerada ideal, entre 28% e 32%, conforme estabelecido por Kung et al. (2018). De modo semelhante, Bernardes et al. (2013), ao avaliarem o uso de inoculante bacteriano na ensilagem de capim-elefante, não verificaram diferenças estatísticas significativas para as variáveis matéria seca, proteína bruta, pH, presença de fungos filamentosos e perdas durante o processo fermentativo.

O teor de fibra em detergente neutro (FDN) está relacionado à taxa de ingestão da forragem pelos animais. Para uma taxa de passagem mais rápida pelo trato digestivo, o teor de FDN deve se manter abaixo de 60% (Alves et al., 2016). No presente estudo, os valores de FDN e FDA especialmente no tratamento B×F, mantiveram-se dentro das recomendações para as SRC de bovinos de corte: faixa 40% para a FDN e 20% para FDA. O teor de fibra em detergente ácido está inversamente relacionado à digestibilidade da forragem, pois contém celulose e lignina. A alta porcentagem de fibra é uma característica indesejável para milho para ensilagem, correlacionando-se negativamente com a digestibilidade da matéria seca, o que também limitaria a ingestão pelo animal (Paziani, 2019).

A avaliação da estabilidade aeróbia revelou que nenhum dos tratamentos apresentou elevação de temperatura superior a 2 °C em relação ao ambiente, o que indica maior resistência à deterioração, mesmo após a exposição ao ar. Esse comportamento contrasta com o relatado por Kung et al. (2021), que destacam o aumento da temperatura e do pH como sinais característicos da perda de estabilidade, desencadeada pela atividade microbiana. No presente estudo, a ausência de leveduras nos tratamentos com aplicação de bactéria associativa (B), combinação de bactéria associativa com fungos micorrízicos arbusculares (B×F) e no tratamento com aplicação de NPK (C2) sugere que o processo fermentativo foi eficiente, restringindo a ação desses microrganismos, apontados por Woolford (1990) como os principais iniciadores da deterioração aeróbia. Embora o tratamento com aplicação de NPK (C2) tenha apresentado média de 26,75 °C, demonstrando maior tendência à quebra de estabilidade, a ausência de leveduras parece ter impedido a progressão do processo deteriorativo, mantendo a qualidade da silagem. Esses resultados corroboram Nascimento et al. (2023), que observaram que a degradação está associada ao metabolismo de ácido lático e carboidratos residuais por leveduras e fungos, produzindo ácidos e gases. Assim, a combinação de baixa elevação de temperatura e ausência de leveduras observada neste estudo reforça a eficiência da fermentação como fator determinante para a preservação da estabilidade aeróbia.

## **6 CONCLUSÃO**

A aplicação das diferentes adubações biológicas, envolvendo *Azospirillum brasilense* e o fungo micorrízico arbuscular *Rhizoglyphus clarum*, preserva as características fermentativas e químicas associadas a qualidade das silagens.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos evidenciam que a utilização da adubação biológica à base de *Azospirillum brasilense* e do fungo micorrízico arbuscular *Rhizoglyphus clarum* preservou as características fermentativas e químicas da silagem de milho, mantendo o pH na faixa ideal (3,82 a 3,90) e garantindo baixos teores de nitrogênio amoniacal, com destaque para o tratamento F (2,20%) como o maior valor, ainda assim muito abaixo do limite crítico. O tratamento combinado B×F apresentou menor teor de FDN (37,17%) e FDA (21,64%), além de maior concentração de carboidratos solúveis (3,70%), favorecendo a fermentação homolática e a conservação do material. As perdas por efluentes e gases permaneceram baixas e sem diferenças significativas entre os tratamentos, com recuperação de matéria seca superior a 87% em todos os casos, evidenciando boa compactação e estabilidade fermentativa. As populações de leveduras foram nulas nos tratamentos com inoculantes, indicando menor risco de deterioração aeróbia, embora o B×F tenha apresentado maior incidência de mofos (5,70%). A estabilidade aeróbia manteve-se adequada ao longo de 120 horas de exposição ao ar. Esses resultados indicam que a adoção dessa tecnologia pode reduzir a dependência de fertilizantes sintéticos, promover sustentabilidade e assegurar silagens de qualidade em sistemas produtivos no trópico úmido, desde que associada a boas práticas de manejo no corte, compactação e vedação.

## REFERÊNCIAS

- Aguiar, A. das C., Bicudo, S. J., Costa Sobrinho, J. R. S., Martins, A. L. S., Coelho, K. P., & de Moura, E. G. (2010). Nutrient recycling and physical indicators of an alley cropping system in a sandy loam soil in the pre-Amazon region of Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 86(2), 189–198. <https://doi.org/10.1007/s10705-009-9283-6>
- Aguirre, P. F., Giacomini, S. J., Olivo, C. J., Bratz, V. F., Quatrin, M. P., & Schaefer, G. L. (2020). Biological nitrogen fixation and urea-N recovery in “Coastcross-1” pasture treated with *Azospirillum brasilense*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 55. <https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2020.v55.01242>

- Ahemad, M.; Kibret, M. (2014) Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University. Science*, v. 26, n. 17 1, p. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2013.05.001>.
- Ali, M. F. (2021). An overview on the factors affecting water-soluble carbohydrates concentration during ensiling of silage. *Journal of Plant and Environment*.
- Almeida Filho, S. L. de, Fonseca, D. M. da, Garcia, R., Obeid, J. A., & Oliveira, J. S. e. (1999). Características agrônômicas de cultivares de milho (*Zea mays* L.) e qualidade dos componentes e silagem. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 28(1), 7–13. <https://doi.org/10.1590/S1516-35981999000100002>
- Alves, A. R., Pascoal, L. A. F., Cambuí, G. B., Trajano, J. da S., Silva, C. M. da, & Gois, G. C. (2016). Fibra para ruminantes: Aspecto nutricional, metodológico e funcional. *Pubvet*, 10(07). <https://doi.org/10.22256/pubvet.v10n7.568-579>
- AOAC. (2005) Official Methods of Analysis. 18th edn. Association of Official Analytical Chemists; Arlington, VA, USA.
- Artaxo, P. (2022). Oportunidades e vulnerabilidades do Brasil nas questões do clima e da sustentabilidade. *Revista USP*, (135), 119-136.
- Ávila, C. L. S., & Carvalho, B. F. (2020). Silage fermentation—updates focusing on the performance of micro-organisms. *Journal of Applied Microbiology*, 128(4), 966–984. <https://doi.org/10.1111/jam.14450>
- Begum, N., Ahanger, M. A., Su, Y., Lei, Y., Mustafa, N. S. A., Ahmad, P., & Zhang, L. (2019) Improved Drought Tolerance by AMF Inoculation in Maize (*Zea mays*) Involves Physiological and Biochemical Implications. *Plants*, v. 8, n. 12, p. 579, 6 dez. DOI: 10.3390/plantas8120579.
- Bernardes, T. F., Souza, N. S. da S. de, Silva, J. S. L. P. da, Santos, I. A. P., Faturi, C., & Domingues, F. N. (2013). Uso de inoculante bacteriano e melaço na ensilagem de capim-Elefante . *Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 56(2), 173–178. <https://doi.org/10.4322/rca.2013.026>
- Bispo, Á. W. (2013). Perdas de matéria seca, perfil fermentativo e desempenho de vacas leiteiras alimentadas com silagens de milho vedadas com diferentes filmes plásticos (Dissertação de

Mestrado, ESALQ/USP). Disponível em: Biblioteca de Teses USP  
Link: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11139/tde-12112013-104032/publico/Alvaro\\_Wosniak\\_Bispo.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11139/tde-12112013-104032/publico/Alvaro_Wosniak_Bispo.pdf)

Bolsen, K. K., Lin, C., Brent, B. E., Feyerherm, A. M., Urban, J. E., & Aimutis, W. R. (1992). Effect of Silage Additives on the Microbial Succession and Fermentation Process of Alfalfa and Corn Silages. *Journal of Dairy Science*, 75(11), 3066–3083. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)78070-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)78070-9)

Borreani, G., Tabacco, E., Schmidt, R. J., Holmes, B. J., & Muck, R. E. (2018). Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 3952–3979. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13837>

Brasil, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2023). Projeções do Agronegócio: BRASIL 2020-2021 a 2030-2031. Secretaria de Política Agrícola. Brasília, 2021, 102 p. – Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2020-2021-a-2030-031.pdf/view>. Acesso em: 08 mar. 2025

Bueno, M. L. M., Andrade, P. P., & da Silva, T. P. (2025). Doses de Azospirillum brasilense na produtividade do milho safrinha. *Revista Delos*, 18(66), e4644-e4644. DOI:10.55905/rdelosv18.n66-052

Campos, S. D. A., Lana, R. D. P., Galvão, J. C. C., Souza, M. N., & Tavares, V. B. (2017). Efeito do esterco de galinha poedeira na produção de milho e qualidade da silagem. *Revista Ceres*, 64, 274-281.

Coelho, J. (2023). Agricultura: Milho Produção e Mercado. *Banco Do Nordeste Do Brasil, Série Documentos Do ETENE.*, 291. Disponível em: [bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1788/3/2023\\_CDS\\_291.pdf](https://bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1788/3/2023_CDS_291.pdf). Acesso em: 08 mar. 2025

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2022/2023. 9º. *Levantamento*. 9. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/>. Acesso em: 20 mar. 2024.

Costello, C., Cao, L., Gelcich, S., Cisneros-Mata, M. Á., Free, C. M., Froehlich, H. E., Golden, C. D., Ishimura, G., Maier, J., Macadam-Somer, I., Mangin, T., Melnychuk, M. C., Miyahara, M., de

- Moor, C. L., Naylor, R., Nøstbakken, L., Ojea, E., O'Reilly, E., Parma, A. M., Lubchenco, J. (2020). The future of food from the sea. *Nature*, 588(7836), 95–100. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2616-y>
- Crist, E., Mora, C., & Engelman, R. (2017). The interaction of human population, food production, and biodiversity protection. *Science*, 356(6335), 260–264. <https://doi.org/10.1126/science.aal2011>
- Cristache, S.-E., Vuță, M., Marin, E., Cioacă, S.-I., & Vuță, M. (2018). Organic versus Conventional Farming—A Paradigm for the Sustainable Development of the European Countries. *Sustainability*, 10(11), 4279. <https://doi.org/10.3390/su10114279>
- Cui, Y., Liu, H., Gao, Z., Xu, J., Liu, B., Guo, M., Yang, X., Niu, J., Zhu, X., Ma, S., Li, D., Sun, Y., & Shi, Y. (2022). Whole-plant corn silage improves rumen fermentation and growth performance of beef cattle by altering rumen microbiota. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 106(11), 4187–4198. <https://doi.org/10.1007/s00253-022-11956-5>
- Daniel, J. L. P., Bernardes, T. F., Jobim, C. C., Schmidt, P., & Nussio, L. G. (2019). Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. *Grass and Forage Science*, 74(2), 188–200. <https://doi.org/10.1111/gfs.12417>
- Danner, H., Holzer, M., Mayrhuber, E., & Braun, R. (2003). Acetic Acid Increases Stability of Silage under Aerobic Conditions. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(1), 562–567. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.1.562-567.2003>
- Detmann, E. (2021). Métodos para análises de alimentos (2ª ed.) Visconde do Rio Branco, MG. p-350.
- Duarte, J., & Garcia, J. (2021). Milho: importância socioeconômica. *Embrapa*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-21tecnologica/cultivos/milho/preproducao>
- Dubois, M., gilles, k. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 350- 356. 1956.
- Elferink, S. J. W. H. O., Driehuis, F., Gottschal, J. C., & Spoelstra, S. F. (2000). Silage fermentation processes and their manipulation. *FAO Plant Production and Protection Papers*, 17–30. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Frank-Driehuis/publication/228558577>

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. (2006). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.*, 2, 306. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileirode-classificacao-de-solos>. Acesso em: 12 nov. 2023
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP & WHO (2024). The State of Food Security and Nutrition in the World. *Building Climate Resilience for food security and nutrition*. Disponível em: <https://doi.org/10.18356/c94f150c-en>. Acesso em: 10 mar. 2025
- FAOSTAT. (2006). *Agricultural data: FAO*. Disponível em: <http://faostat.fao.org/faostat/collections?version=ext&hasbulk=0&subset=agriculture>. Acesso em: 09 de março 2025
- Félix, A. da S., Nascimento, J. W. B. do, Melo, D. F. de, Furtado, D. A., & Santos, A. M. dos. (2020). Análise exploratória dos impactos das mudanças climáticas na produção vegetal no Brasil. *Revista Em Agronegócio e Meio Ambiente*, 13(1), 397–409. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2020v13n1p397-409>
- Ferraretto, L. F., & Shaver, R. D. (2015). Effects of whole-plant corn silage hybrid type on intake, digestion, ruminal fermentation, and lactation performance by dairy cows through a meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 98(4), 2662–2675. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9045>
- Fluck, A. C., Borba, L. P. de, Gepfrie, K. A., Araújo, L. A. L. de, Baungratz, A. R., Venturini, T., Conto, L., & Rosa, P. P. da. (2025). *Silagem: Tecnologias e fundamentos para a eficiência na conservação de volumosos*. In A. C. Fluck, O. A. Denardin Costa, & K. M. Cardinal (Eds.), *Nutrição animal: Novas perspectivas e avanços para a sustentabilidade e otimização dos sistemas de criação* (Cap. 20, pp. 303-323). Editora Científica. <https://doi.org/10.37885/250519310>
- Gabriel, D., Sait, S. M., Kunin, W. E., & Benton, T. G. (2013). Food production vs. biodiversity: comparing organic and conventional agriculture. *Journal of Applied Ecology*, 50(2), 355–364. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12035>
- Godfray, H. C. J., Aveyard, P., Garnett, T., Hall, J. W., Key, T. J., Lorimer, J., Pierrehumbert, R. T., Scarborough, P., Springmann, M., & Jebb, S. A. (2018). Meat consumption, health, and the environment. *Science*, 361(6399). <https://doi.org/10.1126/science.aam5324>

- Godoy, M. M. (2016). Importance of limestone and fertilization in traditional and alternative production of forage plants. PUBVET. Disponível em: [https://www.academia.edu/119010826/Importance\\_of\\_limestone\\_and\\_fertilization\\_in\\_traditional\\_and\\_alternative\\_production\\_of\\_forage\\_plants](https://www.academia.edu/119010826/Importance_of_limestone_and_fertilization_in_traditional_and_alternative_production_of_forage_plants)
- Haigh, P.M. (1999). Effluent production from grass treated with additives and maize in large scale bunker silos. *Grass and Forage Science*, v.54, p.208-218. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.1999.00172.x>
- Hungria, M., Barbosa, J. Z., Rondina, A. B. L., & Nogueira, M. A. (2022). Improving maize sustainability with partial replacement of N fertilizers by inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Agronomy Journal*, 114, 2969–2980. <https://doi.org/10.1002/agj.2.21150>
- IFOAM. *History of IFOAM*. Disponível em: [http://www.ifoam.org/about\\_ifoam/inside\\_ifoam/history.html](http://www.ifoam.org/about_ifoam/inside_ifoam/history.html). Acesso em: 21 mai. 2024.
- INMET-Instituto Nacional de Meteorologia. (2017). Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. *BDMEP*. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em 21 mai. 2024.
- Jobim, C. C., Nussio, L. G., Reis, R. A., & Schmidt, P. (2007). Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36(suppl), 101–119. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007001000013>
- Johnson, J. A., Sutherland, B. D., McKinnon, J. J., McAllister, T. A., & Penner, G. B. (2020). Use of barley or corn silage when fed with barley, corn, or a blend of barley and corn on growth performance, nutrient utilization, and carcass characteristics of finishing beef cattle. *Translational Animal Science*, 4(1), 129–140. <https://doi.org/10.1093/tas/txz168>
- Kang, S.-M. et al. (2019) Integrated phytohormone production by the plant growth-promoting rhizobacterium *Bacillus tequilensis* SSB07 induced thermotolerance in soybean. *Journal of Plant Interactions*, v. 14, n. 1, p. 416–423, 1 jan. 2019. DOI: 10.1080/17429145.2019.1640294
- Kim, S. C., & Adesogan, A. T. (2006). Influence of Ensiling Temperature, Simulated Rainfall, and Delayed Sealing on Fermentation Characteristics and Aerobic Stability of Corn Silage. *Journal of Dairy Science*, 89(8), 3122–3132. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72586-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72586-3)

- Kung, L., Savage, R. M., da Silva, E. B., Polukis, S. A., Smith, M. L., Johnson, A. C. B., & Miller, M. A. (2021). The effects of air stress during storage and low packing density on the fermentation and aerobic stability of corn silage inoculated with *Lactobacillus buchneri* 40788. *Journal of Dairy Science*, *104*(4), 4206–4222. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19746>
- Kung, L., Shaver, R. D., Grant, R. J., & Schmidt, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, *101*(5), 4020–4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>
- Kung, L., Taylor, C. (2002). 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. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74222-7](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74222-7)
- Leite, R. da C., Santos, A. C. dos, Santos, J. G. D. dos, Leite, R. da C., Oliveira, L. B. T. de, & Hungria, M. (2019). Mitigation of Mombasa Grass (*Megathyrsus maximus*) Dependence on Nitrogen Fertilization as a Function of Inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, *43*. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20180234>
- Lupatini, G. C.; Maccari, M.; Zanette, S.; Piacentini, E., & Neumann, M. (2004). Avaliação do desempenho agrônômico de híbridos de milho (*Zea mays* L.) para produção de silagem. Sete Lagoas – Brasil. *Revista brasileira milho e sorgo*, *3*(2), 193-203.
- Lutz, S., Bodenhausen, N., Hess, J., Valzano-Held, A., Waelchli, J., Deslandes-Héroid, G., ... & van der Heijden, M. G (2023) Soil microbiome indicators can predict crop growth response to large scale inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature Microbiology*, v. 8, n. 12, p. 19 2277–2289.. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41564-023-01520-w>.
- Ma, J., Liu, H., Liu, M., Xu, J., Lu, J., Cao, S., Li, S., Ma, S., Wang, Z., Zhu, X., Li, D., Sun, H., Shi, Y., & Cui, Y. (2023). Effects of Diets Combining Peanut Vine and Whole-Plant Corn Silage on Growth Performance, Meat Quality and Rumen Microbiota of Simmental Crossbred Cattle. *Foods*, *12*(20), 3786. <https://doi.org/10.3390/foods12203786>
- Macêdo, A. J. da S., & Santos, E. M. (2019). PRINCÍPIOS BÁSICOS PARA PRODUÇÃO DE SILAGEM. *Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia Da UNIPAR*, *22*(4). <https://doi.org/10.25110/arqvet.v22i4.2019.6948>

- Macêdo, A. J. da S., César Neto, J. M., Silva, M. A. da, & Santos, E. M. (2019). Potentialities and limitations of forage plants for silage: Review. *Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal*, 13(2). <https://doi.org/10.5935/1981-2965.20190024>
- Macêdo, A. J. da S., E. M., De Oliveira, J. S., & Perazzo, A. F. (2017). Microbiologia de silagens: Revisão de Literatura. REDVET. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(9), 1-11.
- McDonald, P., Henderson, A. R., & Heron, S. J. E. (1991). The biochemistry of silage. *Chalcomb Publications, Second edition*.
- Modesto, V. C., Andreotti, M., Nakao, A. H., Soares, D. de A., Froio, L. de L., Dickmann, L., Pascoaloto, I. M., & Fernandes, I. M. D. M. (2021). Yield and Production Components of Corn Under Straw of Marandu Palisade Grass Inoculated with *Azospirillum brasilense* in the Low-Land Cerrado. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.617065>
- Moisio, T., & Heikonen, M. (1994). Lactic acid fermentation in silage preserved with formic acid. *Animal Feed Science and Technology*, 47(1–2), 107–124. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90164-3](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90164-3)
- Moura, E. G. de, Sousa, R. M. de, Campos, L. S., Cardoso-Silva, A. J., Mooney, S. J., & Aguiar, A. das C. F. (2021). Could more efficient utilization of ecosystem services improve soil quality indicators to allow sustainable intensification of Amazonian family farming? *Ecological Indicators*, 127, 107723. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107723>
- Moura, E. G., Serpa, S. S., dos Santos, J. G. D., Sobrinho, J. R. S. C., & Aguiar, A. das C. F. (2010). Nutrient use efficiency in alley cropping systems in the Amazonian periphery. *Plant and Soil*, 335(1–2), 363–371. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0424-0>
- Moura, J. B., de Souza, R. F., Junior, W. G. V., Lima, I. R., Brito, G. H. M., & Marín, C. (2019). Arbuscular Mycorrhizal Fungi Associated with Bamboo Under Cerrado Brazilian Vegetation. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19(4), 954–962. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00093-0>
- Muck, R. E. (2010). Silage microbiology and its control through additives. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(suppl spe), 183–191. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300021>

- Muck, R. E., Nadeau, E. M. G., McAllister, T. A., Contreras-Govea, F. E., Santos, M. C., & Kung, L. (2018). Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 3980–4000. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13839>
- Nascimento, M. C. O. do, Souza, B. B. de, Nascimento, M. C. O. do, & Melo, T. de S. (2013). ARMAZENAMENTO DE FORRAGEM PARA CAPRINOS E OVINOS NO SEMIÁRIDO NORDESTINO. *AGROPECUÁRIA CIENTÍFICA NO SEMIÁRIDO*, 9(4), 20–27. <https://doi.org/10.30969/acsa.v9i4.374>
- Nascimento, R. R. do Edvan, R. L., Nascimento, K. dos S., Barros, L. de S., Bezerra, L. R., Miranda, R. de S., Perazzo, A. F., & Araújo, M. J. de. (2023). Quality of Silage with Different Mixtures of Melon Biomass with Urea as an Additive. *Agronomy*, 13(2), 293. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020293>
- Nesper, M., Bünemann, E. K., Fonte, S. J., Rao, I. M., Velásquez, J. E., Ramirez, B., Hegglin, D., Frossard, E., & Oberson, A. (2015). Pasture degradation decreases organic P content of tropical soils due to soil structural decline. *Geoderma*, 257–258, 123–133. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.10.010>
- Neres, M. A., Nath, C. D., & Hoppen, S. M. (2021). Expansion of hay production and marketing in Brazil. *Heliyon*, 7(4), e06787. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06787>
- Oliveira, A., & Montebello, A. (2014). Aspectos Econômicos e Impactos Ambientais da Pecuária Bovina de Corte Brasileira. *Revista UNA9*, 2, 1–20. Disponível em: [http://revistaunar.com.br/cientifica/documentos/vol9\\_n2\\_2014/4.Aspectos%20economicos%20e%20impactos%20ambientais.pdf](http://revistaunar.com.br/cientifica/documentos/vol9_n2_2014/4.Aspectos%20economicos%20e%20impactos%20ambientais.pdf). Acesso em: 12 jun. 2024
- Oliveira, J. (2007). Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho destinados à silagem em bacias leiteiras do estado de Goiás. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 37(1), 45–50. ISSN: 1517-6398. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=253020279008>. Acesso em: 12 jun 2024
- Oliveira, L. B. de, Pires, A. J. V., Viana, A. E. S., Matsumoto, S. N., Carvalho, G. G. P. de, & Ribeiro, L. S. O. (2010). Produtividade, composição química e características agronômicas de diferentes forrageiras. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(12), 2604–2610. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001200007>

- Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura - FAO. (2023). Quase metade da população mundial vive em lares vinculados a sistemas agroalimentares. *Organização Das Nações Unidas Para a Alimentação e a Agricultura*. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/1636062/>. Acesso em: 10 mai 2024
- Pahlow, G. (2003). Microbiology of ensiling. In: BUXTON, D. R.; MUCK, R. E.; HARRISON, J. H. (Ed.). *Silage science and technology. 1st Ed. Madison: American Society of Agronomy*, 31–94. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr42.c2>
- Panettieri, M., de Sousa, L. L., Domínguez, M. T., & Madejón, E. (2020). Long-term impacts of conservation tillage on Mediterranean agricultural soils: shifts in microbial communities despite limited effects on chemical properties. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 304, 107144. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107144>
- Pankievicz et al. Diazotrophic Bacteria and Their Mechanisms to Interact and Benefit Cereals. *Molecular Plant-Microbe Interactions®*, v. 34, n. 5, p. 491–498, maio 2021. DOI: <https://doi.org/10.1094/MPMI-11-20-0316-FI>
- Paula, T. A. de. (2021). Produção de silagem: aspectos agronômicos e valor nutricional em regiões semiáridas - revisão sistemática. *Arquivos Do Mudi*, 25(2), 127–154. <https://doi.org/10.4025/arqmudi.v25i2.56240>
- Paziani, S. D. F., Duarte, A. P., Nussio, L. G., Freitas, R. S. D., Gallo, P. B., & Mateus, G. P. (2019). Correlações entre variáveis quantitativas e qualitativas de milho e de sorgo para silagem. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 18(3), 408-416. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v18n3p408-416>
- Pelloso, M. F., Vidigal Filho, P. S., Scapim, C. A., Ortiz, A. H. T., Numoto, A. Y., & Freitas, I. R. M. (2023). Agronomic performance and quality of baby corn in response to the inoculation of seeds with *Azospirillum brasilense* and nitrogen fertilization in the summer harvest. *Heliyon*, 9(4), e14618. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14618>
- Pereira, E., Mizubuti, I., Pinheiro, S., Villarroel, A., & Clementino, R. (2007). Avaliação da qualidade nutricional de silagens de milho (*Zea mays*, L). *Revista Caatinga*, 20(03), 8–12. ISSN: 0100-316X. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=237117565002>

- Rabelo, C. H. S., Basso, F. C., Lara, E. C., Jorge, L. G. O., Härter, C. J., Mesquita, L. G., Silva, L. F. P., & Reis, R. A. (2018). Effects of *Lactobacillus buchneri* as a silage inoculant and as a probiotic on feed intake, apparent digestibility and ruminal fermentation and microbiology in wethers fed low-dry-matter whole-crop maize silage. *Grass and Forage Science*, 73(1), 67–77. <https://doi.org/10.1111/gfs.12303>
- Rosa, J. R. P., Silva, J. H. S. D., Restle, J., Pascoal, L. L., Brondani, I. L., Alves Filho, D. C., & Freitas, A. K. D. (2004). Avaliação do comportamento agrônômico da planta e valor nutritivo da silagem de diferentes híbridos de milho (*Zea mays*, L.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33, 302–312. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982004000200005>
- Rodríguez-Vázquez R, Mesa-Marín J (2023) Plant responses to plant growth promoting bacteria: Insights from proteomics. *J Plant Physiol* 287:154031. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2023.154031>
- Saath, K. C. de O., & Fachinello, A. L. (2018). Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 56(2), 195–212. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560201>
- Santos, A. S. da S. (2021). Características fermentativas, microbiológicas e composição química de silagens do capim-elefante BRS Capiaçú em diferentes idades de corte e aditivada com inoculante bacteriano. 2021. 62f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal do Piauí, Teresina,
- Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Iubertoni, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A., Araújo Filho, J. C., Oliveira, J. B., & Cunha, T. J. F. (2018). Latossolos. In: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. (Cap. 10 p. 195- 199). Brasília, DF: Editora Embrapa
- Santos, B. R. C. dos; Peripolli, V. a; Pires, P.G.S.; Schwegler, E.; Moreira, F.; Casas, B. A. D (2025). Estratégias para mitigar os efeitos da sazonalidade forrageira: silagens, rações totalmente misturadas e coprodutos agroindustriais. In: **Nutrição Animal: novas perspectivas e avanços para a sustentabilidade e otimização dos sistemas de criação**. 1. ed., [S.l.]: Editora Científica. p. 13-? ISBN 978-65-5360-945-7
- SAS INSTITUTE INC. (2025). SAS Studio on Demand for Academics, Cary, NC: SAS Institute Inc. Disponível em: <https://welcome.oda.sas.com>

- Seufert, V., & Ramankutty, N. (2017). Many shades of gray—The context-dependent performance of organic agriculture. *Science Advances*, 3(3). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1602638>
- Silva, D. C., Costa, N., Araújo, J. C., Silva, A. V., Xavier, G. F., & Ferreira, J. P. (2021). Avaliação da adubação nitrogenada associada à inoculação com bactérias *Azospirillum brasilense* na cultura do milho Evaluation of the nitrogen fertilization associated with the inoculation with bacteria *Azospirillum brasilense* in maize. *Brazilian Journal of Development*, 7(10), 99862-99881.
- Silva, D., & Queiroz, A. (2002). *Análise de alimentos: Métodos químicos e biológicos*. 3. Ed. Viçosa. UFV, 235.
- Silva, V. L. da, Freitas, P. V. D. X. de, Caetano, G. A. de O., & França, A. F. de S. (2020). *Cana energia e produção de silagem como estratégia para alimentação animal*. **Veterinária e Zootecnia**, 27, 1–13. <https://doi.org/10.35172/rvz.2020.v27.507>
- Silva, T. C., da Silva, L. D., Santos, E. M., & Oliveira, J. S. (2017). Importance of the Fermentation to Produce High-Quality Silage. In *Fermentation Processes*. InTech. <https://doi.org/10.5772/64887>
- Smith, S., & Read, D. (1997). Mycorrhizal symbiosis. *Academic Press, New York*, 605.
- Sousa, R. M. de, Furtado, M. B., Araújo, D. R. de, Oliveira, C. de M. B. de, & Castro, R. dos S. (2018). Eficiência no uso dos nutrientes em solos tropicais propensos à coesão: alternativas de manejo. *Acta Tecnológica*, 12(2), 61–72. <https://doi.org/10.35818/acta.v12i2.624>
- Spada, C. A., Faria, M. V., Bonato, F. G. C., Oliveira, V. C., Bordini Tomaz, C. E., Martins de Mello, N., Romero Gonçalves, G., Otutumi, L., & Bonato, D. V. (2023). Seleção de linhagens de milho para produção de forragem, caracterização dos componentes da planta e fatores ambientais: uma revisão. *Peer Review*, 5(14), 264–277. <https://doi.org/10.53660/735.prw1911a>
- Srivastava, S; Johny, L; Adholeya, A. (2021). Review of patents for agricultural use of arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*, v. 31, p. 127-136. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-021-01020-x>
- Strazzi, S. (2015). Derivados do milho são usados em mais de 150 diferentes produtos industriais. *Visão Agrícola*, 13(9), 146–150. Disponível em:

[https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA\\_13\\_Industrializacao-artigo4.pdf](https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA_13_Industrializacao-artigo4.pdf).

Acesso em: 15 fev. 2025

Tedersoo, L., Sánchez-Ramírez, S., Kõljalg, U., Bahram, M., Döring, M., Schigel, D., May, T., Ryberg, M., & Abarenkov, K. (2018). High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. *Fungal Diversity*, 90(1), 135–159. <https://doi.org/10.1007/s13225-018-0401-0>

Tomich, T. (2003). Características químicas para avaliação do processo fermentativo de silagens: uma proposta para qualificação da fermentação. *Documentos 57, Embrapa Pantanal*.

Triches, R. M. (2020). Dietas saudáveis e sustentáveis no âmbito do sistema alimentar no século XXI. *Saúde em debate*, 44(126), 881-894. <https://doi.org/10.1590/0103-1104202012622>

Trivedi, P., Leach, J. E., Tringe, S. G., Sa, T., & Singh, B. K. (2020). Plant–microbiome interactions: from community assembly to plant health. *Nature Reviews Microbiology*, v. 18, n. 11, p. 607-621. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-96-3534-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-96-3534-4_5)

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. (2023). *Production, Supply and Distribution (PSD) on line*. <https://www.fas.usda.gov/data>. Acesso em: 12 mai. 24

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. (2024). *Production, Supply and Distribution (PSD) on line*. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data>. Acesso em: 12 mai. 24

Van Soest, P. J. (1994). Nutritional ecology of the ruminant. 2.Ed. *Ithaca: Cornell University Press*, 476.

Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583–3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)

Velho, J. P., Mühlbach, P. R. F., Nörnberg, J. L., Velho, I. M. P. H., Genro, T. C. M., & Kessler, J. D. (2007). Composição bromatológica de silagens de milho produzidas com diferentes densidades de compactação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36(5 suppl), 1532–1538. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000700011>

- Vieira, V. da C., Martin, T. N., Menezes, L. F. G., Bertoncelli, P., & Storck, L. (2013). Caracterização bromatológica de silagens de milho de genótipos super precoce. *Ciência Rural*, 43(11), 1925–1931. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013001100001>
- Vilela, H. H., Rezende, A. V. D., Vieira, P. D. F., Andrade, G. A., Evangelista, A. R., & Almeida, G. B. D. S. (2008). Valor nutritivo de silagens de milho colhido em diversos estádios de maturação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37, 1192-1199.
- Weinberg, Z. G., & Muck, R. E. (1996). New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. *FEMS Microbiology Reviews*, 19(1), 53–68.
- Weiβ, K., Kroschewski, B., & Auerbach, H. U. (2022). The influence of delayed sealing and repeated air ingress during the storage of maize silage on fermentation patterns, yeast development and aerobic stability. *Fermentation*, 8(2), 48. <https://doi.org/10.3390/fermentation8020048>
- Wittman, H., Chappell, M. J., Abson, D. J., Kerr, R. B., Blesh, J., Hanspach, J., Perfecto, I., & Fischer, J. (2017). A social–ecological perspective on harmonizing food security and biodiversity conservation. *Regional Environmental Change*, 17(5), 1291–1301. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-1045-9>
- Xu, H; Lu, y; Tong, s. (2018). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on photosynthesis and chlorophyll fluorescence of maize seedlings under salt stress. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, p. 199-204. DOI: doi: 10.9755/ejfa.2018.v30.i3.1642
- Yin, X., Wang, P., Yan, Z., Yang, Q., Huang, X., & Gun, S. (2024). Effects of Whole-Plant Corn Silage on Growth Performance, Serum Biochemical Indices, and Fecal Microorganisms in Hezuo Pigs. *Animals*, 14(5), 662. <https://doi.org/10.3390/ani14050662>
- Zanini, A., Campos, A. T., Prestes, T. M. V., Dalmolin, M. de F. D. S., Campos, A. T. de, & Klosowski, E. S. (2003). Análise do consumo de energia na produção de silagem de milho em plantio direto. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 25(2). <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v25i2.1980>