

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
BACHAREL EM ZOOTECNIA**

**PRODUÇÃO E QUALIDADE DA SILAGEM DE MILHETO E
CAPIM-INTEGRA EM MONOCULTIVO E CONSORCIADO SOB
DIFERENTES ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO**

Juliany Vale Ferreira

Rio Verde, GO

Julho, 2026

JULIANY VALE FERREIRA

**PRODUÇÃO E QUALIDADE DA SILAGEM DE MILHETO E CAPIM-
INTEGRA EM MONOCULTIVO E CONSORCIADO SOB DIFERENTES
ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia Goiano –
Campus Rio Verde, como requisito parcial
para obtenção do Grau de Bacharel em
Zootecnia.

Orientadora: Profa. Dra. Kátia Aparecida de Pinho Costa

Rio Verde, GO

Julho de 2026

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

F383p Vale Ferreira, Juliany
 PRODUÇÃO E QUALIDADE DA SILAGEM DE MILHETO E
 CAPIM-INTEGRA EM MONOCULTIVO E CONSORCIADO
 SOB DIFERENTES ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO /
 Juliany Vale Ferreira. Rio Verde 2026.

 43f. il.

 Orientadora: Prof^a. Dra. Profa. Dra. Kátia Aparecida de Pinho
 Costa.
 Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0220184 -
 Bacharelado em Zootecnia - Integral - Rio Verde (Campus Rio
 Verde).
 I. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese (doutorado) | ☐ Artigo científico |
| ☐ Dissertação (mestrado) | ☐ Capítulo de livro |
| ☐ Monografia (especialização) | ☐ Livro |
| ☒ TCC (graduação) | ☐ Trabalho apresentado em evento |

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Juliany Vale Ferreira

Matrícula:

2020102201840399

Título do trabalho:

Produção e qualidade da silagem de milho e capim-integra em monocultivo e consorciado sob diferentes estágios de desenvolvimento

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 15 / 09 / 2026

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde - Goiás

Local

08 / 07 / 2026

Data

Juliany Vale Ferreira

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

gov.br

Documento assinado digitalmente

KATIA APARECIDA DE PINHO COSTA

Data: 08/07/2026 19:19:33-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos 06 de julho de 2026, às 16:00 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pela Profa. Kátia Aparecida de Pinho Costa (orientadora), Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano (IF Goiano - Campus Rio Verde) e Dra. Mariana Borges de Castro Dias (Pós doc PPGCA IF Goiano - Campus Rio Verde), para examinar o Trabalho de Curso, intitulado: Produção e qualidade da silagem de milho e capim-integra em monocultivo e consorciado sob diferentes estágios de desenvolvimento, da discente: Juliany Vale Ferreira, matrícula nº 2020102201840399 do Curso de Zootecnia do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição do candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Dra. Kátia Aparecida de Pinho Costa

Orientadora

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Dra. Mariana Borges de Castro Dias

Membro

Documento assinado eletronicamente por:

- Katia Aparecida de Pinho Costa, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 10/07/2026 14:34:20.
- Eduardo da Costa Severiano, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 10/07/2026 14:44:37.
- Mariana Borges de Castro Dias, 2026102344060004 - Discente, em 10/07/2026 14:53:21.
- Marco Antonio Pereira da Silva, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC1 - CCMTALI/CM , em 10/07/2026 15:42:57.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 10/07/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 839102

Código de Autenticação: c99a613726



AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me sustentado durante toda esta caminhada, concedendo-me força, sabedoria e perseverança para superar os desafios encontrados ao longo da graduação.

Agradeço a minha mãe, pelo apoio, incentivo e compreensão em todos os momentos. Obrigada por acreditar em mim e por estar ao meu lado durante essa trajetória, tornando possível a realização deste sonho.

À minha orientadora, Profa. Dra. Kátia Aparecida de Pinho Costa, pela orientação, paciência, dedicação e pelos conhecimentos compartilhados durante a realização deste trabalho. Sua contribuição foi essencial para o desenvolvimento desta pesquisa e para a minha formação acadêmica e profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de iniciação científica, que contribuiu para o desenvolvimento deste trabalho e para minha formação acadêmica e profissional.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde e ao Curso de Graduação em Zootecnia, pela oportunidade de formação e por todo o suporte oferecido ao longo da graduação.

Aos professores do curso, por todos os ensinamentos transmitidos, que contribuíram significativamente para minha formação como Zootecnista.

Aos colegas e amigos que estiveram presentes durante essa jornada, compartilhando momentos de aprendizado, dificuldades e conquistas, meu sincero agradecimento.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho e para a conclusão desta etapa tão importante da minha vida.

LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

Al	Alumínio
BRS	Brasil Sementes
Ca	Cálcio
CaCl ₂	Cloreto de cálcio
PB	Proteína Bruta
CTC	Capacidade de troca catiônica
Cu	Cobre
CV	Coeficiente de variação
DAS	Dias após a semeadura
DIVMS	Digestibilidade in vitro da matéria seca
EPM	Erro padrão da média
FDA	Fibra em detergente ácido
FDN	Fibra em detergente neutro
Fe	Ferro
H + Al	Hidrogênio mais alumínio
IVDMD	In vitro dry matter digestibility
K	Potássio
K ₂ O	Óxido de potássio
Mg	Magnésio
MM	Matéria mineral
MO	Matéria orgânica
MS	Matéria seca
MV	Massa verde
N	Nitrogênio
NDT	Nutrientes digestíveis totais
N-NH ₃	Nitrogênio amoniacal em relação ao nitrogênio total
P	Fósforo
pH	Potencial hidrogeniônico
PMS	Perda Total de Matéria Seca
S	Enxofre
V%	Saturação por bases

LISTA DE FIGURAS

Páginas

Figura 1. Temperaturas mínimas, médias e máximas e precipitação mensal registradas em Rio verde, Goiás, Brasil durante o período de janeiro a maio de 2025..... 13

Figura 2. Diâmetro do colmo do milheto (a), comprimento da panícula do milheto (b) e altura da *Brachiaria ruziziensis* cv. Integra cortadas nos estágios de desenvolvimento de 70 e 90 dias após a semeadura, independente do sistema forrageiro..... 18

LISTA DE TABELAS

Páginas

Tabela 1. Proporção de material ensilado do milho e capim-inteiro em monocultivo e consórcio.....	15
Tabela 2. Características bromatológica (g kg ⁻¹) do milho, capim-inteiro em monocultivo e consorciado antes da ensilagem.....	16
Tabela 3. Interação entre sistemas forrageiros e estágio de desenvolvimento para produção de massa seca.....	19
Tabela 4. Interação entre sistemas forrageiros e épocas de corte para pH, produção de efluentes e N-NH ₃ das diferentes silagens.....	20
Tabela 5. Perdas totais de matéria seca e capacidade tampão das silagens dos diferentes sistemas forrageiros, independente do estágio de desenvolvimento.	21
Tabela 6. Perdas totais de matéria seca e capacidade tampão das silagens nos estágios de desenvolvimento de 70 e 90 dias após a semeadura, independente do sistema forrageiro.	21
Tabela 7. Interação entre sistemas forrageiros e épocas de corte para os teores de proteína bruta e lignina das diferentes silagens.	22
Tabela 8. Matéria seca (MS), matéria mineral (MM), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), nutrientes digestíveis totais (NDT) e digestibilidade in vitro da MS (DIVMS) das silagens dos diferentes sistemas forrageiros.	23
Tabela 9. Matéria seca (MS), matéria mineral (MM), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) das silagens, nos estágios de desenvolvimento de 70 e 90 dias após a semeadura, independente do sistema forrageiro.....	24

SUMÁRIO

Páginas

1. INTRODUÇÃO	11
2. MATERIAL E MÉTODOS	12
2.1 Caracterização da área	12
2.2. Avaliação das características agronômicas.....	14
2.3. Silagem das culturas	14
2.4. Abertura dos silos e análises das características fermentativas e bromatológicas da silagem.....	16
2.5. Análises estatísticas	17
3. RESULTADOS	17
3.1. Características agronômicas do milho e capim-integra	17
3.2. Produção de massa seca (kg ha ⁻¹)	18
3.3. Características fermentativas	19
3.4 Características bromatológicas	21
4. DISCUSSÃO	24
4.1. Características agronômicas do milho e capim-integra	24
4.2. Produção de massa seca.....	25
4.4. Características bromatológicas	28
5. CONCLUSÃO.....	31
REFERÊNCIAS..	31

Ferreira, Juliany Vale. **Produção e qualidade da silagem de milho e capim-integra em monocultivo e consorciado sob diferentes estágios de desenvolvimento.** Monografia (Curso Bacharelado em Zootecnia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2026. 43p

RESUMO: Sistemas integrados são tecnologias eficientes para promover a intensificação dos sistemas de produção, pois promovem diversos serviços ecossistêmicos, como a produção de forragem de qualidade na entressafra, aumento da produção da massa ensilada e a qualidade da silagem. A cultura do milho já vem sendo utilizada em sistemas consorciados, entretanto, é necessária investigar o melhor estágio de desenvolvimento da cultura para a produção de silagem. Além disso, ainda são escassos os resultados sobre o desempenho do milho quando cultivado com a nova *Brachiaria ruziziensis* cv. BRS Integra. Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar o impacto do consórcio do milho com capim-integra, colhido em dois estágios de desenvolvimento, nas características agrônômicas, produção de massa seca, parâmetros fermentativos e qualidade da silagem em relação os monocultivos dessas culturas. O experimento foi conduzido no Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, Goiás, Brasil. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema fatorial 3 x 2, sendo três sistemas de cultivos: milho em monocultivo (*Pennisetum glaucum* L.); capim-integra (*Brachiaria ruziziensis* cv. BRS Integra) em monocultivo; milho consorciado com capim-integra e dois estágios de desenvolvimento (70 e 90 dias após a semeadura - DAS). Os resultados mostraram que o consórcio do milho com capim-integra, quando colhido aos 90 DAS, aumenta a produção de massa seca e melhora as características fermentativas da silagem. Além disso, incrementa o valor nutritivo da silagem com aumentos de 30,17% por de proteína bruta e de 19,11% e de matéria seca, além de balancear as frações fibrosas da silagem, quando comparado a silagem de capim-integra em monocultivo. Com base nos resultados, o híbrido de milho BRS 1501 demonstrou alto rendimento de forragem e características fermentativas favoráveis quando colhido em diferentes estágios de desenvolvimento, sendo considerado uma cultura promissora para a produção de silagem em condições tropicais.

Palavras-chave: *Brachiaria ruziziensis* cv. BRS Integra; características bromatológica; parâmetros fermentativos; *Pennisetum glaucum* L.

1. INTRODUÇÃO

É notório que os desafios para uma produção sustentável são complexos e urgentes, frente as preocupações ambientais, as alterações climáticas e a segurança alimentar de uma população mundial crescente (Zhang et al., 2023), e buscar alternativas para enfrentar tais desafios se torna necessário. Neste contexto, os sistemas integrados de produção, tem-se destacado como tecnologia atrativa, barata e sustentável para intensificar a produção de alimentos, reduzir custos e riscos, além de conservar os recursos naturais (Fernandes et al., 2023). Caracterizado pelo cultivo de culturas anuais e espécies forrageiras em rotação, sucessão e/ou consorciadas em uma mesma área, seja no espaço físico ou cronológico, esses sistemas promovem diversos serviços ecossistêmicos tais como a supressão de ervas invasoras, reduzindo o uso de agrotóxicos (Mello et al., 2023), recuperação de pastagens (Santos et al., 2023), ciclagem de nutrientes em sistemas de plantio direto (Silva et al., 2025b) e produção de silagem de alto valor nutricional (Prado et al., 2023; Silva et al., 2024), assegurando, portanto, a eficiência do uso da terra (Pariz et al., 2020).

Sistemas integrados têm demonstrado melhorias no valor nutritivo das silagens, com incrementos nos teores de proteína bruta, além do aumento da produção de massa de silagem por hectare (Vicente et al., 2019). Silagens de sistemas integrados também podem reduzir fermentações indesejáveis das silagens exclusivas de forrageiras tropicais, o que reflete na qualidade da silagem (Marques et al., 2025). Além disso, a utilização de forrageiras associadas às culturas tem contribuído para a redução dos custos de formação e/ou recuperação de pastagens, utilizando a silagem para cobrir os custos de preparo da área e aquisição de corretivos e fertilizantes, e posteriormente ficando o pasto formado/recuperado para o pecuarista (Emerenciano Neto et al., 2025).

Para a produção de silagem de sistemas integrados, principalmente em regiões de baixa disponibilidade hídrica, o milheto (*Pennisetum glaucum* L.), apresenta bom rendimento de massa seca, rápido crescimento, maior tolerância ao estresse hídrico e adaptação a solos de baixa fertilidade (Santos et al., 2020b). Adicionalmente a inclusão de gramíneas tropicais, como as do gênero *Brachiaria*, pode melhorar a quantidade e qualidade da silagem (Santos et al., 2020a), pois apresentam alta capacidade de coexistência com o milheto, podendo compensar a redução da produção do milheto no consórcio (Emerenciano Neto et al., 2025).

Recentemente foi lançada a *Brachiaria ruziziensis* cultivar BRS Integra, uma forrageira de ciclo perene, desenvolvida para condições de solos e clima brasileiro para atender as necessidades dos sistemas integrados (Sobrinho et al., 2022). A BRS Integra

apresenta porte médio, folhas longas e arqueadas, colmos finos e alta taxa de perfilhamento, favorecendo a produção de massa seca e seu uso contribui para o aumento da produtividade, sustentabilidade do sistema e conservação do solo (Paciullo et al., 2021; Sobrinho et al., 2022).

O ponto chave para a produção de silagem de milho com *Brachiaria* em sistema integrado, é a escolha do momento ideal para o corte das culturas (estágio de desenvolvimento), a fim de garantir adequado teor de matéria seca (MS), para não comprometer o processo fermentativo e a preservação do material ensilado (Guimarães et al., 2014). Portanto, é necessário investigar qual o estágio mais adequado de desenvolvimento do milho quando consorciado com a forrageira tropical para produção de silagem de qualidade em sistema integrado.

Desta forma, este estudo examinou o impacto do sistema integrado por meio do consórcio do milho com capim-integra, colhidos em dois estágios de desenvolvimento, nas características agrônômicas, produção de massa seca, perfil de fermentação e valor nutritivo da silagem, em relação aos monocultivos dessas culturas. A hipótese é que o consórcio de milho com capim-integra não compromete o desenvolvimento de ambas as culturas, devido ter a mesma forma de crescimento, aumenta a produção de massa seca para a ensilagem, melhora as características fermentativas da silagem do capim-integra em monocultivo, além de melhorar a qualidade da silagem, contribuindo assim para um sistema de produção mais eficiente.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área

O experimento foi realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano), Campus Rio Verde, Goiás, Brasil, sob as coordenadas 17° 48' 22'' S e 50° 54' 11'' W e altitude de 832m. Segundo a classificação de Köppen-Geiger (Cardoso et al., 2014), o clima presente na região é definido como clima tropical (Aw) constando estação seca no inverno.

Amostras de solo foram coletadas na camada de 0-20 cm, antes da instalação do experimento, para caracterização físico-química. De acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos, o solo na área de estudo foi classificado como Latossolo Vermelho Acriférico típico (Santos et al., 2018), Oxisol in the USA Keys of Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2014), com 562; 94 e 344 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente; pH em CaCl₂: 5,4; cálcio (Ca): 3,49 cmol_c dm⁻³; magnésio (Mg): 1,02 cmol_c dm⁻³; alumínio (Al):

0,00 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; hidrogênio (H) + A: 5,78 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; potássio (K): 0,95 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; capacidade de troca catiônica (CTC): 11,25 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; saturação de bases atual do solo (V_1): 48,66 %; fósforo (P) (Mehlich): 7,3 mg dm^{-3} ; enxofre (S): 5 mg dm^{-3} ; cobre (Cu): 4,2 mg dm^{-3} ; zinco (Zn): 1,1 mg dm^{-3} ; ferro (Fe): 26,6 mg dm^{-3} ; matéria orgânica (MO): 32,3 g dm^{-3} .

Durante o experimento, foram monitorados dados climáticos como precipitação pluviométrica, temperaturas máximas, médias e mínimas. A distribuição de chuvas foi considerada normal para o período, totalizando aproximadamente 920 mm, com temperatura máxima média de 29,9°C, temperatura média de 24,5°C e temperatura mínima média de 19,3°C (Figura 1).

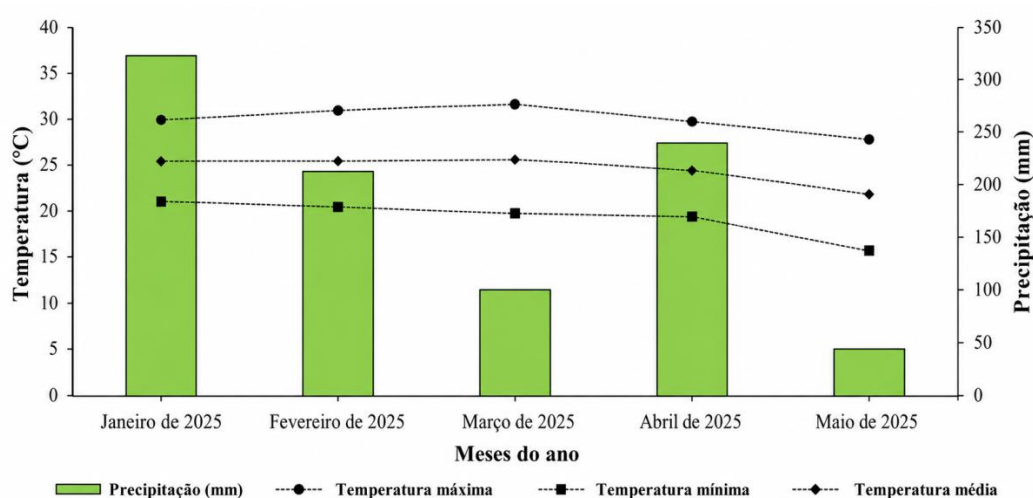


Figura 1. Temperaturas mínimas, médias e máximas e precipitação mensal registradas em Rio verde, Goiás, Brasil durante o período de janeiro a maio de 2025.

O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema fatorial 3 x 2, sendo três sistemas de cultivos: milho em monocultivo (*Pennisetum glaucum* L.); capim-integra (*Brachiaria ruziziensis* cv. BRS Integra) em monocultivo; milho consorciado com capim-integra e dois estágios de desenvolvimento (70 e 90 dias após a semeadura). A cultivar de milho utilizada foi a BRS 1501 (apresenta ciclo médio, boa capacidade de perfilhamento e adequada produção de massa verde).

As parcelas experimentais de monocultivo foram constituídas de 9 linhas com espaçamento de 0,50 m entre linhas e 6 m de comprimento. Para os sistemas consorciados foi utilizado 9 linhas do milho dispostas a 0,50 m entre si, e a forrageira foi semeada a 0,25 m da linha do milho, totalizando 8 linhas da forrageira. As parcelas apresentavam 20,2 m². Não foi utilizado nenhum tipo de herbicida para suprimir o desenvolvimento da forrageira.

A semeadura foi realizada manualmente em 15 de fevereiro de 2025, com aplicação no

sulco de plantio de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (fonte superfosfato simples). Foram utilizadas 20 sementes de milho por metro linear e 4 kg de sementes de *Brachiaria ruziziensis* cv. Integra por hectare.

A adubação de cobertura foi realizada em dois momentos, nos estádios fenológicos de três e seis folhas completamente desenvolvidas do milho. No total, foram aplicados 80 kg ha⁻¹ de N e 60 kg ha⁻¹ de K₂O nas parcelas de milho e capim-integra em monocultivo e consorciado, utilizando como fonte a ureia e o cloreto de potássio, respectivamente.

O controle de pragas no milho como o pulgão dos cereais (*Rhopalosiphum maidis*), foi realizado aos 20 e 40 dias com a aplicação de Elestal Neo (ingrediente ativo: Espirodiona e Acetamiprido), na dose de 250 g ha⁻¹ de produto comercial. Para o controle de mancha-amarela (*Drechslera tritici-repentis*), foi utilizado o fungicida Miravis (ingrediente ativo: Pidiflumetofem), na dose de 300 mL ha⁻¹ de produto comercial.

2.2. Avaliação das características agronômicas

A altura de plantas (cm): mensurado com fita métrica, o diâmetro do colmo (mm): mensurado com o auxílio de um paquímetro digital e comprimento da panícula do milho (cm): mensurado com fita métrica, além da altura de plantas do capim-integra foram avaliados nas linhas centrais das parcelas dos monocultivos e sistema consorciado, antes das colheitas para a ensilagem, de acordo com os estágios de desenvolvimento (70 e 90 DAS).

2.3. Silagem das culturas

Em 29 de abril e 19 de maio de 2025, aos 70 e 90 dias após a semeadura (DAS), respectivamente, as culturas foram colhidas para ensilagem, a 20 cm acima do solo. Para verificar a proporção do material ensilado (Tabela 1) e a produção de massa seca, em cada estágio de desenvolvimento, as culturas foram colhidas e pesadas separadamente para determinar a proporção de milho e capim-integra. Parte do material foi colocada em estufa a 55 °C até atingir massa constante, para posterior determinação da massa seca e conversão para kg.

Tabela 1. Proporção de material ensilado do milho e capim-inteiro em monocultivo e consórcio.

Sistema de cultivo / Estágio de desenvolvimento	Proporção de material ensilado (%)	
	Milho	Capim-inteiro
Milho em monocultivo / 70 DAS	100	0
Capim-inteiro em monocultivo / 70 DAS	0	100
Milho + inteiro / 70 DAS	55,42	45,67
Milho em monocultivo / 90 DAS	100	0
Capim-inteiro em monocultivo / 90 DAS	0	100
Milho + capim-inteiro / 90 DAS	56,55	43,44

DAS: dias após a semeadura

Após a colheita, o material *in natura* foi triturado em partículas de aproximadamente 10 mm utilizando triturador forrageiro. Em seguida, foi ensilado em silos experimentais de PVC com dimensões de 10 cm de diâmetro e 40 cm de comprimento. O material foi compactado manualmente com um pêndulo de madeira, e os silos foram vedados com tampas de PVC e fita adesiva para evitar a entrada de ar. Os silos foram armazenados em local protegido, em temperatura e umidade ambiente, e mantidos longe da luz solar.

Uma amostra de aproximadamente 500 g do material triturado (*in natura*) foi coletada e submetida à secagem em estufa a 55°C até obter o peso constante para realizar as análises bromatológicas, sendo determinado a matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e lignina, seguindo os métodos descritos pela AOAC (1990). A fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foram mensurados conforme o procedimento de Mertens (2002). O conteúdo de nutrientes digestíveis totais (NDT) foi calculado com base na equação proposta por Weiss et al. (1992). A digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) foi avaliada utilizando a técnica de Tilley e Terry (1963), adaptada ao sistema de rúmen artificial desenvolvido pela ANKON®, utilizando o equipamento "Daisy incubator" da Ankom Technology (*in vitro* true digestibility-IVTD). Os resultados dessas análises estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Características bromatológica (g kg⁻¹) do milho, capim-integra em monocultivo e consorciado antes da ensilagem.

Sistemas de cultivo / Estágio de desenvolvimento	MS	PB	MM	DIVMS
Milho em monocultivo / 70 DAS	285,35	128,84	96,08	613,92
Capim-integra em monocultivo / 70 DAS	235,30	115,44	138,23	459,43
Milho + integra / 70 DAS	263,37	110,40	113,96	591,75
Milho em monocultivo / 90 DAS	303,07	132,04	79,85	603,81
Capim-integra em monocultivo / 90 DAS	259,50	97,14	103,78	443,33
Milho + capim-integra / 90 DAS	280,17	124,03	102,84	588,74
	FDN	FDA	Lignina	NDT
Milho em monocultivo / 70 DAS	657,33	362,97	22,97	526,82
Capim-integra em monocultivo / 70 DAS	687,23	389,67	27,10	484,67
Milho + integra / 70 DAS	660,74	374,04	24,90	505,04
Milho em monocultivo / 90 DAS	674,11	379,13	26,01	539,98
Capim-integra em monocultivo / 90 DAS	697,42	415,82	43,21	489,11
Milho + capim-integra / 90 DAS	679,52	380,98	33,20	510,61

DAS: dias após a semeadura; MS: matéria seca; PB: proteína bruta; MM: matéria mineral; DIVMS: digestibilidade *in vitro* da matéria seca; FDN: fibra em detergente neutro; FDA: fibra em detergente ácido; NDT: nutrientes digestíveis totais.

2.4. Abertura dos silos e análises das características fermentativas e bromatológicas da silagem

Os silos foram abertos após o período de fermentação de 50 dias. As extremidades superior e inferior de cada silo foram descartadas, e a porção central foi coletada e homogeneizada em bandejas plástica. Uma parte da silagem foi utilizada para determinar os parâmetros fermentativos como capacidade tampão, pH e nitrogênio amoniacal em relação ao nitrogênio total (NH₃), conforme Silva e Queiroz (2002). As avaliações de pH e capacidade tampão foram realizadas imediatamente após a abertura dos silos para evitar variações nos resultados devido à exposição ao calor e à umidade. As amostras destinadas à análise de nitrogênio amoniacal foram congeladas, com o objetivo de inibir a atividade de bactérias anaeróbicas e prevenir a volatilização do nitrogênio, sendo as análises realizadas posteriormente. Perdas totais de matéria seca e a produção de efluentes foram determinadas

seguindo a metodologia proposta por Jobim et al. (2007).

Outra parte do material, com aproximadamente 500 g, foi seca em estufa com ventilação forçada a 55°C até obter o peso constante e em seguida, as amostras foram moídas, utilizando peneira de 1 mm e armazenadas em recipientes plásticos para posterior análise das características químico-bromatológicas da silagem, através da metodologia descrita para o material *in natura*.

2.5. Análises estatísticas

Os dados foram verificados quanto à normalidade e homogeneidade. Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o programa R versão R-3,1,1 (2014) e o pacote ExpDes (Ferreira et al., 2014). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, com nível de significância de 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS

3.1. Características agrônomicas do milheto e capim-integra

Avaliando os diferentes sistemas forrageiros, não foram observadas diferenças significativas para a altura de plantas, diâmetro do colmo e comprimento da panícula do milheto, cujas médias foram de 208,22 cm, 10,59 mm e 26,68 cm, respectivamente. Além da altura do capim-integra, com média de 75,18 cm. Para os diferentes estágios de desenvolvimento, verificou-se efeito significativo sobre o diâmetro do colmo e o comprimento da panícula do milheto, bem como a altura da *Brachiaria*, com os maiores valores observados no corte realizado no estágio de 90 dias de desenvolvimento (Figura 2).

Para determinar a proporção de material ensilado de cada espécie nos tratamentos em consórcio, foi realizada a separação manual das plantas de milheto (*Pennisetum glaucum*) e capim-integra após a colheita, utilizando as características morfológicas de cada espécie. Em seguida, cada fração foi pesada individualmente para obtenção da massa verde. Uma subamostra representativa de cada espécie foi acondicionada em estufa de circulação forçada de ar a 55 °C até atingir massa constante, possibilitando a determinação da massa seca. Dessa forma, foram obtidos os percentuais de participação do milheto e do capim-integra nos sistemas consorciados aos 70 e 90 dias após a semeadura (DAS).

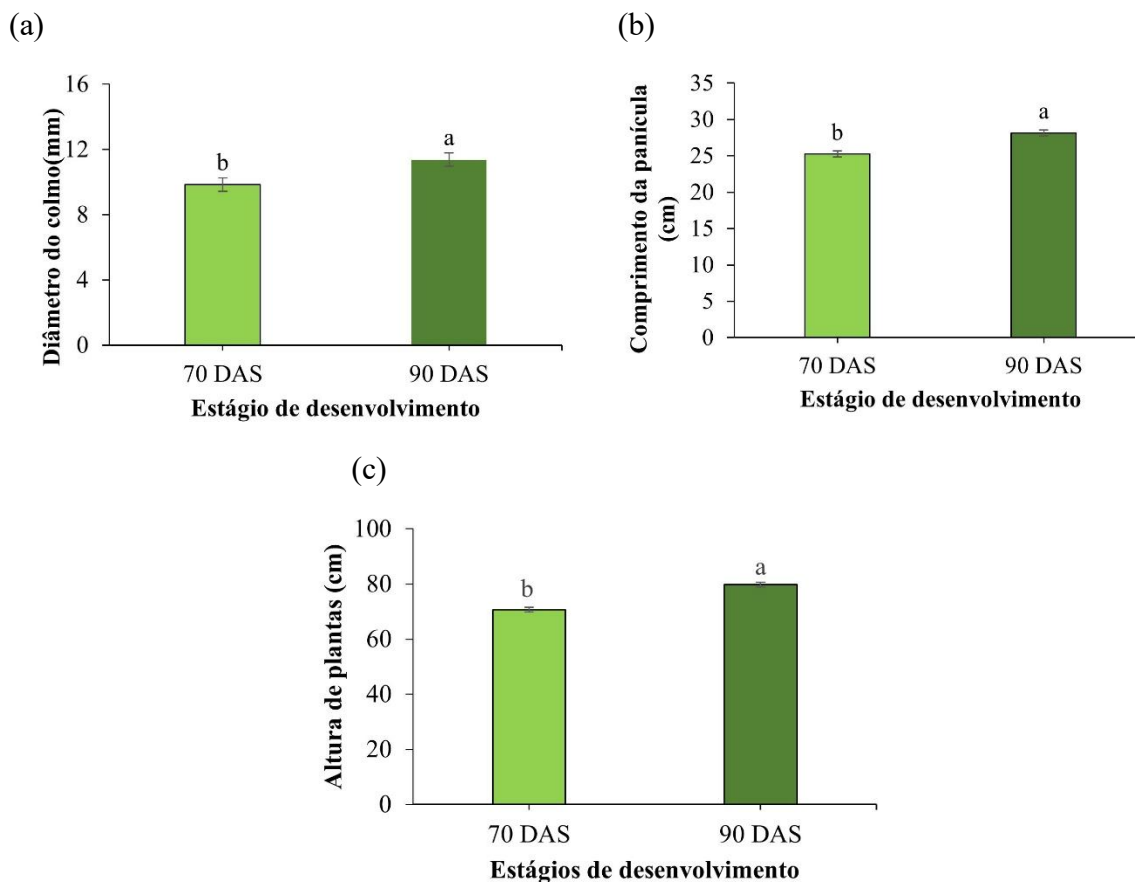


Figura 2. Diâmetro do colmo do milho (a), comprimento da panícula do milho (b) e altura da *Brachiaria ruziziensis* cv. Integra cortadas nos estágios de desenvolvimento de 70 e 90 dias após a semeadura, independente do sistema forrageiro.

Médias seguidas de letras diferentes diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

3.2. Produção de massa seca

Para a produção de massa seca, houve interação entre os sistemas forrageiros e estágio de desenvolvimento (Tabela 3). O milho consorciado com capim-integra incrementou a produção de massa seca em 38,7% e 42,9%, em relação ao milho em monocultivo, nos estágios de 70 e 90 DAS, respectivamente. Ao analisar os estágios de desenvolvimento dentro de cada sistema forrageiro, foi possível observar incremento na produção no corte realizado aos 90 DAS de 19,23%, 20,31% e 24,78%, para os sistemas de milho em monocultivo, capim-integra em monocultivo e milho consorciado com capim-integra, respectivamente, em relação ao estágio de desenvolvimento de 70 DAS.

Tabela 3. Interação entre sistemas forrageiros e estágio de desenvolvimento para produção de massa seca.

Sistemas forrageiros	Estágio de desenvolvimento	
	70 DAS	90 DAS
	Produção de massa seca (kg ha ⁻¹)	
Milheto em monocultivo	5989,75 Bb	7416,25 Ba
Capim-integra em monocultivo	4785,75 Cb	6005,50 Ca
Milheto + capim-integra	9775,25 Ab	12997,25 Aa
P-valor	----- < 0,01 -----	
EPM	----- 235,01 -----	

Médias seguidas por letras diferentes, maiúscula na coluna (sistemas forrageiros) e minúscula na linha (estágio de desenvolvimento), diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

EPM: erro padrão da média; DAS: dias após a semeadura.

3.3. Características fermentativas

A Tabela 4 demonstra a interação entre os sistemas forrageiros e estágio de desenvolvimento para as características fermentativas, como pH, N-NH₃ e produção de efluentes. Para o pH, o consórcio do milheto com capim-integra reduziu o pH da silagem em 13,11% e 3,67%, em relação ao capim-integra em monocultivo, quando cortado aos 70 e 90 DAS, respectivamente. Para os estágios de desenvolvimento, observou-se redução do pH das silagens cortadas aos 90 DAS, quando comparada ao corte realizado aos 70 DAS.

No sistema do milheto consorciado com capim-integra houve redução nos teores de N-NH₃ da silagem de 38,80% e 37,23%, quando cortada aos 70 e 90 DAS, respectivamente, em relação ao sistema do capim-integra em monocultivo. Ao analisar os estágios de desenvolvimento dentro de cada sistema forrageiro, foi possível observar que a silagem do capim-integra em monocultivo apresentou, em ambos os cortes, os maiores teores de N-NH₃ (65,48 e 46,87 g kg⁻¹ N, aos 70 e 90 DAS, respectivamente), seguido da silagem de milheto consorciado com o capim-integra (40,07 e 29,42 g kg⁻¹ N) e por último, pelo milheto em monocultivo (30,36 e 18,36 g kg⁻¹ N).

Comportamento semelhante foi observado para a produção de efluentes (Tabela 4), com redução de 15,53% e 17,88% para a silagem de milheto consorciado com capim-integra, quando cortada nos estágios de desenvolvimento de 70 e 90 DAS, respectivamente, em relação a silagem de capim-integra em monocultivo. Para os estágios de desenvolvimento, aos

90 DAS, observou-se redução de 55,03%, 53,15% e 54,46% para a silagem de milho em monocultivo, capim-inteira em monocultivo e milho consorciado com capim-inteira, respectivamente, em relação ao corte realizado aos 70 DAS.

Tabela 4. Interação entre sistemas forrageiros e épocas de corte para pH, produção de efluentes e N-NH₃ das diferentes silagens.

Sistemas forrageiros	Estágio de desenvolvimento	
	70 DAS	90 DAS
	pH	
Milho em monocultivo	4,06 Ca	3,84 Bb
Capim-inteira em monocultivo	4,88 Aa	4,08 Ab
Milho + capim-inteira	4,24 Ba	3,93 ABb
EPM	----- 0,05 -----	
P-valor	----- < 0,01 -----	
N-NH ₃ (g kg ⁻¹ N)		
Milho em monocultivo	30,36 Ca	18,36 Cb
Capim-inteira em monocultivo	65,48 Aa	46,87 Ab
Milho + capim-inteira	40,07 Ba	29,42 Bb
P-valor	----- < 0,01 -----	
EPM	----- 1,165 -----	
Produção de efluentes (kg t ⁻¹ MV)		
Milho em monocultivo	25,11 Ca	11,29 Bb
Capim-inteira em monocultivo	34,50 Aa	16,16 Ab
Milho + capim-inteira	29,14 Ba	13,27 Bb
P-valor	----- < 0,05 -----	
EPM	----- 0,785 -----	

Médias seguidas por letras diferentes, maiúscula na coluna (sistemas forrageiros) e minúscula na linha (estágio de desenvolvimento), diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

EPM: erro padrão da média; MS: matéria seca; MV: massa verde; DAS: dias após a semeadura; N: nitrogênio.

Para perdas totais de matéria seca e capacidade tampão, houve influência dos sistemas forrageiros (Tabela 5) e estágio de desenvolvimento (Tabela 6), de forma isolada. Ao comparar os sistemas forrageiros, as maiores perdas totais de matéria seca e capacidade tampão foram observadas para a silagem de capim-inteira em monocultivo (31,28 g kg⁻¹ MS

e 64,90 eq mg g⁻¹ MS, respectivamente). Já o sistema consorciado demonstrou ser eficiente em reduzir as perdas totais de matéria seca e a capacidade tampão em 10,16% e 38,62%, respectivamente (Tabela 5).

Tabela 5. Perdas totais de matéria seca e capacidade tampão das silagens dos diferentes sistemas forrageiros, independente do estágio de desenvolvimento.

Sistemas forrageiros	Perdas totais de MS (g kg⁻¹ MS)	Capacidade tampão (eq mg g⁻¹ MS)
Milheto em monocultivo	22,35 c	34,11 c
Capim-integra em monocultivo	31,28 a	64,90 a
Milheto + capim-integra	28,10 b	39,83 b
<i>P</i> -valor	< 0,01	< 0,01
EPM	0,705	1,11

Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0.05).

EPM: erro padrão da média; CV: coeficiente de variação; MS: matéria seca

Avaliando os estágios de desenvolvimento, independente dos sistemas forrageiros (Tabela 6), observou-se que aos 90 DAS, houve redução de 46,29% e 23,62% para as perdas totais de matéria seca e capacidade tampão, respectivamente.

Tabela 6. Perdas totais de matéria seca e capacidade tampão das silagens nos estágios de desenvolvimento de 70 e 90 dias após a semeadura, independente do sistema forrageiro.

Estágio de desenvolvimento	Perdas totais de MS (g kg⁻¹ MS)	Capacidade tampão (eq mg g⁻¹ MS)
70 DAS	35,45 a	52,48 a
90 DAS	19,04 b	40,08 b
<i>P</i> -valor	< 0,01	< 0,01
EPM	0,576	0,910

Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0.05).

EPM: erro padrão da média; MS: matéria seca; DAS: dias após a semeadura.

3.4 Características bromatológicas

Para os teores de proteína bruta e lignina, houve interação (p<0,05) entre sistemas forrageiros e estágio de desenvolvimento (Tabela 7). Os sistemas forrageiros não diferiram

aos 70 DAS, para ambas as variáveis. No entanto, aos 90 DAS houve aumento de 30,17% no teor de proteína bruta da silagem de milho consorciado com capim-integra em relação a silagem de capim-integra em monocultivo. Ao analisar o estágio de desenvolvimento observou-se que aos 90 DAS, a silagem de milho em monocultivo e o milho consorciado com capim-integra apresentaram incremento no teor de proteína bruta de 7,51 % e 11,53 %, respectivamente, em relação ao corte realizado aos 70 DAS. Enquanto o capim-integra apresentou redução de 16,94% no teor de proteína bruta. Aos 90 DAS, observou-se aumento de 27,96 % no teor de lignina da silagem de milho consorciado com capim-integra em relação à silagem de milho em monocultivo. Ao avaliar os estágios de desenvolvimento, verificou-se que no estágio de 90 DAS, as silagens de milho consorciado com capim-integra e de capim-integra em monocultivo apresentaram incremento no teor de lignina de 42,23% e 58,38%, respectivamente, quando comparadas ao corte realizado no estágio de 70 DAS.

Tabela 7. Interação entre sistemas forrageiros e épocas de corte para os teores de proteína bruta e lignina das diferentes silagens.

Sistemas forrageiros	Estágio de desenvolvimento	
	70 DAS	90 DAS
	Proteína Bruta (g kg ⁻¹ MS)	
Milho em monocultivo	121,17 Ab	130,27 Aa
Capim-integra em monocultivo	113,16 Aa	93,98 Bb
Milho + capim-integra	109,69 Ab	122,34 Aa
P-valor	----- < 0,01 -----	
EPM	----- 4,24 -----	
Sistemas forrageiros	Lignina (g kg ⁻¹ MS)	
	70 DAS	90 DAS
	Lignina (g kg ⁻¹ MS)	
Milho em monocultivo	22,69 Aa	26,61 Ca
Capim-integra em monocultivo	27,92 Ab	44,22 Aa
Milho + capim-integra	23,94 Ab	34,05 Ba
P-valor	----- < 0,05 -----	
EPM	----- 1,81 -----	

Médias seguidas por letras diferentes, maiúscula na coluna (sistemas forrageiros) e minúscula na linha (estágio de desenvolvimento), diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

EPM: erro padrão da média; MS: matéria seca; DAS: dias após a semeadura.

Para matéria seca (MS), matéria mineral (MM), fibra em detergente neutro (FDN),

fibra em detergente ácido (FDA), nutrientes digestíveis totais (NDT) e digestibilidade *in vitro* da MS (DIVMS) observou-se efeito significativo ($p<0,05$) para os sistemas forrageiros (Tabela 8) e épocas de corte (Tabela 9), de forma isolada.

O consórcio do milho com capim-inteira aumentou a matéria seca em 19,11%, quando comparada com a silagem de capim-inteira em monocultivo. A maior matéria seca observada foi para o milho em monocultivo (293,01 g kg⁻¹ MS). Já para a matéria mineral observou-se o maior valor para a silagem de capim-inteira em monocultivo, com redução de 17,97% quando comparado com o consórcio do milho com capim-inteira (Tabela 8).

Tabela 8. Matéria seca (MS), matéria mineral (MM), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e nutrientes digestíveis totais (NDT) e digestibilidade *in vitro* da MS (DIVMS) das silagens dos diferentes sistemas forrageiros.

Sistemas forrageiros	MS	MM	FDN
	(g kg ⁻¹ MS)	(g kg ⁻¹ MS)	(g kg ⁻¹ MS)
Milho em monocultivo	293,01 a	85,8 c	653,0 b
Capim-inteira em monocultivo	218,30 c	132,4 a	693,6 a
Milho + capim-inteira	260,03 b	108,6 b	661,0 b
<i>P</i> -valor	< 0,01	< 0,01	< 0,01
EPM	5,24	0,37	0,63
	FDA	NDT	DIVMS
	(g kg ⁻¹ MS)	(g kg ⁻¹ MS)	(g kg ⁻¹ MS)
Milho em monocultivo	376,0 b	510,0 a	609,87 a
Capim-inteira em monocultivo	399,7 a	479,9 b	545,09 b
Milho + capim-inteira	387,6 b	493,5 a	582,72 a
<i>P</i> -valor	< 0,01	< 0,01	< 0,01
EPM	0,31	0,46	10,47

Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0.05$).

EPM: erro padrão da média

Os maiores valores de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), foram observados nas silagens de capim-inteira em monocultivo (693,6 e 399,7 g kg⁻¹ MS, respectivamente), diferindo das silagens de milho em monocultivo e milho consorciado com capim-inteira, que apresentaram resultados semelhantes. Os maiores valores de nutrientes digestíveis totais (NDT) e digestibilidade *in vitro* da MS (DIVMS), foram

observados para o milho em monocultivo e milho consorciado com capim-integra, com média de 501,75 e 596,29 g kg⁻¹ MS, respectivamente. O capim-integra apresentou as menores médias para essas variáveis (Tabela 8).

Ao avaliar os estágios de desenvolvimento, independente dos sistemas forrageiros (Tabela 9), foi possível observar incremento da matéria seca de 26,07%, fibra em detergente neutro de 6,91% e fibra em detergente ácido de 8,10% aos 90 DAS, em relação ao corte realizado no estágio de desenvolvimento de 70 DAS. Já a matéria mineral, nutrientes digestíveis totais e a digestibilidade *in vitro* da MS, apresentaram redução de 24,63%, 6,38% e 8,19%, respectivamente, para os estágios de 70 a 90 DAS.

Tabela 9. Matéria seca (MS), matéria mineral (MM), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) das silagens, nos estágios de desenvolvimento de 70 e 90 dias após a semeadura, independente do sistema forrageiro.

Épocas de corte	MS (g kg ⁻¹ MS)	MM (g kg ⁻¹ MS)	FDN (g kg ⁻¹ MS)
70 DAS	227,47 b	124,2 a	643,6 b
90 DAS	286,77 a	93,6 b	688,1 a
P-valor	< 0,01	< 0,01	< 0,01
EPM	4,28	0,31	0,51
	FDA (g kg ⁻¹ MS)	NDT (g kg ⁻¹ MS)	DIVMS (g kg ⁻¹ MS)
70 DAS	369,1b	517,0 a	607,44 a
90 DAS	399,0a	484,0 b	557,68 b
P-valor	< 0,01	< 0,01	< 0,01
EPM	0,25	0,38	8,54

Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0.05).

EPM: erro padrão da média

4. DISCUSSÃO

4.1. Características agronômicas do milho e capim-integra

Os sistemas integrados de produção, através do consórcio de cultura anual e forrageira tropical são fundamentais para a saúde do solo e para a produtividade sustentável e lucrativa dos sistemas. Dentre as diferentes modalidades, destaca-se o sistema Santa Ana, que possibilita o produtor obter silagem de qualidade e, ao mesmo tempo, recuperar o pasto (Cordeiro et al., 2020). A consorciação da cultura anual e a cultura perene amplia a

possibilidade de incremento na produtividade da silagem, além de favorecer melhorias nas características fermentativas e bromatológicas do material ensilado (Silva et al., 2024).

A não significância entre os sistemas forrageiros para a altura de plantas, o diâmetro do colmo e comprimento da panícula do milho, mostra a importância do cultivo consorciado, onde a forrageira não interferiu no desenvolvimento do milho.

O corte das culturas realizado no estágio de desenvolvimento de 90 DAS, resultou em maior comprimento de panícula e diâmetro de colmo do milho, além de maior a altura de plantas do capim-integra. Esse resultado já era esperado, uma vez que o desenvolvimento vegetativo continua à medida que a planta amadurece (Noor et al., 2018). Ausiku et al. (2025) apontaram que características agronômicas, como o diâmetro do colmo do milho, podem estar associadas às diferenças genéticas entre as variedades cultivadas. Além disso, alguns autores destacaram que o comprimento da panícula está diretamente relacionado à produtividade de grãos (Sowjanya et al., 2021) e melhor valor nutritivo da silagem, visto que o teor de proteína bruta nos grãos do milho é superior às folhas e colmos (Zhao et al., 2024). Portanto, conhecer as características agronômicas como diâmetro do colmo, comprimento de panícula da cultura para a ensilagem, torna-se de grande importância, devido a correlação positiva esperada entre eles e a produção de massa verde por hectare (Moura et al., 2018).

4.2. Produção de massa seca

A produção de massa seca do sistema consorciado foi superior em relação às culturas em monocultivo, evidenciando a importância dos sistemas integrados em promover maior produção em uma mesma unidade de área (Costa et al., 2018). No estágio de desenvolvimento de 90 DAS, todos os sistemas apresentaram incremento na produção, em razão do avanço do desenvolvimento das culturas. Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2025a), que ao avaliarem a produção de massa seca do milho em monocultivo sob diferentes épocas de corte, verificaram aumento linear da produtividade com o avanço da idade de colheita.

A diversificação de culturas, especialmente por meio do consórcio, contribui para a manutenção da sustentabilidade ambiental e para a promover melhores serviços ecossistêmicos (Wei et al., 2025). Além dos benefícios ambientais, esses sistemas proporcionam aumento da produtividade e melhoria do valor nutritivo da biomassa produzida (Silva et al., 2024). Adicionalmente, fornecem ao produtor pastagem de qualidade, após a colheita das culturas destinadas à produção de silagem, em um período crítico de baixa disponibilidade de forragem (Prado et al., 2023). É importante ressaltar que a pastagem pode

ser utilizada tanto para o pastejo animal quanto para a produção de cobertura vegetal, para sistema de plantio direto, favorecendo a integração do sistema solo-planta-animal (Camargo et al., 2024; Pacheco et al., 2025).

4.3. Características fermentativas

Os maiores valores de pH, obtido na silagem do capim-integra em monocultivo relaciona-se ao seu menor teor de matéria seca, maior capacidade tampão e menor carboidrato solúvel, uma vez que a proteólise libera amônia e dificulta a redução do pH (Costa et al., 2018). E quando o corte dessa forrageira foi realizado no estágio de desenvolvimento de 70 DAS, o maior pH demonstra a ocorrência de fermentação secundária nas silagens colhidas mais precocemente, em razão da maior umidade e do elevado teor proteico, que favorecem a ação de microrganismos indesejáveis. Tais fermentações secundárias geralmente estão associadas ao aumento de nitrogênio amoniacal (McDonald et al., 1991). De acordo com Muck e Wilson (1991), silagens com matéria seca abaixo de 30% apresentam maior produção de efluentes e proliferação de bactérias do gênero *Clostridium*, resultando em baixa aceitabilidade pelos animais. Kung et al. (2018), reforçaram que nem todas as silagens com teor de matéria seca abaixo de 30% apresentam fermentações indesejadas, entretanto, a probabilidade de ocorrência de fermentação por bactérias do gênero *Clostridium* é maior nessas condições.

Desta forma, esses resultados demonstram a contribuição da produção de silagem de sistemas integrados para balancear o pH da silagem exclusiva de forrageira tropical. Estudos prévios reforçam esses achados, como o de Emerenciano Neto et al. (2025), que, ao avaliarem o consórcio do milheto com diferentes cultivares de *Brachiaria*, observaram que o processo fermentativo das silagens não foi prejudicado pela consorciação, apresentando valores de pH entre 3,8 e 4,7 e teores de matéria seca próximos da faixa recomendada para ensilagem (300 a 350 g kg⁻¹ de MS), considerados adequados para garantir boa conservação da forragem.

A silagem do capim-integra apresentou o maior valor de N-NH₃, nos estágios de desenvolvimentos de 70 e 90 DAS. O corte realizado no estágio de 90 DAS propiciou menor valor de N-NH₃, na silagem dos diferentes sistemas forrageiros. Apesar desses resultados, todas as silagens permaneceram dentro da faixa desejável de N-NH₃. De acordo com Oliveira et al. (2021), valores inferiores de 100 g kg⁻¹ de N são considerados adequados para garantir fermentação láctica eficiente, reduzir a proteólise e inibir o crescimento de microrganismos indesejáveis. Ressalta-se, contudo, que silagens de forrageiras tropicais tipicamente apresentam altos teores de umidade no ponto ideal de corte, o que aumenta o risco de

alterações fermentativas indesejáveis (Oliveira et al., 2020; Paludo et al., 2020).

Em ambos os estágios de desenvolvimento, a silagem de capim-integra em monocultivo apresentou maior produção de efluentes (Tabela 4). No entanto, com o avanço do estágio de desenvolvimento, foi possível observar redução da produção de efluentes, para todos os sistemas forrageiros. Gramíneas tropicais apresentam grande acúmulo de água nos tecidos e baixa concentração de carboidratos solúveis, no momento do corte, que além de acarretar em perdas de matéria seca quando ensiladas (Bernardes et al., 2018), aumentam a produção de efluentes e consequente resulta na perda de nutrientes (Saute et al., 2021). Portanto, a ensilagem desses materiais requer atenção especial à época de corte e a combinação com culturas cereais, por exemplo, para evitar a alta produção de efluentes (Muglia et al., 2025).

O consórcio de milho com capim-integra demonstrou ser eficiente em reduzir as perdas de matéria seca (MS) e a capacidade tampão da silagem de capim-integra em monocultivo (Tabela 5). Perdas na ensilagem podem ocorrer mesmo em sistemas de conservação bem manejados, pois culturas com baixo teor de carboidratos solúveis em água e alta capacidade tampão, como as forrageiras tropicais, são mais favoráveis à fermentação clostridial, resultando em maiores perdas de MS (Wróbel et al., 2023). Portanto, estratégias como a inclusão de cereais na ensilagem para aumentar a concentração de carboidratos fermentáveis, conforme demonstrado nos resultados do presente estudo, é uma forma eficiente e barata para reduzir perdas de MS. Além disso, quando as culturas são colhidas em estágio mais avançado de desenvolvimento, observou-se redução das perdas de matéria seca e da capacidade tampão (Tabela 6). Com o avanço no estágio de desenvolvimento para a colheita, a forragem apresenta maior teor de matéria seca, resultando em perfil fermentativo estável e menores perdas (Silva et al., 2025a). Portanto, definir o melhor estágio de desenvolvimento para o corte das forrageiras, torna-se uma alternativa viável e eficiente, especialmente em períodos de escassez de alimento.

Zheng et al. (2025) demonstraram em uma meta análise global, que reuniu publicações dos últimos 50 anos, como os sistemas consorciados aprimoram a qualidade nutricional da silagem, particularmente com aumentos significativos no teor de proteína bruta. Portanto, sistemas consorciados, quando associado ao manejo adequado da época de corte, proporcionam aumento do rendimento das culturas (Muglia et al., 2025), melhores condições para estabilidade aeróbia e conservação da silagem (Oliveira et al., 2020), além de manutenção do valor nutritivo do material ensilado (Souza et al., 2019).

É importante ressaltar que diversos benefícios são gerados pela adoção dos sistemas

integrados para a produção de silagem. Entre eles, silagens de melhor valor nutritivo e perfil fermentativo (Zheng et al., 2025), recuperação de pastagens (Bonacim et al., 2025) e redução dos custos de produção, possibilitando a exploração de uma gama mais ampla de espécies forrageiras (Herrera et al., 2023). Além disso, esses sistemas otimizam o uso de recursos, proporcionando benefícios econômicos (Reis et al., 2025), biológicos (Marchão et al., 2024) e ambientais (Souza et al., 2025). Neste contexto, os sistemas integrados tornam-se uma estratégia atrativa e promissora de produtividade para o setor agrícola e pecuário.

4.4. Características bromatológicas

A produção de silagem de sistema consorciado de cultura anual e forrageira tropical é uma alternativa viável para o armazenamento de forragem de alta qualidade durante o período mais crítico do ano, a estação seca, devido a sazonalidade de produção das forrageiras (Costa et al., 2018). Além disso, o manejo correto do estágio de desenvolvimento (época de corte) para ensilagem pode contribuir para preservar adequadamente o valor nutritivo do material ensilado (Zhao et al., 2024). No presente estudo, a silagem do consórcio de milho com capim-integra, incrementou em 30,17% o teor de proteína bruta, em relação a silagem de capim-integra em monocultivo. O capim-integra é considerado uma forrageira com alta produção de perfilhos, colmos curtos e alta relação folha:colmo, entretanto, quando associada a cultura do milho, melhora ainda mais o valor nutritivo dessa silagem, em decorrência do maior teor de proteína bruta contida nos grãos do milho, que pode variar de 140 a 160 g kg⁻¹ MS (Jesus et al., 2022).

Além do incremento no teor de proteína bruta, a avaliação da qualidade nutricional das silagens deve considerar também os constituintes da parede celular, uma vez que estes exercem influência direta sobre o consumo voluntário e a digestibilidade da forragem pelos ruminantes. Nesse contexto, a composição da fração fibrosa, especialmente o teor de lignina, constitui um dos principais fatores que limitam o aproveitamento dos nutrientes, tornando sua avaliação fundamental para a caracterização do valor nutritivo das silagens produzidas. (Van Soest, 1994).

A lignina é um polímero aromático complexo que, juntamente com a celulose e a hemicelulose, compõe a parede celular das plantas, sendo responsável por conferir rigidez estrutural e proteção aos tecidos vegetais (Mou et al., 2026). Exercendo papel determinante na digestibilidade da forragem, uma vez que, associada à hemicelulose, forma uma barreira física que limita o acesso dos microrganismos ruminais à celulose, reduzindo sua degradação no rúmen (Belyea et al., 1983; Zhao et al., 2018). As silagens dos sistemas forrageiras colhidas

no estágio de desenvolvimento de 90 DAS, apresentaram aumento no teor de lignina quando comparado ao corte de 70 DAS. Com o avanço da idade fisiológica das plantas, ocorrem alterações estruturais decorrentes de processos metabólicos e de maturação, resultando em maior lignificação dos tecidos vegetais e, conseqüentemente, em redução da digestibilidade do material ensilado (Zhong et al., 2021).

O teor de matéria seca (MS) é um fator crucial para determinar o momento ideal para a ensilagem das culturas, pois afeta diretamente a compactação do material, o processo fermentativo e conseqüentemente, a qualidade final da silagem (Borreani et al., 2018). No presente estudo, ao avaliar os sistemas forrageiros (Tabela 8), apenas a silagem de capim-integra em monocultivo apresentou teor de MS abaixo da faixa considerada adequada para um bom processo de fermentação, apresentando 218,30 g kg⁻¹ MS, enquanto a faixa adequada situa-se entre 250 a 350 g kg⁻¹ MS (McDonald et al., 1991). Gramíneas de uma forma geral, apresentam alta umidade, baixa concentração de carboidratos solúveis e alta capacidade tampão, no momento do corte, tornando-se um desafio a sua ensilagem exclusiva (Marques et al., 2025; Silva et al., 2024).

No presente estudo, a colheita das culturas para ensilagem no estágio de desenvolvimento de 90 DAS incrementou o teor de MS em 26,07%, em relação ao corte realizado aos 70 DAS (Tabela 9). Portanto, esses resultados reforçam a importância de determinar o corte das culturas para a produção de silagem quando se utiliza o sistema consorciado. O avanço no desenvolvimento da cultura anual, favorece para melhor amadurecimento dos grãos, disponibilizando maior quantidade de amido, que vai favorecer melhor digestibilidade. Além disso, pode favorecer a forrageira tropical com maior teor de matéria seca. Todos esses fatores podem minimizar características indesejáveis da forrageira exclusiva para a ensilagem, reduzindo perdas no processo fermentativo, e assegurando a preservação do valor nutritivo do material ensilado (Silva et al., 2025a; Muglia et al., 2025).

Os maiores valores de matéria mineral observados na silagem de capim-integra (Tabela 8) e para as silagens cortadas aos 70 DAS (Tabela 9) pode ser atribuído as maiores concentrações de minerais como cálcio, magnésio, potássio, fósforo e enxofre, em quantidades significativas, principalmente quando colhidas mais novas (Dandara et al., 2025). De modo contrário, cereais geralmente apresentam melhor teor de MS e concentração reduzida de matéria mineral (Emerenciano Neto et al., 2025) e sua maior participação na silagem do sistema consorciado, nos dois estágios de desenvolvimento (Tabela 1), pode ter contribuído para a redução no teor da matéria mineral.

Quanto os teores de FDN e FDA, a silagem do capim-integra apresentou o maior valor

em comparação aos demais sistemas forrageiros, em ambos os estágios de desenvolvimento, refletindo também nos menores teores de NDT e DIVMS. Os teores de fibra, são importantes indicadores de qualidade da forragem (Nurdianti et al., 2024), visto que estão diretamente relacionados à digestibilidade do material e o consumo pelos animais (Bauer et al., 2025). A silagem proveniente do consórcio mostrou-se eficiente por diluir os altos teores de fibra observados no capim-integra em monocultivo, corroborando os resultados de Silva et al. (2024), que apontam que o consórcio pode proporcionar diversos benefícios, como a redução dos teores de fibra e o aumento da digestibilidade. Com a redução dos teores de fibra proporcionada pela silagem do consórcio do milho com capim-integra, observou-se maior digestibilidade (Tabela 8), o que contribuiu para o maior acúmulo de compostos facilmente digeríveis, resultando no incremento dos teores de nutrientes digestíveis totais (NDT), corroborando com os resultados observados por Muglia et al. (2025) e reforçados pela análise de correlação (Figura 3). Vale ressaltar que para bovinos, maiores níveis de NDT associam-se a um maior ganho médio diário (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2021), uma vez que em níveis críticos pode ser também limitante (Daniel et al., 2019).

Quanto aos estágios de desenvolvimento (Tabela 9), os maiores teores de FDN e FDA obtidos aos 90 DAS se deve, a maior quantidade de folhas mais velhas senescentes e maior quantidade de colmos. Esses achados corroboram com Santos et al. (2023) e Silva et al. (2025a), que relataram que o avanço na colheita das culturas promove maior alongamento dos colmos, acúmulo de frações fibrosas e redução do valor nutritivo. Forrageiras tropicais tendem a apresentar maior proporção fibrosa quando manejadas em crescimento livre (Prado et al., 2025), característica negativamente correlacionada com o valor nutritivo, conforme ressaltado pela análise multivariada (Figura 3 e 4).

Os resultados do presente estudo, evidenciam a eficiência do sistema consorciado em manter e, em alguns casos, melhorar o valor nutritivo do material ensilado, ao mesmo tempo em que contribui para a sustentabilidade dos sistemas de produção agropecuários. Além dos ganhos produtivos e qualitativos observados na silagem, a consorciação de culturas apresenta potencial para a recuperação de áreas degradadas, as quais estão associadas a impactos ambientais relevantes, como a redução das emissões de gases de efeito estufa (Muglia et al., 2025; Santos et al., 2024). A implantação simultânea de culturas anuais e forrageiras também promove maior diversificação biológica no solo, favorece melhorias nos atributos químicos e físicos, e contribui para a descompactação e aeração do solo, aspectos essenciais para o funcionamento equilibrado do sistema solo-planta-animal (Toker et al., 2024).

Vale ressaltar que o milho é uma cultura promissora para a produção de silagem em

condições tropicais, tendo maior vantagem em relação a cultura do milho por ser uma gramínea de ciclo curto, de rápido crescimento, apresenta menor custo de produção (Silva et al., 2020), menor exigência em fertilidade do solo e tratos culturais (Gupta et al., 2022), maior resistência ao déficit hídrico (Pires et al., 2024), alta capacidade de rebrota e alto valor nutritivo, principalmente em relação aos teores de proteína bruta (Silva et al., 2025a). Contudo, a utilização do milheto como estratégia forrageira pelos produtores é limitado, pela carência de conhecimento especializado, tornando-se fundamental fomentar e expandir sua utilização, considerando que a cultura oferece características favoráveis ao elevado rendimento, com menor custo e de forma sustentável, atendendo as preocupações dos sistemas de produção modernos.

5. CONCLUSÃO

O híbrido de milheto BRS 1501 demonstrou alto rendimento de forragem e características fermentativas favoráveis quando colhido em diferentes estágios de desenvolvimento, sendo considerado uma cultura promissora para a produção de silagem em condições tropicais.

O consórcio de milheto com capim-integra, colhido no estágio de desenvolvimento de 90 dias após a semeadura resultou no aumento produção de massa seca por hectare, melhor perfil fermentativo e incremento no teor de proteína bruta da silagem, quando comparado a silagem de capim-integra em monocultivo. Desta forma, o uso do híbrido de milheto BRS 1501 consorciado com capim-integra torna-se uma estratégia sustentável para a produção de silagem.

REFERÊNCIAS

AOAO, (1990). Official Methods of Analysis 15th edition. *Association of Official Analytical Chemist*, Washington DC.

Ausiku, P. A., Annandale, J. G., Steyn, M. J., Sanewe, A. (2025). Growth Analysis of Pearl Millet Genotypes Grown Under Different Management Practices. *Agronomy 2025, Vol. 15, Page 767, 15(4), 767*. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY15040767>

Bauer, K., Hartinger, T., Eghbali, M., Haselmann, A., Fuerst-Waltl, B., Zollitsch, W., Zabeli, Q., Knaus, W. (2025). Grass forages grown under identical conditions and conserved as silage or barn-dried hay: Effects on feed intake, performance, apparent total-tract digestibility, and

fecal microbiota in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. <https://doi.org/10.3168/jds.2025-26992>

Belyea, R. L., Foster, M. B., Zinn, G. M. (1983). Effect of Delignification on In Vitro Digestion of Alfalfa Cellulose. *Journal of Dairy Science*, 66(6), 1277–1281. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(83\)81935-3](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(83)81935-3)

Bernardes, T. F., Daniel, J. L. P., Adesogan, A. T., McAllister, T. A., Drouin, P., Nussio, L. G., Huhtanen, P., Tremblay, G. F., Bélanger, G., Cai, Y. (2018). Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. *Journal of dairy science*, 101(5), 4001-4019. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13703>

Bonacim, P. M., Paz, C. C. P. D., Mendonça, G. G., Moitinho, M. R., Augusto, J. G., Menegatto, L. S., Kunrath, T. R., Salles, M. S. V., Simili, F. F. (2025). Intercropping techniques improve pasture quality and beef cattle performance compared to livestock systems. *African Journal of Range & Forage Science*, 42(2), 177–187. <https://doi.org/10.2989/10220119.2025.2459892>

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. *J. Dairy Sci.* 101, 3952–3979. doi: 10.3168/jds.2017-13837

Camargo, T. A., Alves, L. A., Mendes, I. C., Gasques, L. R., Oliveira, L. G. S., Pires, G. C., Almeida, T. O., Carvalho, P. C. de F., Souza, E. D. (2024). Enhancing soil quality and grain yields through fertilization strategies in integrated crop-livestock system under no-till in Brazilian Cerrado. *European Journal of Soil Biology*, 121, 103613. <https://doi.org/10.1016/J.EJSOBI.2024.103613>

Cardoso, M. R. D., Marcuzzo, F. F. N., Barros, J. R. (2014). Classificação climática de KöppenGeiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. *ACTA Geográfica*, 8(16), 40-55. <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15047>

Cordeiro, L. A. M., Kluthcouski, J., Silva, J. R. da, Rojas, D. C., Omote, H. de S. G., Moro, E., Silva, P. C. G., Tiritan, C. S., Longen, A. (2020). Integração Lavoura-Pecuária em Solos Arenosos: estudo de caso da Fazenda Campina no Oeste Paulista. *Embrapa Cerrados*, 127. <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br>

Costa, R. R. G. F., Costa, K. A. D. P., De Souza, W. F., Epifanio, P. S., Santos, C. B., Da Silva, J. T., Oliveira, S. S. (2018). Production and quality of silages pearl millet and paiaguas palisadegrass in monocropping and intercropping in different forage systems. *Bioscience Journal*, 34(2), 357–367. <https://doi.org/10.14393/BJ-V34N2A2018-33843>

Dandara, G. B., Aganga, A. A., Ekeocha, A. H. (2025). Effect of harvesting age on the proximate and minerals composition of *Panicum maximum*. *Nigerian Journal of Agriculture and Agricultural Technology*, 5(1B), 162-168.

Daniel, J. L. P., Bernardes, T. F., Jobim, C. C., Schmidt, P., and Nussio, L. G. (2019). Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. *Grass Forage Sci.* 74, 188–200. doi: 10.1111/gfs.12417

Emerenciano Neto, J. V., Silva, A. C. R. L., Costa, A. B. G., Urbano, S. A., Fernandes, P. B., Gurgel, A. L. C., Santos, R. S., Soares, M. A. L., Lima, J. M. N., Silva, Y. S. (2025). Formation of *Urochloa* pastures with an integrated farming system with *Pennisetum glaucum* for silage production. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 68, 1175–877. <https://doi.org/10.1080/00288233.2025.2486013>

Fernandes, P. B., Gonçalves, L. F., Claudio, F. L., Souza, J. A., Júnior, G. C., Alves, E. M., Paim, T. D. P. (2023). Sustainable Production of Maize with Grass and Pigeon Pea Intercropping. *Agriculture*; 13(6), 1246. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE13061246>

Ferreira, E. B., Cavalcanti, P. P., Nogueira, D. A. (2014). ExpDes: An R Package for ANOVA and Experimental Designs. *Applied Mathematics*, 5, 2952-2958. <https://doi.org/10.4236/am.2014.519280>

Guimarães, K. C., Costa, K. A. P., Paludo, A., Santos, N. F., Rossi, R. M., Cruvinel, W. S. (2014). Protein fraction, degradability and digestibility of pearl millet silage at different cutting ages. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 36(1), 33–39. <https://doi.org/10.4025/ACTASCIANIMSCI.V36I1.21415>

Gupta, S. K., Govintharaj, P., & Bhardwaj, R. (2022). Three-way top-cross hybrids to enhance production of forage with improved quality in pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.). *Agriculture*, 12(9), 1508. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091508>

Herrera, D. M., Peixoto, W. M., Abreu, J. G. D., Reis, R. H. P. D., Sousa, F. G. D., Balbinot, E., Klein, V. A. C., Costa, R. P. (2023). Is the integration between corn and grass under different sowing modalities a viable alternative for silage?. *Animals*, 13(3), 425. <https://doi.org/10.3390/ani13030425>

Jesus, D. L. S., Rigueira, J. P. S., Monção, F. P., Rocha Júnior, V. R., Silva, A. F., Moura, M. M. A., Souza, J. F., Santos, A. S., Silva, M. F. P., Silvestre, O. S. (2022). Fermentation profile and nutritional value of millet grain silages rehydrated with whey and/or molasses. *Semina: Ciências Agrárias*, 43(6), 2595-2606. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n6p2595>

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>

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>

Marchão, R. L., Mendes, I. C., Vilela, L., Júnior, R. G., Niva, C. C., Pulrolnik, K., Souza, K. W., Carvalho, A. M. (2024). Integrated crop–livestock–forestry systems for improved soil health, environmental benefits, and sustainable production. *Soil Health Series: Volume 3 Soil Health and Sustainable Agriculture in Brazil*, 19-61. <https://doi.org/10.1002/9780891187448.ch2>

Marques, B. S., Costa, K. A. P., Silva, L. M., Costa, A. C., Ferrari, G. C., Lima, J. F., Silva, A. F., Matos, W. P., Gonçalves, L. F., Lima, D. A. S., Ferreira, J. V., Pontes, E. F., Oliveira, F. F. P. (2025). Use of Bacterial-Enzymatic Inoculant Improves Silage Quality and Reduces Fermentation Losses in Intercropped Systems. *Agriculture; Basel*, 15(4), 437. <https://doi.org/10.3390/agriculture15040437>

McDonald, P., Henderson, A. R., Heron, S. J. E. (1991). The Biochemistry of Silage. *Chalcomb Publ.*, 3(2), 40.

Mello, C. E., Jakelaitis, A., Silva, C. H. D. L., Sousa, G. D. D., Silva, J. O. D. (2023). Doses de glifosato na supressão de *Megathyrus maximus* cv. BRS Quênia consorciado com milho transgênico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 27(11), 892-899. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n11p892-899>

Mertens, D.R. (2002). Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beaker or crucibles: collaborative study. *Journal of AOAC International*, 85, 1217-1240. <https://doi.org/10.1093/jaoac/85.6.1217>

Mou, H., Zhao, X., Huang, J. (2026). Effect of phenolic modification of alkali lignin on cellulase recovery. *Biomass and Bioenergy*, 208, 108822. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2025.108822>

Moura, M. M. A., Pires, D. A. D. A., Jayme, D. G., Costa, R. F., Rigueira, J. P. S., Rodrigues, J. A. S. (2018). Agronomic performance and nutritive value of millet silages. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 40, e34430. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v40i1.34430>

Muck, R. E., Wilson, R. K., O'Kiely, P. (1991). Organic Acid Content of Permanent Pasture Grasses. *Irish Journal of Agricultural Research*, 30(2), 143–152. <http://www.jstor.org/stable/25556288>

Muglia, G. R. P., Orrico Junior, M. A. P., Retore, M., Ceccon, G., Silva, Y. A., Orrico, A. C. A., Amaral, I. P. O., Oliveira, V. G. (2025). Productivity and Fermentative and Nutritional

Quality of Silages from Biomass Sorghum Intercropped with Tropical Grasses. *AgriEngineering*, 7(10), 345. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7100345>

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, Eighth Revised Edition; The National Academies Press: Washington, DC, USA, 2021

Noor, M. A., Sajid Fiaz, Nawaz, A., Nawaz, M. M. (2018). The effects of cutting interval on agro-qualitative traits of different millet (*Pennisetum americanum* L.) cultivars. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(3), 317–322. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.07.002>

Nurdianti, R. R., Dickhoefer, U., Castro-Montoya, J. M. (2024). Relationship between nutritional composition and fibre digestibility in tropical forages compared to temperate forages. *Italian Journal of Animal Science*, 23(1), 1839-1853. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2024.2434697>

Oliveira, N. C., Costa, K. A. P., Rodrigues, L. G., Silva, A. C. G., Costa, J. V. C. P., Silva, S. Á. A., de Assis, L. F. A., Oliveira, S. M. P., Lima Vieira, M. (2021). Fermentation characteristics and nutritive value of sweet sorghum silage with Paiaguas palisadegrass and Ipypora grass. *Semina: Ciências Agrárias*, 42(3Supl1), 1923–1940. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n3Supl1p1923>

Oliveira, S. S., Costa, K. A. P., Souza, W. F., Santos, C. B., Teixeira, D. A. A., Costa, V. (2020). Production and quality of the silage of sorghum intercropped with Paiaguas palisadegrass in different forage systems and at different maturity stages. *Animal Production Science*, 60(5), 694-704. <https://doi.org/10.1071/AN17082>

Pacheco, L. P., Kappes, C., Côrt, A. S. D., Silva, R. G., Souza, E. D., Guedes, T. R. M., Silva, L. S., Ratke, R. F., Petter, F. A., Ferreira, J. H. dos S., Portugal, J. R. P., Silva, I. D. F., Correia, E. S., Crusciol, C. A. C. (2025). Crop rotation and succession in soybean production systems: cover crop biomass, grain yield and revenue. *Plant and Soil*, 1–18. <https://doi.org/10.1007/S11104-025-07880-Y>

Paciullo, D. S. C., Brighenti, A. M., Gomide, C. A. M., Castro, C. R. T., Sbrinho, F. S., Souza, E. M. B., Silva, R. B. (2022). Milho em Plantio Direto sobre Palhada de Cultivares de *Brachiaria ruziziensis* (Kennedy e BRS Integra). *Embrapa Gado de Leite*, 45. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento).

Paludo, F., Costa, K. A. P., Dias, M. B. C., Santos e Silva, F. A., Silva, A. C. G., Rodrigues, L. G., Silva, S. Á. A., Souza, W. F., Bilego, U. O., Muniz, M. P. (2020). Fermentative profile and nutritive value of corn silage with Tamani guinea grass. *Semina: Ciências Agrárias*, 41(6), 2733–2746. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n6p2733>

Pariz, C. M., Costa, N. R., Costa, C., Crusciol, C. A. C., Castilhos, A. M., Meirelles, P. R. L., Calonego, J. C., Andreotti, M., Souza, D. M., Cruz, I. V., Longhini, V. Z., Protes, V. M., Sarto, J. R. W., Piza, M. L. S. T., Melo, V. F. P., Sereia, R. C., Fachioli, D. F., Almeida, F. A., Souza, L. G. M., Franzluebbbers, A. J. (2020). An innovative corn to silage-grass-legume intercropping system with oversown black oat and soybean to silage in succession for the improvement of nutrient cycling. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 544996. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.544996>

Pires, F. R., Rocha Júnior, P. R. D., Cavalcanti, A. C., Nascimento, A. L., Nardotto Júnior, A. O., Almeida, M. S. D., Viana, D. G., Bonomo, R. (2024). Forage performance in silage production under water deficit conditions. *Revista Caatinga*, 37, e12345. <https://doi.org/10.1590/1983-21252024v37i12345rc>

Prado, L. G., Costa, K. A. de P., da Silva, L. M., Severiano, E. da C., Vilela, L., Costa, J. V. C. P., Costa, A. C., Habermann, E., Marques, B. de S., Martinez, C. A. (2025). Management of *Brachiaria ruziziensis* biomass affects soybean productivity in integrated crop-livestock system. *Journal of Agriculture and Food Research*, 20, 101792. <https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2025.101792>

Prado, L. G., Costa, K. A. P., Silva, L. M., Costa, A. C., Severiano, E. C., Costa, J. V. C. P., Habermann, E. (2023). Silages of sorghum, Tamani guinea grass, and *Stylosanthes* in an integrated system: production and quality. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1208319. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1208319>

Reis, J. C., Kamoi, M. Y. T., Tanure, T. M. D. P., Rodrigues, M. I., Etienne, J. J. D., Valentim, J. F., Pereira, M. A., Wruck, F. D. J. (2025). Integrated crop-livestock-forest systems: a path to improved agro-economic performance in the Brazilian Amazon and Cerrado. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, 1518747. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1518747>

Santos H. G., Jacomine P. K. T., Anjos L. H. C., Oliveira V. A., Lumberras J. F., Coelho M. R., Almeida J. A., Cunha T. J. F., Oliveira J. B. (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília (DF): Embrapa CNPS.

Santos, C. B., Costa, K. A. P., Souza, W. F. D., Oliveira, I. P. D., Teixeira, D. A. A., Costa, J. V. C. P. (2020a). Production and quality of sunflower and Paiaguas palisadegrass silage in monocropped and intercropping in different forage systems. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, 42(1), e48304. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v42i1.48304>

Santos, C. B., Costa, K. A. P., Souza, W. F., Silva, V. C., Brandstetter, E. V., Oliveira, S. S., Leao, K. M., Severiano, E. C. (2023). Production, quality of paiaguas palisadegrass and cattle performance after sorghum intercropping in pasture recovery in an integrated crop-livestock system. *Australian Journal of Crop Science*, 17(4), 361-368. <https://doi.org/10.21475/ajcs.23.17.04.p3700>

Santos, R. D., Neves, A. L. A., Pereira, L. G. R., Sollenberger, L. E., Muniz, E. N., Souza, E. Y. B., Sobral, A. J. S., Costa, N. V., Gonçalves, L. C. (2020b). Performance, agronomic traits, ensilability and nutritive value of pearl millet cultivar harvested at different growth stages. *The Journal of Agricultural Science*, 158(3), 225-232. <https://doi.org/10.1017/S0021859620000222>

Santos, C. O. dos, Pinto, A. de S., Santos, M. P. dos, Alves, B. J. R., Neto, M. B. R., Ferreira, L. G. (2024). Livestock intensification and environmental sustainability: An analysis based on pasture management scenarios in the brazilian savanna. *Journal of Environmental Management*, 355, 120473. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2024.120473>

Saute, J. M., Tres, T. T., Osmari, M. P., Silva, S. L., Daniel, J. L. P., Jobim, C. C. (2021). Nutritional value, total dry matter losses, effluent production and pollutant potential in *Brachiaria brizantha* cv. Paiaguás grass. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 73(03), 675-683. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-12197>

Silva, D. J. and Queiroz, A. C. (2002). *Análise de Alimentos (Métodos Químicos e Biológicos)*. 3rd Edition, Imprensa Universitária da UFV, Viçosa, 235p.

Silva, D., Larson, S., Silva, A. P., Dias, A. M., Candido, A. R., Gomes, E. N. O., Batistoti, J. O., Ítavo, L. C. V., Santos, G. T., Difante, G. S., Coelho, E. M. (2025a). Effect of Harvest Age on Forage Production and Silage Quality of Pearl Millet Hybrid in Cerrado Biome. *Grasses* 2025, 4(3), 34. <https://doi.org/10.3390/GRASSES4030034>

Silva, L. M., Costa, K. A. P., Prado, L. G., Rezende, A. G., Severiano, E. C., Costa, J. V. C. P., Silva, J. A. G. E; Costa, A. C., Fernandes, P. B., Rodrigues, R. C., Marques, B. S., Morais, B. F., Rodrigues, F. (2024) Maize intercropped with *Panicum maximum* cultivars and Pigeon pea improves silage yield and quality. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1416717. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1416717>.

Silva, L. M., Costa, K. A. P., Silva, J. A. G., Costa, A. C., Severiano, E. C., Costa, J. V. C. P., Bento, J. C., Fernandes, P. B., Vilela, L., Viciado, D. O., Habermann, E., Rodrigues, F., Martinez, C. A. (2025b). Integrated triple cropping enhances soybean productivity. *Crop Science*, 65(5), e70176. <https://doi.org/10.1002/csc2.70176>

Silva, N. R., Freitas, P. V. D. X., Silva Neto, C. M., Ferreira, R. N., Oliveira, L. G., Correa, D. S., Hellmeister Filho, P., Brasil, E. P. F., Freitas, I. C., França, A. F. S. (2020). Biomass, Efficiency of Nitrogen Conversion and Nitrogen Recovery in Millet Cultivars Under Nitrogen Fertilization. *Journal of Agricultural Studies*, 8(2), 339-351. <https://doi.org/10.5296/jas.v8i2.15798>

Sobrinho, F. S., Auad, A. M., Santos, A. M. B., Gomide, C. A. M., Martins, C. E., Castro, C. R. T., Paciullo, D. S. C., Benites, F. G., Rocha, W. S. D. (2022). BRS Integra: nova cultivar de *Urochloa ruziziensis* para a ILPF. *Embrapa Gado de Leite*, 19. (Embrapa Gado de Leite. Comunicado Técnico, 93).

Soil Survey Staff (2014). *Keys to soil taxonomy*. 12th ed (Lincoln: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service), 360 p.

Souza, C. B. S., Farias, P. G. S., Rosset, J. S., Schiavo, J. A., Ozório, J. M. B., Oliveira, N. S., Coelho, R. S., Tomazi, M., Salton, J. C. (2025). Soil Quality and CO₂ Emissions in Response to Six Years of Conventional and Integrated Agricultural Production in the Central-West Region of Brazil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 25, 3954–3970. <https://doi.org/10.1007/s42729-025-02377-0>

Souza, W. F. D., Costa, K. A. P., Guarnieri, A., Severiano, E. C., Silva, J. T. D., Teixeira, D. A. A., Oliveira, S. S., Dias, M. B. C. (2019). Production and quality of the silage of corn intercropped with Paiaguas palisadegrass in different forage systems and maturity stages. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 48, e20180222. <https://doi.org/10.1590/rbz4820180222>

Sowjanya, A., Rao, CH. P., Rao, CH. S. (2021). Response of Phosphorus on Growth and Yield of Pearl Millet, Microbial Population and System Productivity in Pearl Millet Based Cropping Systems. *Journal of Experimental Agriculture International*, 113–124. <https://doi.org/10.9734/JEAI/2021/V43I330662>

Tilley, J. M. A., Terry, R. A. (1963). A Two-Stage Technique For The *In Vitro* Digestion Of Forage Crops. *Grass and Forage Science*, 18(2), 104–111. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2494.1963.TB00335.X>

Toker, P., Canci, H., Turhan, I., Isci, A., Scherzinger, M., Kordrostami, M., Yol, E. (2024). The advantages of intercropping to improve productivity in food and forage production – a review. *Plant Production Science*, 27(3), 155–169. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2024.2372878>

Van Soest, P. J. Nutritional ecology of the ruminant. 2. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476 p.

Vicente, E. R. J. S., Kuwahara, F. A., Feba, L. T., Silva, P. C. G., Moro, E. (2019). Yield of sorghum silage intercropped with pigeon pea and marandu grass in two spacings and chemical composition before and after ensiling. *Australian Journal of Crop Science*, 13(9), 1416-1421. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.09.p1248>

Wei, X., Niu, X., Luo, C., Zhang, W., Sun, X., Wu, L., Chen, W., Wei, G., Shu, D. (2025). Soybean-maize intercropping modifies quantitative response relationships between nitrogen functional genes and soil respirations in microscale environment of soil aggregation. *Applied Soil Ecology*, 214, 106379. <https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2025.106379>

Weiss, W.P.; Conrad, H.R.; St. Pierre, N.R. (1992). A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. *Animal Feed Science and Technology*, 39, 95–110. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(92\)90034-4](https://doi.org/10.1016/0377-8401(92)90034-4)

Wróbel, B., Nowak, J., Fabiszewska, A., Paszkiewicz-Jasińska, A., Przystupa, W. (2023). Dry matter losses in silages resulting from epiphytic microbiota activity—A comprehensive study. *Agronomy*, 13(2), 450. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020450>

Zhang, H. L., Dang, Y. P., Li, L. (2023) Farming system: A systemic solution to sustainable agricultural development. *Farming System*, 1(1), 100007. <https://doi.org/10.1016/j.farsys.2023.100007>

Zhao, J., Dong, Z., Li, J., Chen, L., Bai, Y., Jia, Y., Shao, T. (2018). Ensiling as pretreatment of rice straw: The effect of hemicellulase and *Lactobacillus plantarum* on hemicellulose degradation and cellulose conversion. *Bioresource Technology*, 266, 158–165. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.06.058>

Zhao, N., Hao, X., Yin, M., Li, C., Wang, C., Han, H. (2024). Influence of Growth Stages and Additives on the Fermentation Quality and Microbial Profiles of Whole-Plant Millet Silage. *Agriculture*, Vol. 14, Page 1323, 14(8), 1323. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081323>

Zheng, L., Li, D., Ren, H., Wang, H. (2025). Are intercropping systems more productive than monocultures in terms of forage yield and subsequent silage quality for ruminants? A meta-analysis. *Field Crops Research*, 332, 110027. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.110027>

Zhong, H., Zhou, J., Abdelrahman, M., Xu, H., Wu, Z., Cui, L., Ma, Z., Yang, L., Li, X. (2021). The effect of lignin composition on ruminal fiber fractions degradation from different roughage sources in water buffalo (*Bubalus bubalis*). *Agriculture* 2021,, 11(10). <https://doi.org/10.3390/agriculture11101015>