



Universidade Federal do Maranhão

Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal

BR 222, Km 04, Bairro Boa Vista, Chapadinha – MA

Telefone (98) 3272-9902 E-mail: ppgca@ufma.br

Homepage: <http://www.ppgca.ufma.br>



**UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS RETENTORES DE UMIDADE NO SOLO SOBRE
O DÉFICIT HÍDRICO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE SILAGENS DE MILHO
E SORGO PRODUZIDAS NA FORMA CONVENCIONAL E COMO SILAGEM DE
RAÇÃO TOTAL**

Chapadinha – MA

2025



Universidade Federal do Maranhão

Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal

BR 222, Km 04, Bairro Boa Vista, Chapadinha – MA

Telefone (98) 3272-9902 E-mail: ppgca@ufma.br

Homepage: <http://www.ppgca.ufma.br>

LEONARDO ROCHA RODRIGUES

**UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS RETENTORES DE UMIDADE NO SOLO SOBRE
O DÉFICIT HÍDRICO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE SILAGENS DE MILHO
E SORGO PRODUZIDAS NA FORMA CONVENCIONAL E COMO SILAGEM DE
RAÇÃO TOTAL**

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

Orientador: Prof. Dr. Anderson de Moura Zanine

Coorientadores: Profa. Dra. Daniele de Jesus Ferreira; Dr. Danillo Marte Pereira

Chapadinha - MA

2025



Universidade Federal do Maranhão

Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal

BR 222, Km 04, Bairro Boa Vista, Chapadinha – MA

Telefone (98) 3272-9902 E-mail: ppgca@ufma.br

Homepage: <http://www.ppgca.ufma.br>



LEONARDO ROCHA RODRIGUES

**UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS RETENTORES DE UMIDADE NO SOLO SOBRE
O DÉFICIT HÍDRICO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE SILAGENS DE MILHO
E SORGO PRODUZIDAS NA FORMA CONVENCIONAL E COMO SILAGEM DE
RAÇÃO TOTAL**

Aprovada em ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA

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

Dr. Danillo Marte Pereira (Coorientador)

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

Dr. Dilier Olivera Viciado (Avaliador externo)

Dr. Francisco Naysson de Sousa Santos (Avaliador interno)



Universidade Federal do Maranhão

Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal

BR 222, Km 04, Bairro Boa Vista, Chapadinha – MA

Telefone (98) 3272-9902 E-mail: ppgca@ufma.br

Homepage: <http://www.ppgca.ufma.br>



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

Rocha Rodrigues, Leonardo.

Utilização de polímeros retentores de umidade no solo sobre o déficit hídrico e avaliação da qualidade de silagens de milho e sorgo produzidas na forma convencional e como silagem de ração total / Leonardo Rocha Rodrigues. - 2025.

60 f.

Coorientador(a) 1: Daniele de Jesus Ferreira.

Coorientador(a) 2: Danillo Marte Pereira.

Orientador(a): Anderson de Moura Zanine.

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

1. Zea Mays. 2. Sorghum Bicolor. 3. Silagem de Ração Total. 4. Aditivos Agrícolas. 5. Conservação de



Universidade Federal do Maranhão

Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal

BR 222, Km 04, Bairro Boa Vista, Chapadinha – MA

Telefone (98) 3272-9902 E-mail: ppgca@ufma.br

Homepage: <http://www.ppgca.ufma.br>



AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pela força, sabedoria e perseverança que me concedeu para chegar até este momento.

À minha esposa, Karolina Lima Monteles, que me incentivou a seguir o caminho do mestrado e esteve ao meu lado em todos os momentos, oferecendo apoio incondicional.

À minha família pela compreensão e incentivo contínuos: à minha mãe, Rozicleida Rocha Rodrigues; aos meus irmãos, Rayane Rocha Rodrigues, Maria Luzia Rocha Rodrigues Messias, Francisco de Assis Pereira Sobrinho Júnior e Mariane Rodrigues Sobrinho.

Ao meu orientador, Anderson de Moura Zanine, pela orientação, confiança e por compartilhar seu conhecimento de forma generosa durante todo o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos meus coorientadores, Daniele de Jesus Ferreira e Danillo Marte Pereira, pelo suporte fornecido.

Ao Francisco Naysson de Sousa Santos, pelas importantes dicas e contribuições na escrita desta dissertação, que enriqueceram o resultado final do trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta dissertação, deixo meu sincero agradecimento.

RESUMO

O milho e o sorgo são gramíneas de elevado valor nutritivo, tradicionalmente utilizadas como forragens para ruminantes, porém seu cultivo enfrenta desafios em regiões com irregularidade de chuvas e longos períodos de seca, que limitam a produção de grãos e biomassa ao longo do ano. Nesse contexto, estratégias como a aplicação de polímero retentor de umidade no solo (PRU) e a utilização de silagem de ração total (SRT) garantem a oferta contínua de alimentos com qualidade e em quantidade suficiente para esses animais, mesmo na entressafra agrícola. Objetivou-se com este estudo avaliar o efeito da aplicação de um PRU no solo sobre o déficit hídrico e a qualidade de silagens de milho e sorgo, produzidas nas formas convencional (SC) e de ração total. O experimento foi conduzido em esquema fatorial $4 \times 2 \times 2$, composto por quatro intervalos de hidratação com PRU: controle (sem hidratação), hidratação apenas no dia do plantio (H0), hidratação a cada cinco dias (H5) e hidratação a cada dez dias (H10), duas culturas (milho e sorgo) e dois tipos de silagem (SC e SRT). O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, totalizando 16 tratamentos e 64 subunidades experimentais. Foram avaliados o perfil fermentativo (pH, capacidade tampão (CT), nitrogênio amoniacal (N-NH_3) e carboidratos solúveis (CHOs)), perdas por efluentes (PE) e por gases (PG), recuperação de matéria seca (RMS), estabilidade aeróbia e composição bromatológica. Houve efeito de interação entre os fatores para a variável CHOs ($P=0,0233$), com a maior média obtida com a utilização do sorgo, associado ao uso de SC e a hidratação com PRU a cada 10 dias. Em relação aos efeitos isolados, houve diferença entre os tratamentos ($P<0,05$) para o tipo de cultura e tipo de silagem para as variáveis relacionadas a qualidade fermentativa. A silagem de sorgo apresentou menor pH (3,86) e maior CT (0,1050 mg NaOH/g MS) em comparação ao milho. Já o uso de SRT proporcionou maior pH (4,04), maior CT e maior N-NH_3 . Em relação às perdas, a SRT destacou-se por apresentar menores PE e PG e maior RMS, em comparação à SC. Para o PRU, houve diferença para as variáveis N-NH_3 e PE. Os menores teores de N-NH_3 e PE, foram observados com uso do PRU a cada 10 dias de hidratação. Quanto à composição bromatológica, a silagem de milho apresentou menores teores de FDN (41,31%) em relação ao sorgo (52,81%). A SRT apresentou maiores teores de MS, MM e PB, enquanto a SC apresentou maiores teores de EE, FDN e FDA. A aplicação do PRU no solo promoveu aumento na produção de biomassa total das culturas de milho e sorgo, sendo o intervalo de hidratação a cada 10 dias o mais indicado para maiores rendimentos. O sorgo destacou-se pela maior EA e produção de biomassa, sendo mais eficiente que o milho, cuja silagem deteriora mais rápido. Assim, recomenda-se o uso do sorgo com dez dias de hidratação e SRT para melhor valor nutritivo e aproveitamento da dieta.

Palavras-chave: *Zea mays*; *Sorghum bicolor*; silagem de ração total; aditivos agrícolas; conservação de forragens.

ABSTRACT

Corn and sorghum are grasses of high nutritional value, traditionally used as forage for ruminants. However, their cultivation faces challenges in regions with irregular rainfall and long dry periods, which limit grain and biomass production throughout the year. In this context, strategies such as the application of soil moisture-retaining polymer (MRP) and the use of total mixed ration (TMR) silage ensure a continuous supply of quality and sufficient food for these animals, even during the agricultural off-season. The objective of this study was to evaluate the effect of applying an MRP to the soil on water deficit and the quality of corn and sorghum silages, produced in conventional (CS) and total mixed ration forms. The experiment was conducted in a $4 \times 2 \times 2$ factorial design, consisting of four hydration intervals with MRP: control (no hydration), hydration only on planting day (H0), hydration every five days (H5), and hydration every ten days (H10), two crops (corn and sorghum), and two types of silage (CS and TMR). The experimental design used was randomized blocks, totaling 16 treatments and 64 experimental subunits. The fermentative profile (pH, buffering capacity (BC), ammoniacal nitrogen (N-NH_3), and soluble carbohydrates (CHOs)), effluent losses (EL), and gas losses (GL), dry matter recovery (DMR), aerobic stability, and bromatological composition were evaluated. There was an interaction effect between the factors for the CHOs variable ($P = 0.0233$), with the highest mean obtained with the use of sorghum, associated with the use of CS and hydration with MRP every 10 days. Regarding isolated effects, there was a difference between treatments ($P < 0.05$) for crop type and silage type for variables related to fermentative quality. Sorghum silage showed lower pH (3.86) and higher BC (0.1050 mg NaOH/g DM) compared to corn. The use of TMR provided higher pH (4.04), higher BC, and higher N-NH_3 . Regarding losses, TMR stood out for presenting lower EL and GL and higher DMR, compared to CS. For MRP, there was a difference for N-NH_3 and EL variables. The lowest levels of N-NH_3 and EL were observed with the use of MRP every 10 days of hydration. As for the bromatological composition, corn silage showed lower NDF levels (41.31%) compared to sorghum (52.81%). TMR showed higher levels of DM, Ash, and CP, while CS showed higher levels of EE, NDF, and ADF. The application of MRP to the soil promoted an increase in the total biomass production of corn and sorghum crops, with the hydration interval every 10 days being the most indicated for higher yields. Sorghum stood out for higher effective degradability (ED) and biomass production, being more efficient than corn, whose silage deteriorates more quickly. Therefore, the use of sorghum with ten days of hydration and retention time (SRT) is recommended for better nutritional value and diet utilization.

Keywords: *Zea mays*; *Sorghum bicolor*; total mixed ration silage; agricultural additives; forage conservation.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

ASA = Amostra seca ao ar
ASE = Amostra seca em estufa
CHOs = Carboidratos solúveis em água
cm = Centímetro
CT = Capacidade tampão
DBC = Delineamento em blocos casualizados
EA = Estabilidade aeróbia
EE = Extrato Etéreo
EPM = Erro padrão da média
FDA = Fibra em detergente ácido
FDN = Fibra em detergente neutro
g = Grama
h = Hora
Kg = Quilograma
MM = Matéria mineral
mm = Milímetro
MS = Matéria seca
N= Nitrogênio
N-NH₃ = Nitrogênio amoniacal
PB = Proteína bruta
PE = Perdas por efluentes
PG (g/kg) = Perdas por gases
pH = Potencial hidrogênio-iônico
PRNT = Poder relativo de neutralização
PRU/MRP: Polímero retentor de umidade
RMS = Recuperação de matéria seca
SC/M = Silagem convencional de milho
SC/S = Silagem convencional de sorgo
SRT/M - TMR = Silagem de ração total de milho
SRT/S - TMR = Silagem de ração total de sorgo
TP = Tipo de silagem

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas da análise de solo.....	28
Tabela 2. Biomassa total (kg/ha) das culturas do milho e sorgo.	29
Tabela 3 - Composição percentual dos ingredientes nas dietas experimentais de vacas de leite.....	30
Tabela 4. Composição química das dietas de vacas de leite.....	30
Tabela 5. Efeitos do polímero retentor de umidade, cultura e do tipo de silagem sobre o pH, Capacidade tampão (CT), nitrogênio amoniacal ($N-NH_3$) e carboidratos solúveis (CHOs) das silagens de milho e sorgo.....	37
Tabela 6 - Efeito da interação entre o polímero retentor de umidade, cultura e tipo de silagem sobre o teor de carboidratos solúveis (CHOs) das silagens de milho e sorgo.....	38
Tabela 7. Efeitos do polímero retentor de umidade, cultura e do tipo de silagem sobre as perdas por efluentes (PE), perdas por gases (PG) e recuperação de matéria seca (RMS) das silagens de milho e sorgo.....	39
Tabela 8. Composição química em silagens de milho e sorgo, convencional ou total, sob diferentes intervalos de hidratação com polímero retentor de umidade no solo.....	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Croqui da área experimental com a distribuição dos tratamentos com os diferentes intervalos de hidratação com polímero retentor de umidade no solo, culturas e tipos de silagens.....	26
Figura 2. Representação esquemática da distribuição das plantas de milho e sorgo dentro da subparcela experimental.....	27
Figura 3. Gráfico de superfície de resposta para a variável carboidratos solúveis..	36
Figura 4. Gráfico de superfície de resposta para a variável estabilidade aeróbica para SCs de milho e sorgo (A e C) e SRTs de milho e sorgo (B e D).....	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo geral	14
2.2 Objetivos específicos	14
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1 Déficit hídrico em culturas forrageiras	15
3.2 Uso de polímeros retentores de umidade	16
3.3 A Cultura do milho	17
3.3.1 Caraterísticas agronômicas do milho	18
3.3.2 Silagem de milho	19
3.4 A Cultura do sorgo	20
3.4.1 Características agronômicas do sorgo	21
3.4.2 Silagem de sorgo	22
3.5 Silagem de ração total	23
4 MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1 Localização do experimento	25
4.2 Tratamentos e delineamento experimental	25
4.3 Área experimental	26
4.4 Correção do solo e adubação	27
4.5 Aplicação do polímero retentor de umidade	28
4.6 Preparo e ensilagem do milho, sorgo e da SRTs	28
4.7 Qualidade fermentativa	30
4.8 Perdas e recuperação de matéria seca	32
4.9 Estabilidade aeróbia	32

4.10 Análises bromatológicas	33
4.11Análise estatística	34
5 RESULTADOS	36
6 DISCUSSÃO	42
7 CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) e o sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) são gramíneas versáteis tradicionalmente utilizadas como forragens para ruminantes, destacando-se pelo bom valor nutritivo e suas propriedades bromatológicas (Pinho et al., 2007). No cenário mundial, o milho lidera a produção de grãos, com o sorgo ocupando a quinta posição (FAO, 2023). No Brasil, na safra 2023/2024, foram produzidos mais de 115 milhões de toneladas de milho e 4,42 milhões de toneladas de sorgo (Conab, 2024).

Embora cultivadas e utilizadas para diversos fins, o rendimento dessas culturas sofre influência de stress abióticos, como o déficit hídrico devido à má distribuição de chuvas e ocorrência de veranicos. Tal condição afeta a absorção de água e nutrientes pelas plantas e desencadeia uma série de respostas morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, como mecanismos de sobrevivência (Araújo et al., 2010; Pereira, 2020). No milho, o stress hídrico acomete todo o ciclo, reduzindo a massa vegetativa e a taxa fotossintética, além de reduzir a produção e translocação de fotoassimilados para os grãos. No sorgo, a seca causa senescência foliar prematura e queda na produtividade, em razão do desequilíbrio na relação C/N ocasionada pelo menor teor de N foliar (Cruz et al., 2010; Chen et al., 2015).

Dessa forma, períodos de seca em algumas regiões limita a produção de grãos e biomassa de forrageiras na entressafra e torna necessária a adoção de práticas como a ensilagem, a fim de garantir o manejo alimentar de ruminantes (Santos et al., 2010b; Gonçalves et al., 2019). Na planta do milho, constata-se que o déficit hídrico ao longo de seu ciclo pode ainda alterar negativamente suas características nutricionais, o que, por sua vez, compromete a qualidade da silagem produzida, já que o valor nutritivo é reflexo do material produzido (Deminicis et al., 2009; Simsek et al., 2011; Bergamaschi; Matzenauer, 2014). Apesar de mais tolerante, o sorgo também sofre perdas, as quais são proporcionais à intensidade e ao estágio fenológico em que ocorre a escassez hídrica (Rodrigues et al., 2015).

Nesse contexto, pesquisas sobre forrageiras e sistemas alternativos de cultivo têm se expandido com o objetivo de mitigar os efeitos negativos da estacionalidade e viabilizar a produção de grãos e volumoso com qualidade e em quantidade suficiente, tanto para consumo in natura quanto para confecção de silagem em época de sequeiro. A utilização de condicionadores de solo, como

polímeros retentores de umidade, em conjunto com o cultivo de forrageiras tolerantes à seca, desponta como uma alternativa viável para que este objetivo seja atingido (Pinheiro et al., 2021; Ferreira et al., 2024).

Esses polímeros, também chamados de hidrogéis, são estruturas tridimensionais que, quando aplicadas ao solo, prolongam os intervalos entre as irrigações e permitem o suprimento de água e nutrientes às plantas. Tal efeito decorre de sua elevada capacidade de retenção hídrica (cerca de 90-95%), que possibilita a liberação gradual da água armazenada pelas partículas do hidrogel para o solo e favorece a disponibilidade hídrica no sistema radicular (Bernardi et al., 2012; Abdallah, 2019).

Os hidrogéis trazem benefícios às propriedades físicas do solo, pois podem contribuir para a redução da compactação, do escoamento superficial e da erosão, além de favorecer melhoria na aeração e da atividade dos microrganismos presentes. Do ponto de vista químico, considera-se que esses materiais auxiliem na retenção de nutrientes, já que reduzem as perdas por lixiviação ao manter parte desses nutrientes incorporados à sua matriz polimérica (Abd el-rehim; Hegazy; Abd el-mohdy, 2004; Fagundes et al., 2015).

Aliado a esse contexto, quando forrageiras são cultivadas com uso racional da água, a utilização de silagem de ração total (SRT) representa uma estratégia sustentável no confinamento animal. A SRT consiste em uma dieta completa que supre as exigências nutricionais dos animais e oferece vantagens: facilita o uso de subprodutos, reduz a mão de obra e o uso de maquinário, além de melhorar o consumo e a digestibilidade. Dessa forma, contribui para a redução de custos e aumento da eficiência produtiva (Cao et al., 2011; Bueno et al., 2020; Wang et al., 2023; Ferreira et al., 2024).

Diante disso, objetivou-se avaliar a qualidade nutricional de silagens de milho e sorgo, produzidas na forma de ração convencional ou total, considerando diferentes intervalos de hidratação com polímero retentor de umidade no solo durante a entressafra agrícola.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- ✓ Avaliou-se a qualidade nutricional de silagens de milho e de sorgo, na forma convencional e em mistura total para ração, utilizando diferentes intervalos de hidratação com polímero retentor de umidade no solo durante o período da entressafra.

2.2 Objetivos específicos

Consistiu em avaliar:

- ✓ o perfil fermentativo, considerando: pH, capacidade tampão (CT), nitrogênio amoniacal (N-NH_3), carboidratos solúveis (CHOs) e perdas associadas ao processo fermentativo;
- ✓ a estabilidade aeróbia com base na avaliação da temperatura interna das silagens expostas ao ar;
- ✓ e a composição química, incluindo matéria seca (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA).

As avaliações foram realizadas nas silagens de milho e sorgo, tanto na forma convencional quanto na forma de ração total, sob diferentes intervalos de hidratação do solo com o uso de polímero retentor de umidade, durante a entressafra agrícola.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Déficit hídrico em culturas forrageiras

A produção de culturas forrageiras sofre influência direta de fatores edafoclimáticos, como fertilidade do solo, luminosidade, disponibilidade hídrica e condições meteorológicas. Dessa forma, quando desfavoráveis, esses fatores podem limitar a produção de forragem de qualidade e em quantidade nos sistemas agropecuários (Ribeiro et al., 2009; Bueno et al., 2019; Henrique et al., 2024).

A menor produção de matéria seca ocasionada pela estacionalidade impõem aos produtores a necessidade de encontrar alternativas, as vezes pouco lucrativas, para destinar maior parte de seus animais. Isso ocorre quando a matéria seca produzida é insuficiente para manter a taxa de lotação semelhante a obtida no período chuvoso. Nesse contexto, a irrigação surge como uma tentativa para minimizar as perdas de produtividade, eliminando o efeito do estresse hídrico sofrido pelas plantas (Azevedo; Saad, 2009).

A ocorrência de déficit hídrico em forrageiras, como o milho e o sorgo pode ocasionar uma série de danos fisiológicos, variando em função da duração, intensidade e fase fenológica em que ocorre. No milho, a falta de água no solo afeta a disponibilidade, absorção e transporte de nutrientes, com aumento na suscetibilidade a pragas e doenças. No sorgo, a seca progressiva reduz o crescimento e o desenvolvimento das plantas devido à modulação diferenciada de respostas bioquímicas associadas ao aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), o que acarreta danos celulares e redução da biomassa (Moura et al., 2006; Nxele et al., 2017).

Sob condições de estresse hídrico, as plantas adotam diferentes mecanismos fisiológicos como estratégias de sobrevivência. Enquanto o milho tende a encurtar seu ciclo levando a queda na produtividade, o sorgo manifesta uma estratégia adaptativa distinta, caracterizada pela interrupção temporária do crescimento da planta com a retomada quando as condições hídricas se tornam novamente favoráveis. Essa capacidade de ajuste fenológico confere ao sorgo maior tolerância a ambientes sujeitos a seca prolongada (Waquil; Viana, 2004).

Segundo Cruz et al. (2011), a disponibilidade hídrica é um dos principais fatores que afeta o desenvolvimento do milho, junto ao fotoperíodo e à temperatura. Dessa forma, para que a cultura atinja seu máximo potencial genético de produção,

é essencial que esses fatores estejam presentes nas melhores condições. Para o sorgo, as pesquisas são direcionadas principalmente em encontrar alternativas para minimizar os efeitos do estresse hídrico na cultura, visando reduzir as perdas de produção (Magalhães; Souza; Souza, 2021; Menezes et al., 2021).

3.2 Uso de polímeros retentores de umidade

Diversos polímeros de natureza sintética foram desenvolvidos ao longo das últimas décadas, incluindo alguns apropriados para a agricultura com função de condicionadores de solo, por melhorarem suas propriedades físico-químicas. No Brasil, muito desses polímeros são aplicados em áreas como a fruticultura, olericultura, além de outros usos, como na formação de gramados em jardins, campos de golfe e de futebol (Wang; Boogher, 1987; Oliveira et al., 2004).

Além dos polímeros sintéticos, que são derivados do petróleo, existem também os polímeros naturais, produzidos a partir do amido. Ambos os tipos de polímeros apresentam vantagens específicas. No entanto, os polímeros sintéticos são os mais utilizados na agricultura brasileira, e se destacam por sua capacidade única de apresentar altos graus de inchaço e contração em resposta às mudanças no ambiente externo. Dentre os sintéticos, os polímeros poliacrilamidas (PAMs) são os mais comumente utilizados (Peterson, 2002; Lima; Souza 2011; Ahmed et al., 2019; Patra et al., 2022).

Os polímeros retentores de umidade, também chamados de hidrogéis, vem sendo estudados como uma solução para reduzir a perda de água e a lixiviação de nutrientes no solo, contribuindo para potencializar a produção agrícola. Com sua estrutura tridimensional reticulada, esses materiais apresentam a capacidade de absorver e reter uma grande quantidade de água em relação ao seu peso seco, liberando-a gradualmente de acordo com a necessidade das plantas (Ullah et al., 2015; Mastalska Popławska et al., 2020).

A utilização de polímeros retentores de umidade pode ser uma alternativa para compensar a má distribuição das chuvas e otimizar a disponibilidade de água em regiões mais secas, especialmente durante períodos de estiagem. Pois, esses materiais retêm água durante a ocorrência da precipitação ou irrigação, a qual será liberada de forma gradual durante o déficit hídrico (Zonta et al., 2009).

Os efeitos do hidrogel tem sido estudado no setor agrícola brasileiro, incluindo sua aplicação em espécies frutíferas, olerícolas, florestais e plantas forrageiras (Ferreira et al., 2014; Navroski et al., 2015; Santos et al., 2015; Costa et al., 2019). No entanto, informações quanto as formas e doses de aplicação desses polímeros nas diferentes fases do ciclo de produção das culturas ainda são controversas, o que põem em dúvida seu uso em nível experimental e de produção (Monteiro et al., 2017).

3.3 A Cultura do milho

O milho (*Zea mays*) é considerado uma das poucas espécies nativas das américas que apresenta importância econômica. Botanicamente, essa espécie pertence à ordem Poales, família Poaceae, subfamília Panicoideae e tribo Maydeae (Queiroz, 2009).

De modo geral, o milho apresenta-se como uma planta herbácea, anual e com um ciclo de desenvolvimento de quatro a cinco meses. Além disso, trata-se de uma planta monóica, ou seja, possui flores masculinas e femininas separadas na mesma planta. As flores masculinas estão dispostas em panículas na extremidade superior, enquanto as femininas surgem nas axilas das folhas, local onde são formadas as espigas (Toledo, 1980).

O milho é um dos cereais mais cultivados no mundo, devido ao seu alto potencial produtivo e sua importância industrial. Seu consumo, tanto *in natura* quanto processado, é justificado sobretudo por seu alto valor nutritivo e sua composição química, o que o torna benéfico para a alimentação humana e animal. Além disso, esse cereal é de grande importância econômica, sendo destinado tanto para o mercado interno e quanto para a exportação (Bernardi et al., 2020; Pereira Filho; Borghi, 2022).

No Brasil, a produção de milho é dividida em duas safras: a primeira, ou de verão, e a segunda, também chamada de safrinha. A safrinha, cuja produção tem expandido nos últimos anos, refere-se ao milho de sequeiro plantado em fevereiro ou março, geralmente após a colheita da soja precoce (Cruz et al., 2008).

Conforme relatório da CONAB, na primeira safra do ciclo produtivo 2023/2024, a área plantada de milho no Brasil foi de 3,97 milhões de hectares, representando uma redução de 10,7% em relação à mesma safra do biênio anterior, enquanto a produção sofreu um decréscimo de 16,1%. Na segunda safra do mesmo ciclo, a área

plantada também apresentou redução de 4,39%, enquanto a produção atingiu 90,26 milhões de toneladas, 11,83% menor que à safra anterior. Com base no relatório, além da diminuição da área cultivada, a redução na produção de milho foi fortemente impactada por anomalias climáticas, como excesso ou, principalmente, a escassez de chuvas em diversos estados do país (Conab, 2024).

Pesquisas científicas, bem como, investimentos em melhorias relacionadas a processos logísticos, são de grande importância para permitir que a produção de milho se mantenha em expansão. Nesse contexto, a seleção de materiais genéticos com base em suas propriedades agronômicas tem um grande impacto na escolha de variedades altamente produtivas e nutritivas, o que pode contribuir para o aumento da produção dessa gramínea (Santos et al., 2010a; Pereira Filho, 2022).

3.3.1 Características agronômicas do milho

O aprimoramento genético do milho permitiu ao longo dos anos a criação e a comercialização de cultivares mais produtivas, com ciclos variados, arquitetura ereta e porte mais reduzido. Esses materiais são destacados pela maior resistência ao acamamento e ao quebramento, o que facilita a mecanização, sucessão com outras culturas, além de reduzir seu tempo de exposição a condições adversas. Como resultado, essas características agronômicas têm proporcionado maior eficiência produtiva e rentabilidade na produção (Argenta et al., 2001).

De acordo com Cruz e Pereira Filho (2008), o uso combinado de variedades melhoradas, em conjunto com insumos e boas técnicas de cultivo, resultou em um aumento progressivo no rendimento das lavouras. A seleção intensiva, focada no porte das plantas, preferindo aquelas com baixa arquitetura, baixa inserção da primeira espiga, grande quantidade de grãos e alta matéria seca no colmo, gerou plantas mais eficientes, com altas produções, baixo índice de tombamento e maior facilidade na colheita mecanizada.

Para Otegui e Andrade (2000), a produção da cultura do milho é definida pelo produto de três fatores principais: número de espigas, quantidade de grãos por espiga e peso médio dos grãos. No entanto, na maioria das vezes, a quantidade de grãos exerce a maior influência nesse cálculo, sendo mais relevante do que o peso individual ou o número de espigas por planta.

Ajustar o arranjo das plantas de milho, por meio da variação na densidade, espaçamento entre linhas, distribuição ao longo da linha e redução da variabilidade

entre plantas, é uma prática de grande importância para maximizar a captação da radiação solar, melhorar seu aproveitamento e aumentar o rendimento de grãos (Argenta et al., 2001).

3.3.2 Silagem de milho

O milho é considerado a cultura padrão para ensilagem devido aos elevados índices de produtividade, estabilidade de produção, valor nutritivo e concentração de energia (Neumann, 2009). Suas características incluem alto rendimento de massa verde por hectare, facilidade relativa de fermentação no silo, além de ser bem aceito por bovinos, promovendo bons ganhos de peso em sistemas de confinamento (Gomes et al., 2002).

De acordo com Deminiciis et al. (2009), a planta de milho é o material mais utilizado para ensilagem, devido à sua composição bromatológica, que atende aos requisitos básicos para a produção de uma boa silagem, como teor de matéria seca (MS) entre 30% e 35%, no mínimo 3% de carboidratos solúveis na matéria original, baixo poder tampão e boa fermentação microbiana. Dessa forma, os genótipos de milho para silagem devem atender determinados requisitos para garantir uma silagem de qualidade, como alta produtividade e elevados teores de carboidratos solúveis que favorecem o processo de fermentação (Lauers; Coors; Flannery, 2001).

Considerada uma fonte de energia prontamente fermentável e de fibra digestível, a silagem de milho é tradicionalmente utilizada na alimentação de ruminantes, sobretudo em dietas para vacas leiteiras de alta produção. Assim, a preservação da sua qualidade durante o processo de ensilagem é de grande interesse para os produtores de leite, a qual pode ser garantida por meio do controle da respiração da massa vegetal, da atividade proteolítica, da proliferação de microrganismos indesejados e do crescimento microbiano aeróbio (Muck, 1988).

Apesar das vantagens do milho para ensilagem, fatores como temperaturas elevadas, teores inadequados de MS no momento da colheita (muito altos ou muito baixos), além de limitações nas tecnologias de processamento pós-colheita e compactação, podem comprometer de forma significativa a qualidade da fermentação e o valor nutricional da silagem (Jiang et al., 2022).

De acordo com Domaćinović et al., (2022), a composição química da silagem é influenciada por alguns fatores como genótipo, práticas agrícolas e condições climáticas durante o desenvolvimento da cultura em campo. O momento da colheita

é crítico para sua qualidade, uma vez que, uma colheita precoce pode levar à perda excessiva de nutrientes e baixa concentração de amido, que reduz o valor energético. Já uma colheita tardia confere menor teor de proteína e maior quantidade de fibra bruta, o que compromete o valor nutricional da silagem (Phipps et al., 2000).

Além disso, estender o período de fermentação no silo e da exposição aeróbica durante a ensilagem ou alimentação pode resultar em maiores perdas de MS e nutrientes. Para minimizar essas limitações, diversos aditivos são empregados com o objetivo de regular o processo de fermentação. Esses aditivos atuam tanto promovendo fermentações desejáveis quanto prevenindo as indesejáveis, ocasionando menores perdas de matéria seca e maior estabilidade aeróbica da silagem (Muck et al., 2018).

De modo geral, a silagem de milho é o principal volumoso utilizado na suplementação de rebanhos leiteiros. Práticas simples, como a escolha correta do híbrido, o plantio no momento certo, a colheita com equipamentos bem regulados e a agilidade no carregamento e fechamento do silo, permitem que os produtores obtenham silagem de alta qualidade, que atendam às demandas nutricionais dos animais (D'Oliveira; Oliveira, 2014).

3.4 A Cultura do sorgo

O sorgo pertence à família botânica Poaceae e ao gênero *Sorghum*, sendo a espécie cultivada *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Trata-se de uma planta com aptidão forrageira, caracterizada pelo mecanismo fisiológico C4 e pelo fotoperíodo de dias curtos. Além disso, o sorgo é uma planta autógama, que pode apresentar uma fecundação cruzada em níveis que variam de 2% a 10% em condições normais (Paul, 1990; Andrade neto et al., 2010).

De origem africana, o sorgo espalhou-se para outras regiões através de rotas de comerciais, o que permitiu sua expansão para a China, Oriente Médio, Austrália, Estados Unidos e América Latina (Coelho, 2010). A expansão da área cultivada com a cultura do sorgo em nível mundial é justificada sobretudo às suas características agrônômicas, como sua tolerância ao estresse hídrico, ciclo curto e ao seu alto potencial de rendimento (Menezes et al., 2021).

Segundo Coelho et al. (2002), a cultura do sorgo é uma espécie adaptada a temperaturas extremas e condições de solos secos, o que demonstra sua rusticidade

diante de condições ambientais adversas. Essas características conferem à planta uma maior capacidade de resistência a períodos de estresse hídrico ou veranico em comparação a outras espécies comerciais.

No contexto zootécnico brasileiro, o sorgo é uma cultura que se destaca por ser uma gramínea energética de alta digestibilidade, com elevada produtividade e ampla adaptabilidade às diferentes condições edafoclimáticas do país. Além disso, é uma cultura que pode ser utilizada para diferentes finalidades, como para corte verde, pastejo, produção de silagem, rações animais e até mesmo para consumo humano (Silva et al., 2021).

No Brasil, o sorgo é cultivado de acordo com sua função, podendo ser classificado como granífero, forrageiro, de corte e pastejo, vassoura, sacarino ou biomassa e é destinado principalmente à formulação de ração animal. No entanto, seu uso como forrageiro e em produtos alimentícios vem se popularizando devido à crescente demanda por grãos especiais para a fabricação de produtos sem glúten. Nos últimos anos, a produção de bioenergia a partir dessa planta tem sido o foco de pesquisas desenvolvidas por setores públicos e privados (Albuquerque; Menezes; Freitas, 2021; Menezes et al., 2021).

3.4.1 Características agronômicas do sorgo

A eficácia no uso da forragem tem estreita relação ao entendimento dos mecanismos morfofisiológicos das plantas e de sua interação com o ambiente. O manejo populacional das plantas e da sua distribuição nas linhas de plantio busca estabelecer um arranjo populacional ideal, de forma a maximizar a utilização de recursos ambientais, como luz solar, água e nutrientes do solo (Rodrigues et al., 2018).

A cultura do sorgo possui características morfológicas que influenciam a sua sobrevivência e desenvolvimento em condições de campo (Magalhães et al., 2021). Sua estrutura é composta por um colmo ereto, sustentado por um eficiente sistema radicular, formado por raízes seminais e adventícias (Santos; Casela; Waquil, 2005).

No geral, o sorgo é uma cultura que apresenta um sistema radicular relativamente profundo. E essa característica lhe confere algumas vantagens em relação a outras plantas cultivadas, como uma maior exploração de solo, o que

permite uma maior tolerância ao déficit hídrico pela planta (Assefa; Staggenborg, 2011; Magalhães; Souza; Souza, 2021).

O desenvolvimento do sorgo ocorre em três distintos estágios de crescimento (EC). O EC1, em que a plântula se encontra bastante vulnerável a estresses abióticos, inicia com a germinação e finaliza com diferenciação da panícula. O EC2, tem início com a formação da panícula e segue até o florescimento. Nesta fase, o rendimento dos grãos é determinado pelo bom crescimento de área foliar, pela eficiência do sistema radicular e o acúmulo de matéria seca. A última etapa (EC3), tem início na floração e término na maturação fisiológica dos grãos (Magalhães; Durães; Rodrigues, 2009).

De modo geral, a produtividade de matéria seca das cultivares do sorgo está relacionada de forma positiva com a altura da planta e ao diâmetro do colmo. Dessa forma, cultivares com um maior porte, e maior diâmetro do colmo, são aquelas que apresentam um maior potencial produtivo (Albuquerque et al., 2013). No entanto, essas características agrônômicas, muitas vezes associadas à produtividade, são fortemente impactadas por fatores ambientais e pelas práticas de manejo, como a densidade de plantas, espaçamento entre linhas, adubação e época de semeadura (Emygdio et al., 2011).

Outras características produtivas do sorgo que merecem destaque são: capacidade de rebrota, perfilhamento e o elevado tempo de permanência no solo (Botelho, 2010). Esses fatores associados a maior rusticidade da planta, elevada produção de biomassa e grande eficiência energética, permitem o cultivo da cultura em diferentes épocas do ano e em regiões distintas, o que garante a perenidade da cultura em campo e a oferta de matéria-prima (Castro et al., 2015).

Nos últimos anos, variedades de sorgo foram desenvolvidas por meio de programas de melhoramento genético. Essas variedades, estáveis e de alto rendimento, foram originadas a partir de materiais de sorgo provenientes da África, China e Índia (Albuquerque; Menezes; Freitas, 2021), onde foram selecionados caracteres associados à insensibilidade ao fotoperíodo, tolerância à seca, resistência a pragas e doenças, além da redução da altura da planta, visando minimizar o acamamento (Reddy et al., 2006).

3.4.2 Silagem de sorgo

O sorgo é destacado entre as plantas forrageiras utilizadas na produção de silagem por suas características desejáveis ao processo, como o alto valor nutritivo, baixo poder tampão, elevada produção de matéria seca (MS) e alto teor de carboidratos solúveis (CHOs), fatores essenciais para assegurar uma ótima fermentação láctica para a obtenção de uma silagem de boa qualidade (McDonald et al., 1991; Machado et al., 2012).

No Brasil, a utilização do sorgo para a produção de silagem teve início com a introdução de variedades com porte mais alto e alta produção de massa verde. A princípio, a principal preocupação era a redução do custo da tonelada de matéria verde de silagem produzida, sem considerar a qualidade do material. No entanto, ao longo dos anos, os produtores passaram a exigir materiais que proporcionassem uma maior produção de nutrientes por unidade de área, visando não apenas atender aos aspectos quantitativos, mas também à qualidade da silagem produzida (Souza et al., 2003).

Diante disso, a variabilidade genética do sorgo contribuiu para o desenvolvimento de uma diversidade de híbridos e variedades, cada um apresentando características agrônômicas e valores nutritivos distintos. Isso teve como resultado, variações na produtividade e nos padrões de fermentação, possibilitando a produção de silagens com diferentes níveis de qualidade (Albuquerque et al., 2013).

3.5 Silagem de ração total

A silagem de ração total (SRT) pode ser caracterizada como uma dieta completa que inclui forragem fresca, fontes de proteína, grãos de cereais, vitaminas, minerais, subprodutos e aditivos, garantindo um suprimento nutricional equilibrado para diferentes categorias animais (Restelatto et al., 2019a). Uma das principais vantagens desse sistema alimentar é a praticidade no manejo, pois elimina a necessidade de incorporar o concentrado à silagem no momento do fornecimento aos animais, o que otimiza o tempo e reduz os custos operacionais (Retore et al., 2022).

Além de facilitar a alimentação dos rebanhos, a ensilagem de SRT melhora a conservação dos ingredientes e proporciona maior tempo de armazenamento (Xie et

al., 2022). Em termos de composição bromatológica, as SRT geralmente contêm entre 40 e 60% de matéria seca (MS), com níveis ótimos variando entre 50 e 55% de MS, intervalo no qual a fermentação é otimizada (Daniel; Jobim, 2022).

Durante o processo fermentativo, as bactérias ácido-láticas (BAL) convertem açúcares em ácidos orgânicos, principalmente ácido lático, reduzindo o pH da silagem, inibindo o crescimento de microrganismos indesejáveis e preservando a integridade dos nutrientes (Huang et al., 2022; Cheng et al., 2025). Dessa forma, a escolha correta dos componentes antes da ensilagem ajuda a reduzir efluentes e fermentações indesejáveis. Ingredientes ricos em açúcares solúveis e bactérias láticas homofermentativas favorecem a fermentação, enquanto aqueles que estimulam a heterofermentação aumentam a estabilidade aeróbica da silagem (Bueno et al., 2020).

A mistura homogênea dos ingredientes na SRT também impede a seleção dos componentes pelos animais, garantindo um consumo uniforme e uma dieta equilibrada, com uma proporção estável entre concentrado e volumoso. Outro benefício importante da SRT é a inclusão de subprodutos agrícolas e industriais, que juntamente com concentrados, contribui para uma alimentação balanceada durante todo o ano, além de melhorar a aceitabilidade, alterando odores e sabores por meio do processo fermentativo (Nishino; Harada; Sakaguchi, 2003).

Nos últimos anos, a pecuária tem demonstrado um interesse crescente na utilização SRT em diversos países, como China, Japão, Vietnã, Coreia do Sul, Indonésia, Tailândia, Israel, Nepal, África do Sul, Itália, Brasil e Argentina (Schmidt et al., 2017; Borreani et al., 2019). A ensilagem de SRT tem sido adotada como uma alternativa para minimizar as perdas de qualidade do material ensilado durante o transporte e o armazenamento prolongado (Yanti; Yayota, 2019). Além disso, sua comercialização é destacada como uma vantagem, sobretudo, quando armazenada em estruturas menores como fardos, sacos e bolsas, o que facilita o processo logístico e amplia as possibilidades de distribuição (Schingoethe et al., 2017; Bueno et al., 2020).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização do experimento

O experimento foi realizado em uma área pertencente ao Centro de Ciências de Chapadinha da Universidade Federal do Maranhão – UFMA/CCCh, na cidade de Chapadinha - Maranhão, Região do Baixo Parnaíba, situada a 03° 44' 33" S de latitude, 43° 21'21" W de longitude.

A região, segundo a classificação de Köppen (2013), possui um clima predominantemente do tipo Aw, caracterizado como tropical úmido, com duas estações bem definidas. As chuvas ocorrem principalmente no primeiro semestre do ano, com uma precipitação pluviométrica média de 1.670 mm. A temperatura média anual é de 26,9°C, com máximas que atingem 37°C e mínimas de 22°C (INMET, 2018).

4.2 Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi conduzido em um delineamento em blocos ao acaso (DBC), através de um arranjo fatorial 4 x 2 x 2, com 4 repetições e 16 tratamentos, o que resultou em um total de 16 unidades experimentais e 64 subunidades experimentais (Figura 1).

O primeiro fator do arranjo fatorial consistiu no uso do polímero retentor de umidade hidratado nos seguintes intervalos de hidratação: Cont. (controle, sem uso do polímero), H0 (hidratação no dia do plantio), H5 (hidratação a cada 5 dias) e H10 (hidratação a cada 10 dias). O segundo fator correspondeu à cultura utilizada, sendo milho (híbrido M274 – MORUMBI) e sorgo forrageiro (BRS Ponta Negra) e o terceiro fator foi o tipo de silagem, sem ou com a adição de concentrado em mistura (silagem convencional ou ração total).

As silagens de milho e de sorgo, seja na forma convencional ou em ração total, foram avaliadas quanto ao perfil fermentativo, perdas por efluentes e por gases, recuperação de matéria seca, composição química e estabilidade aeróbia.

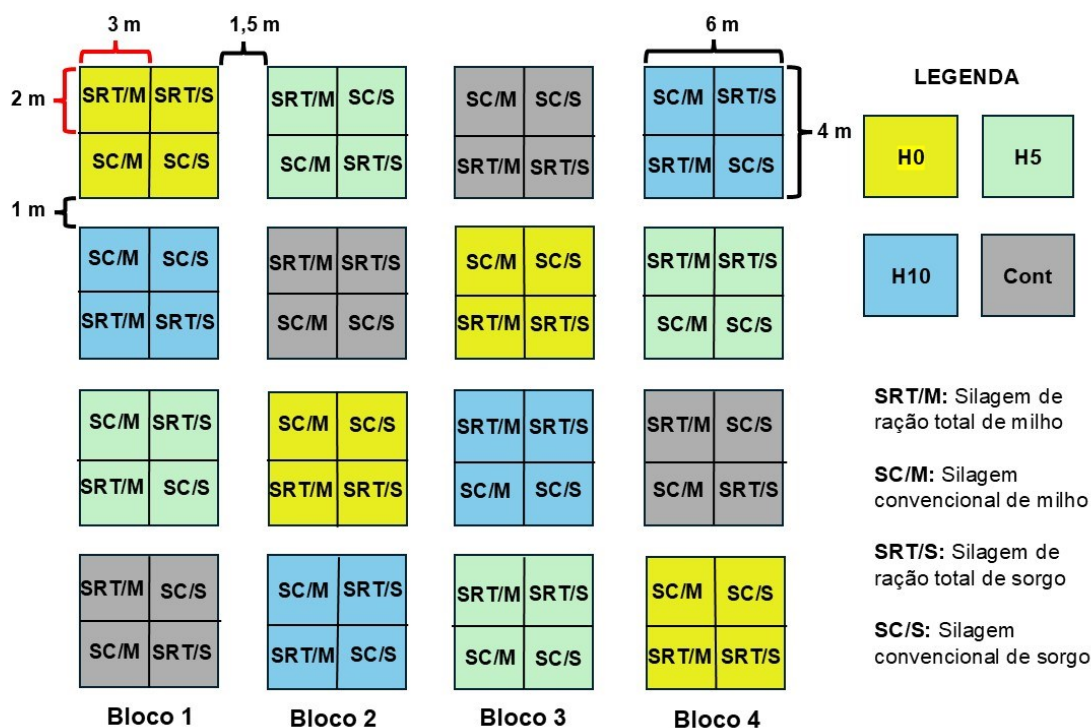


Figura 1. Croqui da área experimental com a distribuição dos tratamentos com os diferentes intervalos de hidratação com polímero retentor de umidade no solo, culturas e tipos de silagens.

4.3 Área experimental

A área total destinada ao experimento foi de 541,5 m², sendo dividida em 16 parcelas de 24 m² cada, as quais foram subdivididas em 4 subparcelas com área de 6 m² (Figura 2). O espaçamento entre linhas e entre covas foi de 0,5 m, com um espaçamento de 1 m entre parcelas e 1,5 m entre blocos. Cada parcela conteve 80 plantas, sendo 20 plantas por subparcela, totalizando 1.280 plantas em toda a área experimental.

A semeadura do milho e do sorgo foi realizada de forma manual, com a abertura das covas realizada com o auxílio de enxadas, a uma profundidade aproximadamente de 5 cm.

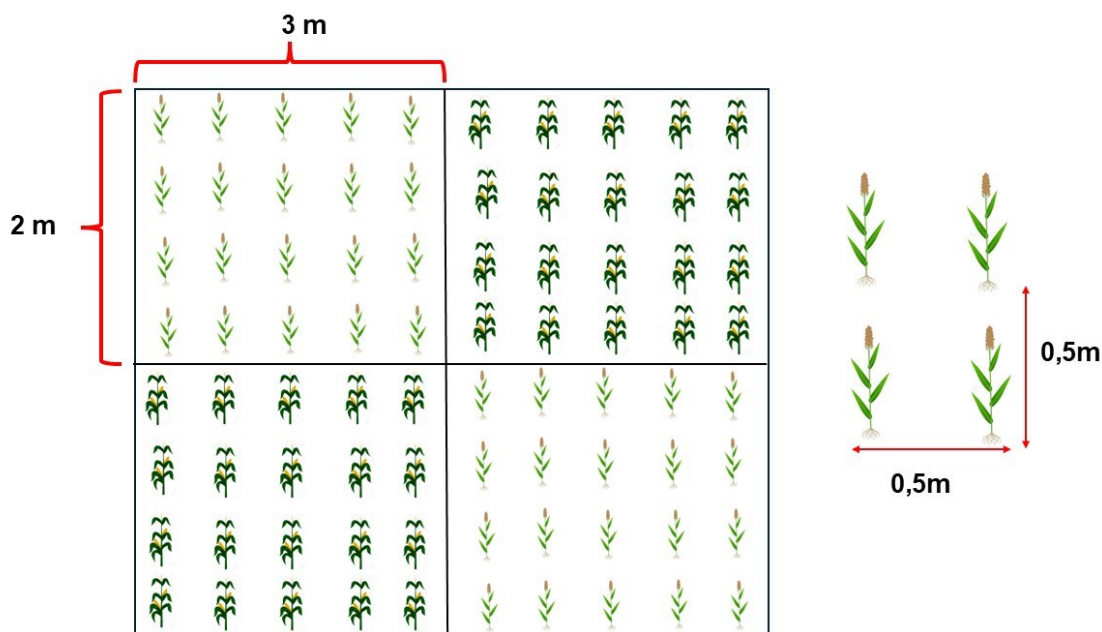


Figura 2. Representação esquemática da distribuição das plantas de milho e sorgo dentro da subparcela experimental.

4.4 Correção do solo e adubação

Para a realização da análise de solo, foram coletadas 10 amostras simples em um padrão em zigue-zague a uma profundidade de 0-20 cm. Para isso, amostras foram homogeneizadas em um recipiente, e, em seguida, retirada uma amostra composta de 300 g, a qual posteriormente foi enviada ao laboratório para verificação de suas características físicas e químicas.

Com base nos resultados da análise de solo (Tabela 1), foi realizada a calagem na quantidade de $1,4 \text{ t/ha}^{-1}$ utilizando um calcário dolomítico com o PRNT de 115,10% e obtidas as recomendações de adubação para os macronutrientes (NPK). A correção do solo foi realizada para elevar a saturação por bases a 60%, o que é indicado para as culturas de milho e sorgo (CFSEMG, 1999).

As adubações foram realizadas de forma manual e seguindo as recomendações do 5º Aproximação. Para a adubação de plantio utilizou-se a quantidade de 70 kg ha^{-1} para P_2O_5 . Para a adubação de cobertura foram utilizadas as quantidades de 150 kg ha^{-1} de N e 60 kg ha^{-1} de K_2O . Estas quantidades foram parceladas em duas aplicações, realizadas quando as plantas apresentaram seis e dez folhas, respectivamente.

Tabela 1. Características químicas da análise de solo.

pH	P	K ⁺	H ⁺ + AL ⁺³	AL ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	SB	CTC	V	MO
H ₂ O	__mg/dm ³ __			__cmolc/dm ³ __					%	g/kg
5,0	0,08	16,9	4,03	2,19	0,74	0,25	1,06	5,09	28,4	0,63

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

4.5 Aplicação do polímero retentor de umidade

As doses do polímero retentor de umidade foram pesadas em balança de precisão e incorporadas às sementes no momento do plantio. Para isso, foram utilizados 5g do produto por cova para todos os tratamentos, com exceção do tratamento controle, em que, para o H0, a hidratação ocorreu exclusivamente no dia do plantio, enquanto para os H5 e H10, a hidratação ocorreu a cada 5 e 10 dias, respectivamente.

Antes da semeadura, o polímero foi previamente hidratado com auxílio de uma caixa d'água de 1.000 litros, utilizando-se uma proporção de 1 litro de água para cada 5 g de polímero. A mistura foi homogeneizada até assumir a forma de gel, em seguida foi aplicado 1 litro do polímero hidratado por cova.

4.6 Preparo e ensilagem do milho, sorgo e das SRTs

Para o processo de ensilagem, as culturas de milho e o sorgo foram colhidas mediante corte a aproximadamente 20 cm de altura em relação ao solo. A colheita foi realizada quando os grãos das culturas apresentavam um estágio de maturação que variava entre o aspecto pastoso e farináceo.

A biomassa total do material *in natura* do milho e sorgo foi quantificada e expressa em kg/ha, conforme apresentado na Tabela 2. Os valores de biomassa total serviram como indicadores complementares na análise dos resultados das silagens produzidas, o que contribuiu também para a tomada de decisão em relação à recomendação do tipo de cultura a ser utilizada, considerando as diferentes condições avaliadas.

Tabela 2. Biomassa total (kg/ha) das culturas do milho e sorgo em função dos intervalos de hidratação com polímero retentor de umidade no solo.

Produção total de biomassa vegetal (kg/ha)				
Culturas	Controle	0 dias	5 dias	10 dias
Milho	8.158,51	14.235,75	18.356,62	16.025,62
Sorgo	19.513,8	22.644,9	26.673,3	22.650,6

Kg/ha: quilogramas por hectare; EPM = erro padrão da média.

Após a colheita, o material foi imediatamente processado em máquina picadeira estacionária acoplada ao trator, de forma que fossem obtidas partículas com tamanho médio de 2,0 cm. Na etapa seguinte, o material triturado foi misturado manualmente aos ingredientes do concentrado, e neste momento foram colhidas amostras da mistura *in natura* para avaliação da composição química das dietas.

As silagens de ração total foram formuladas considerando uma relação de 60:40 entre volumoso e concentrado. Nessa composição, 60% do total correspondeu ao volumoso (milho puro ou sorgo puro), enquanto os 40% restante foi composto por um concentrado constituído por milho moído, farelo de soja, ureia e sal mineralizado (Tabela 3). As silagens foram formuladas de forma a atender às exigências nutricionais de vacas leiteiras com peso corporal médio de 450 kg e produção média de leite de 15 litros/dia, de acordo com as recomendações estabelecidas pelo NRC (2001).

As misturas dos materiais foram condicionadas em silos experimentais com capacidade de 3,6 L (comprimento: 191,4 mm, altura: 156,5 mm e largura: 193,6 mm), o quais, foram adaptados com válvula tipo *Bunsen* para escape dos gases resultantes do processo de fermentação. No fundo de cada silo foi acrescentado 1 kg de areia seca, cuja camada foi coberta com tecido de algodão com o objetivo de evitar o contato da silagem com a areia. Ao final deste processo, os silos foram fechados, pesados e armazenados à temperatura ambiente em local coberto, seco e arejado até o momento de sua abertura.

Tabela 3 - Composição percentual dos ingredientes nas dietas experimentais de vacas de leite

Ingredientes (%)	Sorgo	SRT/S	Milho	SRT/M
Milho moído	0,0	19,5	0,0	19,5
Farelo de soja	0,0	19,0	0,0	19
Ureia	0,0	0,5	0,0	0,3
Sal mineral	0,0	1,0	0,0	1,2
Silagem de milho	0,0	0,0	100	60
Silagem de sorgo	100	60	0,0	0,0

SRT/S: Silagem de ração total de Sorgo; SRT/M: Silagem de ração total de Milho

Tabela 4. Composição química das dietas de vacas de leite.

Composição Química (%)	Sorgo	SRT/S	Milho	SRT/M
Matéria Seca	15,65	38,5	28,76	37,19
Proteína Bruta	6,12	15,17	6,61	13,76
FDN	53,89	44,8	46,47	36,14
FDA	28,63	20,15	30,1	21,84
Matéria Mineral	3,7	5,8	3,39	4,46

SRT/S: Silagem de ração total de Sorgo; SRT/M: Silagem de ração total de Milho; FDN: Fibra em Detergente Neutro; FDA: Fibra em Detergente Ácido.

4.7 Qualidade fermentativa

Após um período de 45 dias de armazenamento, os silos foram pesados e abertos para análise. A silagem resultante do processo fermentativo foi cuidadosamente removida de forma manual, homogeneizada e amostras foram coletadas para avaliação do perfil fermentativo e da composição bromatológica.

A determinação do pH foi realizada conforme descrito pela metodologia de Bolsen et al. (1992), na qual foram coletadas 25 g de amostras das silagens, adicionados 100 mL de água destilada, aguardado um período de 1 hora e, em seguida, efetuada a leitura do pH através de um potenciômetro.

A capacidade tampão (CT) foi determinada utilizando aproximadamente 15 g de amostra, que foram trituradas juntamente com 250 ml de água destilada em um liquidificador industrial. O material resultante foi então submetido a titulação com um potenciômetro. Primeiramente, foi titulado até pH 3,0 com HCl 0,1 N, de forma a promover a liberação de bicarbonatos na forma de dióxido de carbono. Posteriormente, foi realizada a titulação até pH 6,0 com NaOH 0,1 N, registrando-se o volume de NaOH utilizado na transição do pH 4,0 até o pH 6,0, conforme descrito por Playne e McDonald (1966).

A quantificação do nitrogênio amoniacal ($\text{N-NH}_3\%$) em relação ao nitrogênio total foi realizada utilizando 15 g de silagem fresca. A amostra foi triturada em liquidificador com 100 mL de solução de cloreto de potássio a 15% por 10 minutos. Após a filtração, foram coletados 10 mL do filtrado, que foram transferidos para um tubo digestor contendo 250 mg de óxido de magnésio calcinado. O material passou por destilação seguindo o método de Kjeldahl, e o teor de nitrogênio foi determinado, sendo o resultado expresso como porcentagem do nitrogênio total presente na silagem (Nogueira; Souza, 2005).

A determinação do teor de carboidratos solúveis em água (CHO's) foi realizada com base na metodologia de Dubois et al. (1956), com adaptações propostas por Corsato et al. (2008). Inicialmente, foi feita a diluição de 800 mL de água absoluta em 200 mL de água destilada. Em seguida, pesou-se 0,050 g da amostra e transferiu-se para um balão volumétrico de 50 mL, completando o volume com álcool etílico a 80%. O balão foi vedado com papel filme e aquecido em banho-maria a 80 °C por 30 minutos. Após o aquecimento, o conteúdo foi homogeneizado e filtrado usando TNT, e transferido para uma proveta de 100 mL, ajustando-se o volume até o limite. O extrato etanólico resultante foi armazenado em frasco com tampa para evitar volatilização. Para análise, alíquotas de 1 mL do extrato foram transferidas para tubos de ensaio com tampa rosqueável. A cada alíquota, adicionou-se 0,5 mL de solução de fenol a 5% e 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado. Os tubos foram homogeneizados em vórtex e deixados à temperatura ambiente para esfriar. Para quantificação dos carboidratos solúveis, foi construída uma curva padrão utilizando concentrações crescentes de glicose (0,0015; 0,0030; 0,0045; 0,0060; 0,0075; 0,0090; 0,0105 g/mL), e as leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 490 nm de absorbância.

4.8 Perdas e recuperação de matéria seca

As perdas por gases (PG), perdas por efluentes (PE) e a recuperação de matéria seca (RMS) foram quantificadas por diferenças de peso conforme as equações descritas por Jobim et al. (2007). As equações são baseadas na pesagem dos silos no fechamento e na abertura, em relação à massa de forragem armazenada.

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

Em que:

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

PSf = peso do silo na ensilagem;

PSa = peso do silo na abertura;

MFf = massa de forragem na ensilagem;

MSf = teor de MS da forragem na ensilagem;

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

Em que:

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

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

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

MVfe = Massa verde de forragem ensilada (kg);

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

Em que:

RMS = índice de recuperação de matéria seca;

MFab= massa de forragem na abertura;

MSab= teor de MS na abertura;

MFfe = massa de forragem no fechamento;

Msfe = teor de MS da forragem no fechamento.

4.9 Estabilidade aeróbia

O ensaio de estabilidade aeróbia foi avaliado por meio do monitoramento da temperatura interna das silagens expostas ao ar. Após a abertura dos silos, amostras de silagem com 1,5 kg, sem compactação, foram colocadas em silos limpos. Durante

o monitoramento, as temperaturas das silagens foram mensuradas a cada 10 minutos, mantendo a temperatura ambiente constante a 25 °C durante 120 horas.

As temperaturas das silagens foram medidas por sensores de temperatura encapsulados modelo DS18B20 (Maxim Integrated™, Califórnia, EUA), os quais possuem uma faixa de operação de -55 a 125 °C e precisão de $\pm 0,5$ °C. Esses sensores foram conectados a um microcontrolador ATmega2560 (Arduino® Mega 2560, Itália), programado para registrar as temperaturas a cada 10 minutos durante as 120 horas de monitoramento. Os sensores foram posicionados no centro da silagem, a uma profundidade de 10 cm na massa ensilada. O início da deterioração foi determinado quando a temperatura interna das silagens excedeu em 2°C a temperatura ambiente, conforme descrito por Taylor e Kung (2002).

4.10 Análises bromatológicas

Para a realização das análises químicas das silagens, foram coletadas amostras do material fresco no momento da ensilagem e após a abertura dos silos. As amostras passaram por pré-secagem de 72 horas em estufa de ventilação forçada a 65 °C, obtendo-se a amostra seca ao ar (ASA), que posteriormente foi moída em moinho de facas tipo Willey, com peneira de malha de 1 mm, para a determinação da composição química.

Para a determinação da matéria seca (MS), amostras de 2 g da ASA foram transferidas para pesa-filtros previamente secos, sendo submetidas à secagem em estufa a 105 °C por 16 horas (“overnight”), com os recipientes mantidos abertos. Após esse período, foram resfriadas em dessecador por 30 minutos e pesadas, obtendo-se a amostra seca em estufa (ASE). O teor de MS foi então calculado a partir da relação entre os valores de ASA e ASE, conforme metodologia descrita por Silva & Queiroz (2002).

Os teores de matéria mineral (MM), proteína bruta (PB) e extrato etéreo (EE) foram analisados conforme a metodologia da AOAC (2016), utilizando os seguintes métodos: a MM foi determinada pelo método 942,05, incinerando 2 g de amostra a 600 °C por 2 h, resfriando em dessecador e pesando os resíduos. Os resultados foram expressos em porcentagem da amostra original; a proteína bruta (PB), foi determinada pelo método 981,10 (método de Kjeldahl) em que as amostras foram digeridas em H₂SO₄, destiladas com NaOH e a amônia liberada foi titulada com HCl

0,1 N. O teor de N foi convertido em proteína bruta pelo fator 6,25, com resultados expressos em porcentagem da amostra original.

O extrato etéreo (EE) foi determinado pelo método 920,39, em que uma duplicata de amostra (2 g) de cada tipo de silagem foi pesada em balança de precisão de 0,0001g e seca em estufa a 100 °C por 5 h para remoção da umidade. Em seguida, um balão volumétrico foi previamente seco em estufa (100 °C/1 h), resfriado em dessecador e pesado. O balão volumétrico foi acoplado ao extrator de Soxhlet, contendo a amostra em cartucho e 40 ml de éter dietílico anidro. A extração foi conduzida por 6 h, sob condensação de 5 a 6 gotas/s. Após o processo, o éter foi removido por destilação e o resíduo final evaporado em capela de exaustão. O balão volumétrico foi novamente resfriado em dessecador (30 min) e pesado, sendo a diferença entre este valor e o peso do balão volumétrico vazio correspondente à fração lipídica extraída.

Os teores de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foram determinados nas amostras com o auxílio de autoclave, de acordo com as metodologias de Van Soest et al. (1991), adaptadas por Dettman et al. (2012), com adição de amilase termoestável. A fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteínas (FDNcp) foi obtida conforme especificações descritas por Mertens (2002) e Licitra et al. (1996).

O teor de hemicelulose (HEM) foi obtido pela diferença entre o teor de FDN e FDA. A lignina foi calculada de acordo com a metodologia descrita por Van Soest (1967). A celulose foi calculada por equações propostas por Sniffen et al. (1992). As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Produtos de Origem Animal (LAPOA), pertencente à UFMA-CCCh.

4.11 Análise estatística

No experimento foi utilizado o delineamento em blocos casualizados (DBC) em um esquema fatorial 4x 2 x 2, totalizando 16 tratamentos e 4 repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias dos tratamentos foram comparadas utilizando o teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises foram realizadas com o auxílio do software estatístico SAS (2004), utilizando o procedimento de modelos mistos (PROC MIXED). Os fatores foram considerados como efeitos fixos, enquanto as repetições experimentais foram tratadas como

efeitos aleatórios. As médias dos tratamentos foram estimadas por meio do procedimento LSMEANS. O modelo matemático que foi utilizado para as variáveis em relação à silagem é o seguinte:

$$Y_{ijkl} = \mu + BI + T_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + a_k + \varepsilon_{ijkl}$$

Onde:

Y_{ijkl} = variável dependente;

μ = média geral;

BI = efeito do bloco;

T_i = efeito fixo do intervalo de hidratação;

β_j = efeito fixo da cultura utilizada;

γ_k = efeito fixo do tipo de silagem;

$(\tau\beta\gamma)_{ijk}$ = interação entre intervalo de hidratação, cultura e tipo de silagem;

a_k = efeito aleatório das repetições;

ε_{ijkl} = erro experimental aleatório.

5 RESULTADOS

Verificou-se efeito de interação significativo entre os fatores PRU, cultura e tipo de silagem sobre a variável carboidratos solúveis (CHOs) ($P = 0,0233$). O desdobramento dessa interação pode ser observado na Tabela 6 e ilustrado graficamente na Figura 3.

Quanto aos efeitos isolados, observou-se efeito do PRU sobre o teor de $N-NH_3/NT$ ($P = 0,0186$), onde os tratamentos com 5 e 10 dias de hidratação apresentaram as menores médias (0,64 e 0,61%, respectivamente), diferindo estatisticamente do tratamento controle (1,06 %) que apresentou a maior média. Observou-se efeito da cultura para as variáveis pH ($P = 0,0459$) e CT ($P < 0,0001$), em que a silagem de sorgo apresentou menor pH (3,86) em comparação à de milho (3,97). Contudo, a silagem de sorgo apresentou maior CT (0,10 E. mgNaOH) em relação à de milho (0,05 E. mgNaOH) (Tabela 5).

Para o tipo de silagem, verificou-se efeito significativo para as variáveis pH ($P < 0,0001$), CT ($P < 0,0001$) e $N-NH_3/NT$ ($P < 0,0001$). As maiores médias para essas variáveis foram obtidas com a silagem constituída com mistura concentrada (SRT) (pH = 4,04; CT = 0,09; $N-NH_3/NT = 1,38$), em comparação à silagem convencional (SC), que apresentou pH = 3,79; CT = 0,07; e $N-NH_3/NT = 0,12$ (Tabela 5).

Efeito da interação do polímero retentor, cultura e tipo de silagem sobre o teor de CHOs

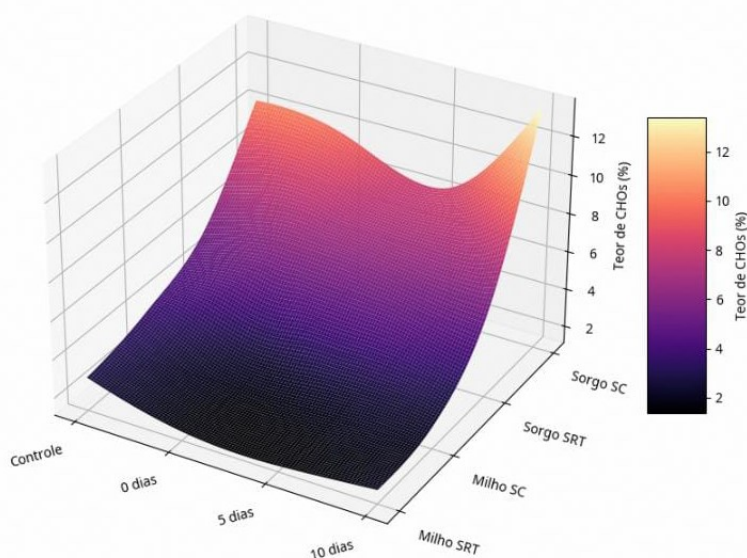


Figura 3: Gráfico de superfície de resposta para a variável carboidratos solúveis.

Tabela 5. Efeitos do polímero retentor de umidade, cultura e do tipo de silagem sobre o pH, Capacidade tampão (CT), nitrogênio amoniacal (N-NH₃/NT) e carboidratos solúveis (CHOs) das silagens de milho e sorgo.

Variáveis	pH	CT (E. mgNaOH)	N-NH ₃	CHOs
Efeito principal do polímero retentor de umidade				
Controle	3,9113	0,0856	1,0644 A	5,5319
0 dias	3,8881	0,0819	0,6856 AB	4,9081
5 dias	3,9200	0,0806	0,6363 B	4,4625
10 dias	3,9581	0,0750	0,6100 B	5,7619
EPM	0,0536	0,0033	0,1117	0,4089
Efeito principal da cultura				
Milho	3,9741 A	0,0566 B	0,7972	2,2938 B
Sorgo	3,8647 B	0,1050 A	0,7009	8,0384 A
EPM	0,0379	0,0024	0,0790	0,2891
Efeito principal do tipo de silagem				
SRT	4,0422 A	0,0888 A	1,3803 A	3,8097 B
SC	3,7966 B	0,0728 B	0,1178 B	6,5225 A
EPM	0,0379	0,0024	0,0790	0,2891
P-valor				
PRU	0,8284	0,1683	0,0186	0,1115
Cultura	0,0459	<0,0001	0,3928	<0,0001
Tipo de silagem	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
PRU x cultura x TP	0,9892	0,5413	0,6121	0,0233

pH: potencial de hidrogênio; CT: capacidade tampão; N-NH₃: nitrogênio amoniacal; CHOs: carboidratos solúveis em água; PRU: polímero retentor de umidade; TP: tipo de silagem; SRT: silagem de ração total; SC: silagem convencional; EPM = erro padrão da média. Médias seguidas de letras minúsculas diferem na linha e médias seguidas de letras maiúsculas diferem na coluna de acordo com o teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade.

Em relação ao desdobramento da interação entre os fatores PRU, cultura e tipo de silagem para os teores de CHOs, quanto ao fator tipo de silagem, observou-se diferença estatística para a variável nas silagens de sorgo em todos os intervalos de hidratação, com a combinação sorgo + SC resultando nas maiores médias nos tratamentos Controle, 5 dias e 10 dias (Tabela 6).

Comparando as culturas dentro de cada combinação PRU x Tipo de silagem, todos os valores observados de CHOs foram superiores para a cultura do sorgo, com uma variação de 5,27 a 13,65 em comparação ao milho que variou de 1,42 a 3,70.

Tabela 6 - Efeito da interação entre o polímero retentor de umidade, cultura e tipo de silagem sobre o teor de carboidratos solúveis (CHOs) das silagens de milho e sorgo

Variável	Carboidratos solúveis (CHOs)		
	Milho	Sorgo	P valor
Controle			
SRT	2,8650 b	5,3800 aB	0.0246
SC	3,7025 b	10,1800 aA	<0,0001
0 dias			
SRT	1,6000 b	6,2475 aA	0.0001
SC	2,2350 b	9,5500 aB	<0,0001
5 dias			
SRT	1,4275 b	5,8400 aB	0.0002
SC	2,4050 b	8,1775 aA	<0,0001
10 dias			
SRT	1,8425 b	5,2750 aB	0.0026
SC	2,2725 b	13,6575 aA	<0,0001
EPM	0,7682		
P valor			
	0.4442	<0,0001	
	0.5614	0.0037	
	0.3724	0.0361	
	0.6939	<0,0001	

SRT: silagem de ração total; SC: silagem convencional; EPM = erro padrão da média. Médias seguidas de letras minúsculas diferem na linha e médias seguidas de letras maiúsculas diferem na coluna de acordo com o teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade.

Verificou-se efeito significativo do PRU para a variável PE ($P = 0,0347$), em que o intervalo de hidratação de 10 dias apresentou a menor perda (6,21 kg/ton), diferindo estatisticamente do controle (10,32 kg/ton) e não diferindo com os intervalos de 0 e 5 dias (Tabela 7).

Também foi observado efeito da cultura para PE ($P = 0,0002$), PG ($P < 0,0001$) e RMS ($P < 0,0001$), em que a silagem de milho apresentou menor PE (5,57 kg/ton), porém maior PG (36,66 %MS) e maior RMS (92,33 %MS) em comparação à silagem de sorgo (PE: 9,89 kg/ton; PG: 16,01 %MS; RMS: 83,43 %MS) (Tabela 7).

Para o tipo de silagem, houve efeito significativo para PE ($P < 0,0001$), PG ($P = 0,0176$) e RMS ($P = 0,0017$). A silagem convencional (SC) apresentou maiores PE (11,51 kg/ton) e PG (30,27 %MS), e menor RMS (85,81 %MS) em comparação à

silagem de ração total (SRT) (PE: 3,96 kg/ton; PG: 22,40 %MS; RMS: 89,96 %MS) (Tabela 7).

Tabela 7. Efeitos do polímero retentor de umidade, cultura e do tipo de silagem sobre as perdas por efluentes (PE), perdas por gases (PG) e recuperação de matéria seca (RMS) das silagens de milho e sorgo.

Variáveis	PE (kg/ton)	PG (%MS)	RMS (%MS)
Efeito principal do polímero retentor de umidade			
Controle	10,3250 A	21,2818	88,9018
0 dias	7,9531 AB	28,7231	87,5431
5 dias	6,4600 AB	28,9450	88,0612
10 dias	6,2131 B	26,4068	87,0506
EPM	1,0753	3,2190	1,2572
Efeito principal da cultura			
Milho	5,5765 B	36,6650 A	92,3396 A
Sorgo	9,8990 A	16,0134 B	83,4387 B
EPM	0,7604	2,2762	0,8890
Efeito principal do tipo de silagem			
SRT	3,96446 B	22,4003 B	89,9603 A
SC	11,5109 A	30,2781 A	85,8181 B
EPM	0,7604	2,2762	0,8890
P-valor			
PRU	0,0347	0,3097	0,7563
Cultura	0,0002	<0,0001	<0,0001
Tipo de silagem	<0,0001	0,0176	0,0017
PRU x cultura x TP	0,9672	0,7985	0,3097

PE: perdas por efluentes; PG: perdas por gases; RMS: recuperação de matéria seca; PRU: polímero retentor de umidade; TP: tipo de silagem; SRT: silagem de ração total; SC: silagem convencional; EPM = erro padrão da média. Médias seguidas de letras minúsculas diferem na linha e médias seguidas de letras maiúsculas diferem na coluna de acordo com o teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade.

Houve efeito do PRU para a variável MM ($P = 0,0131$), com os intervalos de 5 e 10 dias de hidratação apresentando os menores teores (4,03% e 3,94%, respectivamente), diferindo-se do controle (5,07%). Observou-se efeito da cultura para EE ($P < 0,0001$) e FDN ($P < 0,0001$). A silagem de sorgo apresentou maior teor de EE (7,41%) e FDN (52,81%) em relação à de milho (EE: 5,51%; FDN: 41,31%) (Tabela 8).

Verificou-se efeito do tipo de silagem para todas as variáveis bromatológicas analisadas ($P < 0,05$). A SRT apresentou maiores teores de MS (38,34%), MM (5,01%) e PB (13,96%), e menores teores de EE (5,35%), FDN (43,04%) e FDA (21,00%) em comparação à SC (MS: 27,91%; MM: 3,79%; PB: 6,59%; EE: 7,57%; FDN: 51,08%; FDA: 28,89%) (Tabela 8).

Tabela 8. Composição química em silagens de milho e sorgo, convencional ou total, sob diferentes intervalos de hidratação com polímero retentor de umidade no solo

Variáveis (g/kg MS)	MS	MM	PB	EE	FDN	FDA
Efeito principal do polímero retentor de umidade						
Controle	329,263	50,725 A	119,788	70,644	485,663	244,138
0 dias	321,790	45,600 AB	98,313	60,494	474,050	249,700
5 dias	340,306	40,300 B	94,544	60,800	446,975	251,725
10 dias	333,756	39,425 B	98,488	66,556	475,794	252,281
EPM	0,7895	0,2647	0,7347	0,3581	2,4215	0,6713
Efeito principal da cultura						
Milho	327,681	42,306	101,019	55,128 B	413,125 B	255,331
Sorgo	334,878	45,719	104,547	74,119 A	528,116 A	243,591
EPM	0,5582	0,1872	0,5195	0,2532	1,7123	0,4747
Efeito principal do tipo de silagem						
SRT	383,397 A	50,078 A	139,64 A	53,509 B	430,403 B	210,009 B
SC	279,163 B	37,947 B	65,922 B	75,738 A	510,838 A	288,913 A
EPM	0,5582	0,1872	0,5195	0,2532	1,7123	0,4747
P-valor						
PRU	0,4128	0,0131	0,0738	0,1466	0,7055	0,8205
Cultura	0,366	0,2027	0,633	<0,0001	<0,0001	0,0859
Tipo de silagem	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0016	<0,0001
PRU x cultura x TP	0,8030	0,9978	0,1613	0,0704	0,2793	0,9423

MS: matéria seca; MM: matéria mineral; PB: proteína bruta; EE: extrato etéreo; FDN: fibra em detergente neutro; FDA: fibra em detergente ácido; PRU: polímero retentor de umidade; TP: tipo de silagem; SRT: silagem de ração total; SC: silagem convencional; EPM = erro padrão da média. Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem de acordo com o teste Tukey no nível de 5% de probabilidade.

O ensaio de EA mostrou diferenças entre as silagens de milho e de sorgo, tanto na SC quanto na SRT, em função dos intervalos de hidratação com PRU. A SC de milho conferiu baixa EA, deteriorando após cerca de 20 horas de exposição ao ar nos tratamentos de 0, 5 e 10 dias, e após 40 horas no tratamento controle, quando as temperaturas internas atingiram valor próximo de 27°C (Figura 4A). Já a SRT de milho mostrou-se mais estável, com quebra da EA ocorrendo após 50 horas de contato com o ar nos tratamentos controle e 5 dias, sendo o intervalo de 10 dias de hidratação o que conferiu maior estabilidade, com o início da deterioração observado após 60 horas (Figura 4B).

As silagens de sorgo apresentaram-se mais estáveis que às de milho, com comportamento semelhante entre SC e SRT. Os tratamentos controle, 5 e 10 dias de hidratação mantiveram estabilidade por até 80 horas de exposição ao ar, enquanto o tratamento de 0 dias apresentou deterioração após 60 horas. A SRT de sorgo apresentou leve vantagem em relação à SC, ultrapassando a temperatura ambiente (25 °C) mais tardiamente, por volta de 70 horas, em comparação às 50 horas observadas na SC (Figura 4C e 4D).

Estabilidade Aeróbica de Silagens de Milho e Sorgo

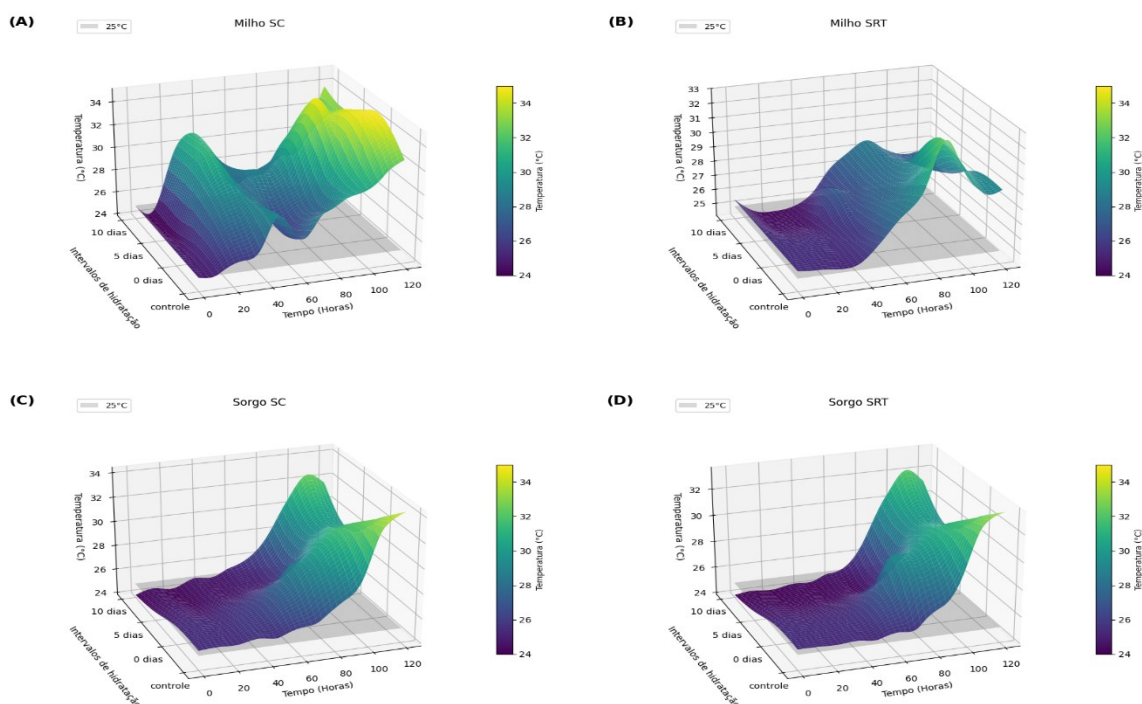


Figura 4: Gráfico de superfície de resposta para a variável estabilidade aeróbica para SCs de milho e sorgo (A e C) e SRTs de milho e sorgo (B e D).

6 DISCUSSÃO

Os valores de pH observados nas silagens analisadas (Tabela 4) encontram-se dentro da faixa de 3,70 a 4,20, considerada ideal para a ocorrência da fermentação de silagens convencionais (França et al., 2011). No caso de SRT com elevado teor de matéria seca, o pH normalmente se situa entre 4,00 e 5,00, intervalo condizente com o valor obtido neste estudo (4,04) (Restelatto et al., 2019b).

Considerando o efeito da cultura para a variável pH, o menor valor observado com uso do sorgo pode estar associado ao seu maior teor de CHOs (Tabela 5). De acordo com Tomich et al. (2003), os teores de CHOs são de grande importância no processo de ensilagem, pois contribuem para a produção de ácidos orgânicos, sobretudo ácido láctico, promovendo a redução do pH do material ensilado.

O sorgo apresenta boa adaptação a condições de déficit hídrico, em parte devido ao acúmulo natural de açúcares solúveis nos colmos, que representa uma grande fração da massa total da planta. Esses açúcares (sacarose, glicose, frutose e amido) atuam como reservas energéticas que contribuem para a manutenção da atividade fotossintética, da transpiração e da produção de massa vegetativa e de grãos, garantindo substratos fermentescíveis mesmo no período seco (Calviño e Messing, 2012; Ogbaga et al., 2014). A resiliência da cultura do sorgo à seca pode também explicar a elevada produção de biomassa total, superior à do milho, mesmo no tratamento controle com PRU (Tabela 4).

Em relação ao efeito do tipo de silagem, o maior valor observado do pH na SRT pode estar associado ao seu maior teor de MS, em torno de 38,3% em relação ao SC (27,9%) (Tabela 7), o que pode ter dificultado a rápida acidificação da massa ensilada. Segundo Faria (1986), teores de MS entre 30 e 35% são mais indicados para uma boa fermentação, e podem variar quando são utilizadas diferentes espécies forrageiras. De modo geral, os dois tipos de silagem apresentaram pH dentro da faixa ideal, o que pode indicar que o processo fermentativo ocorreu de forma favorável em ambos os casos.

No que se refere à CT, e considerando o efeito isolado da cultura, observou-se maior valor médio para o sorgo em comparação ao milho (Tabela 5). A CT é um fator que corresponde a intensidade com que a forragem resiste a variação de pH no processo de ensilagem. No geral, quanto maior for a CT do material a ser ensilado,

maior deverá ser a quantidade de ácidos a serem adicionados para que ocasionem queda do pH da silagem (Zopollatto, 2020).

A CT das forrageiras é determinada por fatores químicos intrínsecos à planta, incluindo teores de cátions, ácidos orgânicos (cítrico, malônico e málico), nitratos, fosfatos, sulfatos, cloretos, proteína bruta e minerais, os quais atuam na neutralização dos ácidos gerados durante a fermentação, mitigando a queda do pH. Além disso, condições edafoclimáticas associadas ao desenvolvimento vegetal podem promover alterações na composição bioquímica da planta, influenciando sua CT. A fertilidade do solo exemplifica esse efeito, uma vez que solos mais férteis podem favorecer a absorção de nutrientes, que, posteriormente, podem ser transformados no metabolismo vegetal em compostos tamponantes (Playne e McDonald, 1966; Jobim et al., 2007; Wang et al., 2019).

Os resultados obtidos neste estudo indicam que, embora o sorgo, devido à sua maior CT, tenda a resistir à queda de pH durante a ensilagem, o menor valor observado (3,86) pode ser atribuído sobretudo pelo alto teor de CHOs acumulados na planta. Ademais, a rusticidade da planta do sorgo e sua capacidade de adaptação a condições adversas podem ter contribuído para uma absorção mais eficiente de nutrientes, o que também contribui para justificar sua superior CT em comparação ao milho.

Quanto ao efeito isolado do tipo de silagem relacionada a CT, observou-se que a SC proporcionou o menor valor médio de 0,07 E. mgNaOH, em comparação a SRT (0,08 E. mgNaOH). Esses resultados sugerem que os maiores teores de proteína bruta (PB) e de minerais presentes na SRT podem ter contribuído para o maior valor de CT observado (Tabela 5).

Para a variável $N-NH_3/NT$, houve efeito do PRU com as menores médias obtidas nos intervalos de hidratação de 5 e 10 dias (0,63 e 0,61%, respectivamente). Além disso, também foi observado efeito do tipo de silagem, em que o uso de SRT proporcionou a maior média em comparação a SC, fato este que pode ter sido influenciado pela adição de ureia na sua composição (tabela 4). Em linhas gerais, os valores médios de $N-NH_3/NT$ das silagens obtidos ficaram abaixo de 10%, teor máximo admitido para silagens de boa qualidade (AFRC, 1987).

As menores PE foram observadas com o intervalo de hidratação de 10 dias, com a utilização de milho e com o uso da SRT, conforme demonstrado na Tabela 7. No processo de ensilagem, a produção de efluentes é influenciada por alguns fatores, como a correlação entre os teores de MS e umidade do material ensilado (França et al., 2014). Segundo McDonald et al. (1991), teores de MS superiores a 25% são recomendados para reduzir as perdas por efluentes durante a ensilagem. Nesse contexto, os maiores teores de MS verificados na SRT, em função da inclusão de concentrados em mistura, podem justificar as menores PE associadas a esse tipo de silagem.

A redução das PE das silagens com a aplicação de PRU pode ser atribuída à mitigação do estresse hídrico durante o desenvolvimento das plantas, favorecendo o enchimento de grãos por meio da maior translocação de fotoassimilados e resultando em incremento do teor de MS do material destinado à ensilagem. Culturas como milho e sorgo apresentam menores rendimentos quando o estresse hídrico ocorre na fase reprodutiva, sobretudo no enchimento de grãos, período em que o déficit hídrico compromete o metabolismo vegetal, promove o fechamento estomático e reduz a fotossíntese, com menor produção e translocação de fotoassimilados para os grãos (Lima et al., 2011; Cruz et al., 2010). Nesse contexto, a aplicação de PRU mostrou-se eficaz, refletindo na menor PE observada com 10 dias de hidratação.

Em relação às PG, observou-se que os menores valores ocorreram com a utilização de sorgo e da SRT (Tabela 7). As PG estão associadas ao tipo de fermentação que ocorre no interior do silo, onde, sob condições anaeróbicas, microrganismos convertem açúcares solúveis em CO₂ (Zimmer, 1980). A maior PG observada com o uso da SC em comparação a SRT provavelmente se deve à maior atividade de microrganismos indesejáveis produtores de gases como enterobactérias, clostridium e leveduras (Muck et al., 2018).

Quanto à RMS, observaram-se efeitos isolados relacionados a cultura e do tipo de silagem, em que os tratamentos com milho e SRT apresentaram as maiores médias quando comparado ao sorgo e à silagem convencional (SC), respectivamente (Tabela 7), com valores variando entre 83,43% e 92,33%. Segundo Machado et al. (2012), valores de recuperação da MS entre 80% e 99% são considerados aceitáveis, uma vez que recuperações inferiores a 80% indicam perdas

significativas, associadas a fermentações indesejáveis, com a produção de calor dentro do silo, CO₂ e de ácidos orgânicos, como o butírico.

Para a MM, observou-se efeitos isolados do PRU e do tipo de silagem ($p>0,05$) (tabela 8). Os valores obtidos com os tratamentos variaram entre 3,79 e 5,07 % MS, sendo os menores valores observados com a utilização de 10 dias de hidratação com PRU e com uso de SC. A MM, ou cinzas, indica a quantidade de minerais e nutrientes presentes no material, sendo considerado ideal um valor superior a 3%, valor condizente aos encontrados neste estudo (Cardoso; Oliveira; Ferreira, 2011, p. 290).

O teor de PB foi maior na SRT em comparação à SC (Tabela 8). Esse aumento pode ser atribuído à adição de fontes proteicas, como o farelo de soja, no momento da ensilagem. Estudos como o de Sá et al. (2023) também observaram comportamento semelhante nos teores de PB, devido ao incremento de concentrados na mistura durante o processo de ensilagem do milho.

Com base nos efeitos isolados da cultura e do tipo de silagem (Tabela 8), os menores valores de EE foram observados na silagem de milho (5,51%) e na SRT (5,35%), enquanto os maiores foram verificados na silagem de sorgo e SC (7,41% e 7,57%, respectivamente). Apesar das variações, todos os valores encontrados permaneceram abaixo de 8% que é recomendado para a dieta de ruminantes. De acordo com Van Soest (1994), teores superiores a esse valor, principalmente quando provenientes de ácidos graxos insaturados não-protégidos da fermentação ruminal, podem comprometer a digestibilidade da fibra, e consequentemente afetar a eficiência da dieta.

Para FDN, foram observados efeitos isolados da cultura e do tipo de silagem, com as menores médias sendo obtidas com uso do milho (41,31%) e da SRT (43,0%). O teor de FDN na silagem afeta o seu consumo, já que existe uma correlação inversa entre esta fração fibrosa com a ingestão de MS pelos animais (Souza et al., 2000; Zanine et al., 2006). Os valores de FDN obtidos com milho e SRT neste estudo ficaram abaixo de 50%, o que é considerado desejável para silagem, conforme Cruz et al. (2001). Em contrapartida, os valores encontrados com o uso do sorgo (52,82%) e da SC (51,08%) ultrapassaram ligeiramente o limite recomendado pelos autores.

Quanto a variável FDA, observou-se efeito somente para o tipo de silagem, em que o uso da SRT proporcionou um menor valor em comparação ao SC (21,00% e 28,89%, respectivamente). A FDA é inversamente relacionada à digestibilidade da MS. Dessa forma, valores menores de FDA indicam uma silagem com maior digestibilidade, já que essa fração está associada ao grau de lignificação da parede celular (Morais et al., 2008). De modo geral, as silagens apresentaram bons teores de FDA, ficando abaixo de 30% (Cruz et al., 2021).

A diferença na EA entre as silagens de milho e sorgo está ligada ao perfil de fermentação de cada cultura. A SC de Milho apresentou a EA mais baixa (Figura 4A) devido à sua fermentação predominantemente homofermentativa, que resulta em uma maior produção de ácido láctico, que embora seja um conservante anaeróbico, pode ser rapidamente consumido por leveduras na presença de oxigênio, levando à elevação do pH e da temperatura. As silagens de sorgo (SC e SRT) por sua vez, apresentaram melhor EA (Figura 4C e 4D) devido à sua tendência natural de fermentação heterofermentativa, que resulta em maior produção de ácido acético, que atua como um inibidor de leveduras e fungos, os principais agentes da deterioração aeróbica (McDonald, et al. (1991).

A redução do tempo de EA está relacionada ao desenvolvimento de microrganismos oportunistas, que promovem fermentações secundárias e deterioram o material. Estudos indicam que silagens bem preservadas e de maior qualidade nutricional apresentam maior suscetibilidade à deterioração aeróbia, iniciada pela entrada de oxigênio no silo, favorecendo o crescimento de microrganismos aeróbios facultativos, com aumento da temperatura e perdas de nutrientes (Nishino et al., 2003). A rápida quebra da EA observada na SC de milho foi atenuada na SRT em função da elevação do teor de MS (Figura 4B) que reduziu a atividade de água e inibiu o crescimento microbiano (Castro et al., 2006).

7 CONCLUSÃO

O sorgo apresentou melhor desempenho na ensilagem por sua maior estabilidade aeróbica e produção de biomassa, sendo mais eficiente para o período seco. Embora o milho tenha menor perda de matéria seca, sua baixa estabilidade aeróbica causa deterioração mais rápida, reduzindo o aproveitamento pelos animais. Assim, a estabilidade aeróbica é o principal fator de decisão para este estudo, recomendando-se o uso do sorgo com dez dias de hidratação e silagem de ração total, que corrige limitações de FDN e melhora o valor nutritivo da dieta.

REFERÊNCIAS

ABD EL-REHIM H. A.; HEGAZY, E. S. A.; ABD ELMOHDY H. L. Radiation synthesis of hydrogels to enhance sandy soils water retention and increase plant performance. **J. Appl. Polym. Sci.**, [s. l.], v. 93, n. 3, p. 1360-1371, 2004.

ABDALLAH, A. M. The effect of hydrogel particle size on water retention properties and availability under water stress. **Int. S. and Wat. Cons. Res**, [s. l.], v. 7, n. 3, p. 275-285, 2019.

AFRC. Technical committee on responses to nutrients. Report 2. Characterization of feedstuffs. **Nutr. Abstr. Rev.**, [s. l.], v. 57, p. 713-736, 1987.

AHMED S. S.; FAHMY A. H. Applications of natural polysaccharide polymers to overcome water scarcity on the yield and quality of tomato fruits. **Jou. of S. Sci. and Agri. Eng**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 199–208, 2019.

ALBUQUERQUE, C. J. B.; JARDIM, R. R.; ALVES, D. D.; GUIMARÃES, A. S.; PORTO, E. M. V. Características agronômicas e bromatológicas dos componentes vegetativos de genótipos de sorgo forrageiro em Minas Gerais. **Rev. Bras. de M. e S**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 164-182, 2013.

ALBUQUERQUE, C. J. B.; MENEZES, C. B. de; FREITAS, R. S. de. Origem, evolução e domesticação do sorgo. In: MENEZES, C. B. de (ed.). **Melhoramento genético de sorgo**, Brasília, DF: Embrapa. p. 59-80, 2021.

ALVES, H. K. M. N.; JARDIM, A. M. R. F.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; SOUZA, C. A. A.; LEITE, R. M. C.; SILVA, G. I. N.; SOUZA, L. S. B.; SILVA, T. G. F. Uma abordagem sobre práticas agrícolas resilientes para maximização sustentável dos sistemas de produção no Semiárido brasileiro. **Rev. Bras. de Geo. Fís**, Recife, v. 5, n. 1, p. 379-392, 2022.

ANDRADE NETO, R. C.; MIRANDA, N. O.; DUDA, G. P.; GÓES, G. B.; LIMA, A. S. Crescimento e produtividade do sorgo forrageiro BR 601 sob adubação verde. **Rev. Bras. de Eng. Agrí. e Amb**, [s. l.], v. 14, n. 2, p. 124–130, jan., 2010.

AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis**. 20. ed. [S. l.]: AOAC International, 2016.

ARAÚJO, S. A. C.; VASQUEZ, H. M.; CAMPOSTRINI E.; NETTO A. T.; DEMINICIS B. B.; LIMA É. S. Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.), em estresse hídrico. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 1-7, 2010.

ARGENTA, G., SILVA, P. R. F. D., BORTOLINI, C. G., FORSTHOFER, E. L., MANJABOSCO, E. A., & BEHEREGARAY NETO, V. Resposta de híbridos simples de milho à redução do espaçamento entre linhas. **Pesq. Agrop. Bras**, [s. l.], v. 36, n. 1, p. 71-78, 2001.

ASSEFA, Y.; STAGGENBORG, S. A. Phenotypic changes in grain sorghum over the last five decades. **Jou. of Agron. and C. Sci.**, [s. l.], v. 197, n. 4, p. 249-257, 2011.

AZEVEDO, L. P. D.; SAAD, J. C. C. Irrigação de pastagens via pivô central, na bovinocultura de corte. **Rev. Irrig.**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 492-503, 2009.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater-RS: Ascar, 2014.

BERNARDI, M. R.; SPEROTTO, M.; DANIEL, O. Jr.; VITORINO, A. C. T. Growth of seedlings of *Corymbia citriodora* due to the use of hydrogel and fertilization. **Cern**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 67-74, 2012.

BERNARDI, N. D. C.; UHDE, L. T.; SCHIAVO, J.; PAULA, P. S.; FERREIRA, M. T.; DALA-ROSA, R. A. C. Evolução dos atributos do solo em diferentes sucessões culturais com cultivo de milho. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 28., 2020, Ijuí, RS. **Anais** [...]. Ijuí: Ed. UNIJUÍ, 2020.

BOLSEN, K. K.; LIN, C.; BRENT, B. E. et al. Effect of silage additives on the microbial succession and fermentation process of alfalfa and corn silages. **Jou. of Dai. Sci.**, [s. l.], v. 75, n. 11, p. 3066-3083, 1992.

BORREANI, G.; FERRERO, F.; TABACCO, E. Baled silage management. In: NUSSIO, L. G.; DA SILVA, E. B.; OLIVEIRA, K. S.; GRITTI, V. C.; SALVO, P. A. R.; SALVATI, G. G. S.; SOUSA, D. O. (ed.). *In: 6th International Symposium on Forage Quality and Conservation, 2019, Piracicaba*. **Anais** [...]. Piracicaba: ESALQ, 2019. p. 219-246.

BOTELHO, P. R. F.; PIRES, D. A. A.; SALES, E. C. J.; JÚNIOR, V. R. R.; JAYME, D. G.; REIS, S. T. Avaliação de genótipos de sorgo em primeiro corte e rebrota para produção de silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Montes Claro, v. 9, n.3, p. 287-297, 2010.

BUENO AVI, L. G.; JOBIM C. C.; DANIEL, J. L. P. Ensiling total mixed ration for ruminants: a review. **Agron**, [s. l.], v. 10, n. 6, p. 879, 2020.

BUENO, J. I.; PRADO, G.; TINOS, A. C.; BRUSCAGIN, R. R.; VOLPATO, G. R. Produção sazonal de duas espécies forrageiras irrigadas. **Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 2, p. 289-302, abr./jun. 2019.

CALVIÑO, M.; MESSING, J. Sweet sorghum as a model system for bioenergy crops. **Current Opinion in Biotechnology**, [s. l.], v. 23, n. 3, p. 323-329, 2012.

CAO, Y. CAI Y.; HIRAKUBO, T.; FUKUI, H.; MATSUYAMA, H. Fermentation characteristics and microorganism composition of total mixed ration silage with local food by-products in different seasons. **Anim Sci J.** [s. l.], v. 82, n. 2, p. 259-266, 2011.

CARDOSO, D. A. D. B.; OLIVEIRA, J. S.; FERREIRA, J. J. Produção e uso de silagem. In: CRUZ, J. C.; MAGALHÃES, P. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; MOREIRA, J.

A. A. (ed.). **Milho: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. p. 279-296.

CASTRO, F. G. F.; NUSSIO, L. G.; HADDAD, C. M.; CAMPOS, F. P.; COELHO, R. M.; MARI, L. J.; TOLEDO, P. A. Perfil microbiológico, parâmetros físicos e estabilidade aeróbia de silagens de capim-tifton 85 (*Cynodon sp.*) confeccionadas com distintas concentrações de matéria seca e aplicação de aditivos. **Rev. Bras. de Zoot.** 35(2), 488–497, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000200005>

CASTRO, G. F.; BORGES, I. D.; FRANCO, A. A. N.; KONDO, M. K.; LARA, J. P.; MOREIRA, S. G. Marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na rebrota de dois híbridos de sorgo. In: XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2015, Natal. O solo e suas múltiplas funções: **Anais [...]**. Natal: Centro de Convenções Natal/PIN, p. 1-102, 2015.

CAVALCANTI, A. C.; SALIBA, E. O. S.; GONÇALVES, L. C.; RODRIGUEZ, N.; BORGES, I.; BORGES, A. L. C. C. Consumo e digestibilidade aparente do feno de *Andropogon gayanus* colhido em três idades diferentes. **Ciê. Ani. Bras.**, [s. l.], v. 17, n. 4, 2016.

CHEN, D.; WANG, S.; XIONG, B.; CAO, B.; DENG, X. Carbon/nitrogen imbalance associated with drought-induced leaf senescence in sorghum bicolor. **PLoS One**, [s. l.], v. 10, n. 8, e0137026, 2015.

CHENG, Y.; WU, Z.; BI, K.; WANG, X.; YU, H.; TIAN, P. Impacto da inoculação de várias bactérias lácticas nos níveis de vitamina A em silagem de ração mista total. **Sci Rep**, [s. l.], v. 15, n. 7343, 2025.

COELHO, A. M. **A implantação da cultura do sorgo**. Sistema de Produção, 2 (6a ed.). Embrapa Milho e Sorgo, 2010.

COELHO, A. M.; WAQUIL, J. M.; KARAM, D.; CASELA, C. R.; RIBAS, P. M. **Seja doutor do seu sorgo**. Piracicaba: Potafós, 2002.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 11, safra 2023/24, n. 12 décimo segundo levantamento, setembro 2024.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Editado por Antonio Carlos Ribeiro, Paulo Tácito Gontijo Guimarães e Victor Hugo Alvarez V. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. 359 p.

COSTA, P. R.; NASCIMENTO, S. M.; AGUIAR, E. M.; SILVA JÚNIOR, A. L.; COSTA, J. A.; CÂMARA, S. W.; COSTA, J. M. B.; SILVA, S. N. Uso de polímero hidroretentor na produção de palma forrageira. In: AGUILERA, J. G.; ZUFFO, A. M. (Org.). **Ciências Agrárias: Campo Promissor em Pesquisa**, v. 5. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. Cap. 21, p. 184.

CRUZ, J. C.; ALVARENGA, R. C.; NOVOTNY, E. H.; PEREIRA FILHO, I. A.; SANTANA, D. P.; PEREIRA, F. T. F.; HERNANI, L. C. **Cultivo do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; GONTIJO NETO, M. M. **Milho para silagem**. Embrapa Milho e Sorgo, 2021.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Cultivo do milho. *In*: EMBRAPA MILHO E SORGO. **Sistemas de Produção**, 2. 4. ed. versão eletrônica. Set. 2008. [S. l.]: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/491823/4/Cultivares.pdf> Acesso em: 19 jul. 2025.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; CONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F.; MATRANCOLO, W. J. R.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. **Cultivo do Milho**. 6. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010.

CRUZ, J. C.; SILVA, G. H. DA.; PEREIRA FILHO, I. A.; GONTIJO NETO, M. M.; MAGALHÃES, P. C. **Sistema de produção de milho Safrinha de alta produtividade**: Safras 2008 e 2009. Sete Lagoas: EMBRAPA, 10p. Circular técnica 160, 2011.

CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. **Produção e utilização de silagem de milho e sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. p.11-37.

CUNHA, E. E.; LIMA, J. M. P. D. Caracterização de genótipos e estimativa de parâmetros genéticos de características produtivas de sorgo forrageiro. **Ver. Bras.de Zoot.** [s. l.], v. 39, n. 4, p. 701-706, 2010.

DANIEL, J. L. P.; JOBIM, C. C. Silagem de dietas completas. *In*: X SIMPÓSIO DE FORRAGENS, 13., 2022, Viçosa, MG. **Anais** [...]. UFV, Viçosa, MG.

DEMINICIS, B. B.; VIEIRA, H. D.; JARDIM, J. G.; ARAÚJO, S. A. C. A.; CHAMBELA NETO, A.; OLIVEIRA, V. C.; LIMA, E. S. Silagem de milho - Características agrônômicas e considerações. **REDVET**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 1-6, 2009.

DEMINICIS, B. B.; VIEIRA, H. D.; JARDIM, J. G.; ARAÚJO, S. A. D. C.; NETO, A. C.; OLIVEIRA, V. C. D.; LIMA, E. D. S. Silagem de milho - Características agrônômicas e considerações. **Rev. Elect. de Vet**, [s. l.], v. 10, n. 2, 2009.

DETMANN, E.; SOUZA, M.D.; VALADARES FILHO, S.C. et al. **Métodos para análise de alimentos - INCT - Ciência Animal**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 214p, 2012.

D'OLIVEIRA, P. S.; OLIVEIRA, J. S. **Produção de Silagem de Milho para Suplementação do Rebanho Leiteiro**. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite, 2014. 74 p.

DOMAĆINOVIĆ, M.; SOLIĆ, D.; PRAKATUR, I.; ANTUNOVIĆ, Z.; VRANIĆ, I.; RONTA, M. Nutritional and energy value of corn silage on dairy farms in Eastern Croatia. **Jou. of Cent. Eur. Agri**, [s. l.], v. 23, n. 3, p. 496-506, 2022.

DUBOIS, M., GILLES, K. A., HAMILTON, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical chemistry**, [s. l.], v. 28, n. 3, p. 350- 356, 1956.

EMYGDIO, B. M.; AFONSO, A. P. S.; OLIVEIRA, A. C. B.; PARRELLA, R.; SCHAFFER, R. E.; MAY, A. **Desempenho de Cultivares de Sorgo Sacarino para a Produção de Etanol sob Diferentes Densidades de Plantas**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2011. 22 p.

FAGUNDES, M. C. P.; CRUZ, M. D. C. M.; CARVALHO, R. P.; OLIVEIRA, J.; SOARES, B. C. Polímero hidroabsorvente na redução de nutrientes lixiviados durante a produção de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Rev. Caatinga**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 121-129, 2015.

FARIA, V. P. Técnicas de produção de silagens. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PASTAGENS, 1., 1986, Piracicaba. **Anais [...]**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários "Luiz de Queiroz", 1986. p. 119-144.

FERREIRA, D. D. J.; COSTA NETA, C. D. M.; ZANINE, A. D. M.; SANTOS, FN D. S.; PEREIRA, D. M.; CAMPOS, F. S.; PARENTE, H. N.; PARENTE, M. D. O.M.; RODRIGUES, R. C.; SANTOS, E. M.; SOUSA, F. C. D. S.; ALVES, G. R. Sustainable Production of Forage Sorghum for Grain and Silage Production with Moisture-Retaining Polymers That Mitigate Water Stress. **Agron.**, [s. l.], v.14, n. 8, e1653, 2024.

FERREIRA, E. A.; SILVA, V. A.; SILVA, E. A.; SILVEIRA, H. R. O. Eficiência do hidrogel e respostas fisiológicas de mudas de cultivares apirênicas de citros sob déficit hídrico. **Pesq. Agrop. Trop.**, [s. l.], v. 44, n. 2, p. 158-165, 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). FAOSTAT: **Production**: Crops and livestock products. Rome: FAO, 2023.

FRANÇA, A. F. D. S.; OLIVEIRA, R. D. P.; MIYAGI, E. S.; SILVA, A. G.; PERÓN, H. J. M. C.; BASTO, D. D. C. Características fermentativas da silagem de híbridos de sorgo sob doses de nitrogênio. **Ciênc. Anim. Bras.**, Goiânia, v. 12, n. 3, p. 383–391, 2011.

FRANÇA, A. M. S., FERREIRA, I. C., HERMISDORFF, Í. D. C., MENDONÇA, E. P., FERNANDES, E. D. A.; ROSSI, D. A. Dinâmica química, microbiológica e física da silagem de farelo úmido de glúten de milho. **Cienc. Rural**, [s. l.], v. 45, n. 4, p. 684-689, 2014.

GOMES, M. S.; VON PINHO, R. G.; OLIVEIRA, J. S.; VIANA, A. C. Avaliação de cultivares de milho para a produção de silagem: parâmetros genéticos e interação genótipos por ambientes. *In*: Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas, Goiânia-GO. **Anais [...]**. Goiânia, Embrapa Arroz e Feijão, Documentos 113, 2002.

GONÇALVES, S. L.; FARIAS, J. R. B.; SIBALDELLI, R. N. R. **Eventos climáticos adversos e seus impactos para as culturas de soja, milho e trigo no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 48 p, 2019. (Embrapa Soja. Documentos, 420).

HENRIQUE, J. C. G. S.; CARVALHO, L. H. M.; LISBÔA, A. M. G.; FONSECA, G. R. F.; ANDRADA, L. V. P.; SANTOS, W. R.; ANDRADE, M. F.; BEZERRA, R. C. A.; CORDEIRO, L. R. B. A.; LEITE, M. L. M. V. Effects of nitrogen fertilization and saline water irrigation on biomass production in intercropped forage plants: a review. **Rev. Bras. de Geo. Fis.**, Recife, v. 17, n. 5, p. 3827-3857, 2024.

HUANG, K; CHEN, H.; LIU, Y.; HONG, Q.; YANG, B.; WANG, J. Lactic acid bacteria strains selected from fermented total mixed rations improve ensiling and *in vitro* rumen fermentation characteristics of corn stover silage. **Anim. Biosci.**, [s.l.], v. 35, 1379–1389, 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Chapadinha - MA**. 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 19 jul. 2025.

JIANG, M.; MA, Y.; KHAN, N.; KHAN, M. Z.; AKBAR, A.; KHAN, R. U.; KAMRAN, M.; KHAN, N. A. Effect of spring maize genotypes on fermentation and nutritional value of whole plant maize silage in Northern Pakistan. **Ferment**, [s. l.], v. 8, p. 587, 2022.

JOBIM, C. C.; NUSSIO, L. G.; REIS, R. A. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Rev. Bras. de Zoot.**, [s. l.], v. 36, p. 101–119, 2007.

LAUERS, J. G.; COORS, J. G.; FLANNERY, P. J. Forage yield and quality of corn cultivars developed in different eras. **Crop Sci**, [s. l.], v. 41, n. 1, p. 1449-1455, 2001.

LICITRA, G.; HERNANDEZ, T. M.; VAN SOEST, P. J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminants feeds, **Ani. Feed. Sci. and Tech**, [s. l.], v. 57, n. 4, 347- 358. 1996.

LIMA, N. R. C. B.; SANTOS, P. M.; MENDONÇA, F. C.; ARAÚJO, L. C. Critical periods of sorghum and palisadegrass in intercropped cultivation for climatic risk zoning. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 40, n. 1, p. 1452-1457, 2011.

LIMA, R. M. F.; SOUZA, V. V. Polímeros Biodegradáveis: aplicação na agricultura e sua utilização como alternativa para a proteção ambiental. **Rev. Agrog.**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 75-82, 2011.

MACHADO, F. S.; RODRÍGUEZ, N. M.; RODRIGUES, J. A. S.; RIBAS, M. N.; TEIXEIRA, A. M.; RIBEIRO JÚNIOR, G. O.; VELASCO, F. O.; GONÇALVES, L. C.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; PEREIRA, L. G. R. Qualidade da silagem de híbridos de sorgo em diferentes estádios de maturação. **Arq. Bras. de Med. Vet. Zootec.**, [s. l.], v. 64, n. 3, p. 711–720, 2012.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. **Ecofisiologia do sorgo**. Sistemas de Produção, 2 (5a. ed.). Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C de; SOUZA, K. R. D de. Biologia e fisiologia do sorgo. In: MENEZES, C. B de (Ed.). **Melhoramento genético de sorgo**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 82.

MASTALSKA-POPŁAWSKA, J.; STEMPOKOWSKA, A.; HABINA-SKRZYNIARZ, I.; KRZYŻAK, A.T.; RUTKOWSKI, P.; IZAK, P.; RUDNY, J.; GAWENDA, T. Water Interactions in Hybrid Polyacrylate-Silicate Hydrogel Systems. **Materials**, [s. l.], v. 13, n. 4092, 2020.

MAY, A.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; RODRIGUES, J. A. S.; LANDAU, E. C.; PARRELA, R. A. C.; MASSAFERA, R. **Cultivares de sorgo para o mercado brasileiro na safra 2011/2012**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 28 p.

MCDONALD, P. J.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. J. E. **The Biochemistry of Silage**. 2nd. ed. Marlow, Bucks, UK: Cambridge University Press, 1991. 340p.

MENDONÇA, F. C.; CAMARGO, A. C. Uso estratégico da irrigação em sistemas de produção animal em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 25., 2009, Piracicaba, SP. **Anais [...]**. Piracicaba: FEALQ, 2009. p. 207-227.

MENEZES, C. B.; FERNANDES, E. A.; PARELLA, R. A. C.; SCHAFFERT, R. E.; RODRIGUES, J. A. S. Importância do sorgo para o abastecimento de grãos, forragem e bioenergia no Brasil. In: MENEZES, C. B de (Ed.). **Melhoramento genético de sorgo**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 13.

MERTENS, D. R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beaker or crucibles: collaborative study. **Journal of AOAC International**, [s. l.], v. 85, p. 1217-1240, 2002.

MONTEIRO NETO, J. L. L.; ARAÚJO, W. F.; CHAGAS, E. A.; SIQUEIRA, R. H. S.; OLIVEIRA, G. A.; ABANTO-RODRIGUEZ, C. Hydrogels in Brazilian Agriculture / Hidrogel na agricultura brasileira. **Rev. Agro. On-line**, Boa Vista, v. 11, n. 4, p. 347-360, out./dez. 2017.

MORAES, G. J.; COSTA, C.; MEIRELLES, P. R. L.; OLIVEIRA, K.; FACTORI, M. A.; ROSALES, L. A.; SANTOS, T. A. B. Produtividade e valor nutritivo das plantas de milho de textura dentada ou dura em três estádios de colheita para silagem. **B. Indústr. anim.**, Nova Odessa, v. 65, n. 2, p. 155–166, abr./jun. 2008.

MOURA, E. G.; TEIXEIRA, A. P. R.; SOCORRO RIBEIRO, V.; AGUIAR, A. D. C. F.; FARIAS, M. F. Crescimento e produtividade da cultura do milho (*Zea mays*) submetido a vários intervalos de irrigação, na região da Pré-Amazônia. **Irriga**, Botucatu, vol. 11, n. 2, p. 169-177, 2006.

MUCK, R. E. Factors influencing silage quality and their implications for management. **J. Dairy Sci.**, [s. l.], v. 71, p. 2992-3002, 1988.

MUCK, R. E.; NADEAU, E. M. G.; MCALLISTER, T. A.; CONTRERAS-GOVEA, F. E.; SANTOS, M.C.; KUNG, L. Silage Review: Recent Advances and Future Uses of Silage Additives. **J. Dairy Sci.**, [s. l.], v. 101, n. 5, p. 3980–4000, 2018.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7. ed. rev. Washington, D.C.: National Academy Press, 2001. 381 p.

NAVROSKI, M. C.; ARAUJO, M. M.; FIOR, C. S.; CUNHA, F. S.; BERGUETTI, A. L. P.; PEREIRA, M. O. Uso de hidrogel possibilita redução da irrigação e melhora o crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus dunni* Maiden. **Sci. Flo**, [s. l.], v. 43, n. 106, p. 467-476, 2015.

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; MUHLBACH, P. R. F.; NORNBERG, J. L.; ROMANO, M. A.; LUSTOSA, S. B. C. Comportamento ingestivo e de atividades de novilhos confinados com silagens de milho de diferentes tamanhos de partícula e alturas de colheita. **Ciê. Ani. Brasa**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 462-473, 2009.

NISHINO, N.; HARADA, H.; SAKAGUCHI, E. Evaluation of fermentation and aerobic stability of wet brewers' grains ensiled alone or in combination with various feeds as a total mixed ration. **J. Sci. Food Agric.**, [s. l.], v. 83, p. 557–563, 2003.

NISHINO, N.; YOSHIDA, M.; SHIOTA, H.; SAKAGUCHI, E. Accumulation of 1,2-propanediol and enhancement of aerobic stability in whole crop maize silage inoculated with *Lactobacillus buchneri*. **Journal of Applied Microbiology**, [s. l.], v. 94, n. 5, p. 800-807, 2003.

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

NXELE, X.; KLEIN, A.; NDIMBA, B. K. Drought and salinity stress alters ROS accumulation, water retention, and osmolyte content in sorghum plants. **Sou. Afri. Jou. of Bot**, [s. l.], v. 108, p. 261-266, 2017.

OGBAGA, C. C.; STEPIEN, P.; JOHNSON, G. N. Sorghum (*Sorghum bicolor*) varieties adopt strongly contrasting strategies in response to drought. **Physiologia Plantarum**, [s. l.], v. 152, n. 2, p. 389-401, 2014.

OLIVEIRA, R. A.; REZENDE, L. S.; MARTINEZ, M. A.; MIRANDA, G. V. Influência de um polímero hidroabsorvente sobre a retenção de água no solo. **Rev. Bra. de Eng. Agrí. e Amb**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 160-163, 2004.

OTEGUI, M. E.; ANDRADE, F. H. New relationships between light interception, ear growth, and kernel set in maize. **Phys. and mod. ker set in mai**, Madison, CSSA. v. 29, p. 89-102, 2000.

PAES, M. C. D. Manipulação da composição química do milho na indústria e na saúde humana. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 26.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO, *Spodoptera*

frugiperda, 2.; SIMPÓSIO SOBRE *Colletotrichum graminicola*, 1., 2006, Belo Horizonte. **Anais** [...]. Sete Lagoas: ABMS, 2006.

PATRA, S. K.; PODDAR, R.; BRESTIC, M.; ACHARJEE, P. U.; BHATTACHARYA, P.; SENGUPTA, S.; PAL, P.; BAM, N.; BISWAS, B.; BAREK, V.; ONDRISIK, P.; SKALICKY, M.; HOSSAIN, A. Prospects of hydrogels in agriculture for enhancing crop and water productivity under water deficit condition. **International Journal of Polymer Science**, [s. l.], v. 2022, e4914836, 2022.

PAUL, C. L. Aspectos fisiológicos del crecimiento y desarrollo del sorgo. In: PAUL, C. L. **Agronomía del sorgo**. Patancheru: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 1990. p. 43-68.

PAULA, T. A.; VÉRAS, A. S. C.; GOMES, R. N.; FERREIRA, M. A. Produção de silagem: aspectos agrônômicos e valor nutricional em regiões semiáridas - REVISÃO SISTEMÁTICA. **Arqui. do Mudi**, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 127-154, 2021.

PEDREIRA, M.S.; REIS, R. A.; BERCHIELLI, T. T.; MOREIRA, A. L.; COAN, R. M. Características agrônômicas e composição química de oito híbridos de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. **Rev. Bras. De Zoot.**, [s. l.], v. 32, n. 5, p. 1083–1092, 2003.

PEIXOTO, C. P. Déficit hídrico. In: PEIXOTO, Clovis Pereira (org.). **Princípios de fisiologia vegetal: teoria e prática**. 1. ed. Rio de Janeiro: Pod, 2020. p. 71.

PEREIRA FILHO, I. A. **Cultivo do milho**. 9. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015.

PEREIRA FILHO, I. A.; BORGHI, E. Cultivares de milho para safra 2022/2023. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 24 p. il. color. 2022.

PETERSON, D. Hydrophilic polymers: effects and uses in the landscape. **Restoration and Reclamation Review**, [s. l.], v. 7, supl., p. 1–16, 2002.

PHIPPS, R.; SUTTON, J.; BEEVER, D.; JONES, A. The effect of crop maturity on the nutritional value of maize silage for lactating dairy cows. 3. Food intake and milk production. **Anim. Sci**, [s. l.], v. 71, p. 401–409, 2000.

PINHEIRO, A. G.; SOUZA, L. S. B. de.; FERREZ JARDIM, A. M. da R.; ARAÚJO JÚNIOR, G. do N.; ALVES, C. P.; SOUZA, C. A. A. de.; LEITE, R. M. C.; SILVA, T. G. F. Lacunas de produtividades e estratégias de cultivo na melhoria da produção de forragem para a região semiárida brasileira - Revisão. **Rev. Bras. de Geog. Fís**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 2403-2426, 2021.

PINHO, R. G.; VASCONCELOS, R. C.; BORGES, I. D.; RESENDE, A. V. Produtividade e qualidade da silagem de milho e sorgo em função da época de semeadura. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 235-245, 2007.

PLAYNE, M.J.; McDONALD, P. The buffering constituents of herbage and of silage. **Jou. of the Sci. of F. and Agri**, [s. l.], v.17, p. 264-268, 1966.

POSSENTI, R. A.; FERRARI JUNIOR, E.; BUENO, M. S.; BIANCHINI, D.; LEINZ, F. F.; RODRIGUES, C. F. Parâmetros bromatológicos e fermentativos das silagens de milho e girassol. **Ciê. Rur.**, [s. l.], v. 35, n. 5, p. 1185-1189, 2005.

QUEIROZ, V. A. V.; VIZZOTTO, M.; CARVALHO, C. W. P.; MARTINO, H. S. D. **O sorgo na alimentação humana**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009.

REDDY, B. B. S.; RAMESH, S.; REDDY, P. S. Sorghum genetic resources, cytogenetics and improvement. *In*: SINGH, R. J.; JAUHAR, P. P. (ed.). **Genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement: cereals**. Boca Raton: CRC Taylor and Francis, 2006. v. 2, p. 309-363.

RETELATTO, R.; SILVA, E. P. A.; PEREIRA, L. M.; VOLPI, D.; ZOPOLLATTO, M.; DANIEL, J. L. P.; SCHMIDT, P. Efeitos de furos em filme plástico nas perdas de armazenamento em silagem de ração mista total em fardos redondos. **Trad. Anim. Sci.**, [s. l.], v. 3, p. 1543–1549, 2019a.

RETELATTO, R.; NOVINSKI, C. O.; PEREIRA, L. M.; SILVA, E. P. A.; VOLPI, D.; ZOPOLLATTO, M.; SCHMIDT, P.; FACIOLA, A. P. Chemical composition, fermentative losses, and microbial counts of total mixed ration silages inoculated with different *Lactobacillus* species. **J. Anim. Sci.**, [s. l.], v. 97, n. 4, p. 1634-1644, 2019b.

RETORE, M.; ALVES, J. P.; ORRICO JUNIOR, M. A. P.; GALEANO, E. S. J.; ORRICO, A. C. A.; FERNANDES, T.; VICENTE, E. F.; LOPES, L. S. **Silagem de ração mista total com capim-elefante cv. BRS Capião**. Dourados, MS: Embrapa, 2022. (Comunicado Técnico, 269).

RIBEIRO, E. G.; FONTES, C. A. A.; PALIERAQUI, J. G. B.; CÔSER, A. C.; MARTINS, C. E.; SILVA, R. C. Influência da irrigação, nas épocas seca e chuvosa, na produção e composição química dos capins napier e mombaça em sistema de lotação intermitente. **Rev. Bras. de Zoot.**, Viçosa, v. 38, n. 8, p. 1432-1442, 2009.

RODRIGUES, J. A. S. **Cultivo do sorgo**. 9. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015.

RODRIGUES, J. A. S.; TOMICH, T. R.; GONÇALVES, L. C.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; GUIMARAES, A. S.; FERNANDES, L. de O.; PAES, J. M. V. Sorgo forrageiro para silagem, corte e pastejo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 35, n. 278, p. 73–81, jan./fev. 2014.

RODRIGUES, L. S.; ALVES FILHO, D. C.; BRONDANI, I. L.; SILVA, V. S.; PAULA, P. C.; ADAMS, S. M.; MARTINI, P. M.; MARTINI, A. P. M. Variáveis morfológicas e estruturais de sorgo forrageiro implantado com diferentes arranjos populacionais sob pastoreio contínuo. **Arq. Bras. de Med. Vet. e Zoot.**, [s. l.], v. 70, n. 1, p. 287–296, jan./fev. 2018.

SÁ, C.; ZANINE, A.; FERREIRA, D.; PARENTE, H.; PARENTE, M.; SANTOS, E. M.; LIMA, A. G.; SANTOS, F. N.; PEREIRA, D.; SOUSA, F. C. D.; COSTA, R.;

CASTRO, C. R.; ALVES, G. R.; DÓREA, J. R. Corn Silage as a Total Diet with By-Products of the Babassu Agroindustry in the Feed of Confined Ruminants. **Agronomy**, [s. l.], v. 13, n. 2., e417, 2023.

SANTOS, F. D.; CASELA, C. R.; WAQUIL, J. M. Melhoramento de sorgo. *In*: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**, 2. ed., v. 2. Viçosa: UFV, 2005. p. 605–658.

SANTOS, H. T.; CARVALHO, D. F.; SOUZA, C. F.; MEDICI, L. O. Cultivo de alface em solos com hidrogel utilizando irrigação automatizada. **Rev. Eng. Agri**, [s. l.], v. 35, n. 5, p. 852-862, 2015.

SANTOS, R. D.; PEREIRA, L. G. R.; NEVES, A. L. A.; AZEVÊDO, J. A. G.; MORAES, S. A. DE.; COSTA, C. T. F. Características agronômicas de variedades de milho para produção de silagem. **Ac. Sci. Ani. Sci**, Maringá, v. 32, n. 4, p. 367-373, 2010a.

SANTOS, R. D.; PEREIRA, L. G. R.; NEVES, A. L. A.; ARAÚJO, G. G. L.; VOLTOLINI, T. V.; BRANDÃO, L. G. N.; ARAGÃO, A. S. L.; DÓREA, J. R. R. Características de fermentação da silagem de seis variedades de milho indicadas para a região semiárida brasileira. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, Belo Horizonte, v. 62, n. 6, p. 1403-1411, 2010b.

SAS. **SAS/STAT University User Guide**. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2015.
SCHINGOETHE, D. J. Uma revisão de 100 anos: alimentação total com ração mista para vacas leiteiras. **J. Laticínios Sci.**, [s. l.], v. 100, p. 10143-10150, 2017.
SCHMIDT, P.; RESTELATTO, R.; ZOPOLLATTO, M. Ensiling total mixed rations – An innovative procedure. *In*: NUSSIO, L. G.; SOUSA, D. O.; GRITTI, V. C.; SALVATI, G. G. S.; SANTOS, W. P. Salvo PAR, editors. *In*: V International symposium on forage quality and conservation. **Anais [...]**. Piracicaba: FEALQ. p. 7–20, 2017.

SILVA, D. F. da.; GARCIA, P. H. de M.; SANTOS, G. C. de L.; FARIAS, I. M. S. C. de.; PÁDUA, G. V. G. de.; PEREIRA, P. H. B.; SILVA, F. E. da.; BATISTA, R. F.; GONZAGA NETO, S.; CABRAL, A. M. D. Morphological characteristics, genetic improvement and planting density of sorghum and corn crops: a review. **Res., Soci. and Devel**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. e12310313172, 2021.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de Alimentos: Métodos Químicos e Biológicos**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2005. 648 p.

SIMSEK, M.; CAN, A.; DENEK, N.; TONKAZ, T. The effects of different irrigation regimes on yield and silage quality of corn under semi-arid conditions. **Afr. J. Biotechnol**, [s. l.], v. 10, n. 31, p. 5869–5877, 2011.

SNIFFEN, C. J.; O'CONNOR, J. D.; VAN SOEST, P. J.; FOX, D. G.; RUSSELL, J. B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Jou. of ani. sci**, [s. l.], v. 70, n. 11, p. 3562–3577, 1992.

SOUZA, G.A.; FLEMMING, J.S.; FLEMMING, R.; PASTORE, N.S.; BENINCÁ, L.; GONÇALVES, J.A.; SIMONI, L.G; GALLI, M.A. Avaliação de cultivares de milho para produção de silagem de alta qualidade. **Arch. Vet. Sci.**, [s. l.], v. 5, p.107-110, 2000.

SOUZA, L. C.; MELO, N. C.; SIQUEIRA, J. A. M.; SILVA, V. F. A.; OLIVEIRA NETO, C. F. Comportamento bioquímico no milho submetido ao déficit hídrico e a diferentes concentrações de silício. **Rev. Agr**, Dourados-MG, v. 8, n. 29, p. 260-267, 2015.

SOUZA, V. G.; PEREIRA, O. G.; MORAES, S. A.; GARCIA, R.; VALADARES FILHO, S. C.; ZAGO, C. P.; VILLAÇA FREITAS, E. V. *Valor nutritivo de silagens de sorgo*. Ruminantes, **Rev. Bras. Zoot.**, [s. l.], v. 32, n. 3, p. 713-720, jun. 2003.

TAYLOR, C. C.; KUNG, L. The Effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 on the Fermentation and Aerobic Stability of High Moisture Corn in Laboratory Silos. **Jou. of Dai. Sci**, [s. l.], v. 85, n. 6, p. 1526–1532, 2002.

TOLEDO, F. D. **Tecnologia das sementes**: Melhoramento e produção do milho. Campinas: Fundação Cargill, 1980. p. 571-619.

TOMICH, T. R.; PEREIRA, L. G. R.; GONÇALVES, L. C.; TOMICH, R. G. P.; BORGES, I. **Características químicas para avaliação do processo fermentativo de silagens**: uma proposta para qualificação da fermentação. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003. 20p.

ULLAH, F. Classification, processing and application of hydrogels: a review. **Mat. Sci. Eng**, [s. l.], v. 57, p.414-433, 2015.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. Washington: Cornell University Press, 1994. 476p.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A Métodos para fibra alimentar, fibra em detergente neutro e polissacarídeos não amiláceos em relação à nutrição animal. **Jor. de ciên. láct**, Champaign, v. 74, n. 10, p. 3583-3597, 1991.

VAN SOEST, P.J. Development of a comprehensive system of feed analysis and its application to forage. **J. Anim. Sci**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 119-120, 1967.

WANG, M.; GU, Z.; WANG, R.; GUO, J.; LING, N.; FIRBANK, L. G.; GUO, S. Plant primary metabolism regulated by nitrogen contributes to plant–pathogen interactions. **Plant and Cell Physiology**, [s. l.], v. 60, n. 2, p. 329–342, 2019.

WANG, S.; ZHANG, G.; ZHAO, J.; DONG, Z.; LI, J.; SHAO, T. Fermentation quality, aerobic stability and *in vitro* gas production kinetics and digestibility in total mixed ration silage treated with lactic acid bacteria inoculants and antimicrobial additives. **Ital. Jou. of Ani. Sci**, [s. l.], v. 22, n. 1, 430–441, 2023.

WANG, Y.T.; BOOGHER, C.A. Effect of a medium-incorporated hydrogel on plant growth and water use of two foliage species. **Jou. of Env. Hort**, Washington, v. 5, n. 3, p. 125-127, 1987.

WAQUIL, J. M.; VIANA, P. A. **Ocorrência e controle de pragas na cultura do sorgo nas regiões Alta Mogiana de São Paulo e Triângulo Mineiro**. Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica 49, 2004.

XIE, Y.; WANG, L.; LI, W.; XU, S.; BAO, J.; DENG, J.; WU, Z.; YU, Z. Fermentation Quality, In Vitro Digestibility, and Aerobic Stability of Total Mixed Ration Silage in Response to Varying Proportion Alfalfa Silage. **Ani**, [s. l.], v. 12, n. 1039, 2022.

YANTI, Y.; YAYOTA, M. Effect of epiphytic lactic acid bacteria fermented juice inclusion on quality of total mixed ration silage of agricultural and food by-products. **The Ind. Jou. of Ani. Sci**, [s. l.], v. 89, n. 9, p. 1002–1008, 2019.

ZANINE, A.M.; MACEDO, J.G.L. Importância do consumo da fibra para nutrição de ruminantes. **Rev. electrón. vet.**, [s. l.], v. 7, n. 4, p. 1-12, 2006.

ZAREI, T. Balancing water deficit stress with plant growth-promoting rhizobacteria: a case study in maize. **Rhizosphere**, [s. l.], v. 24, e100621, 2022.

ZIMMER, E. Efficient silage systems. *In*: BRITISH GRASSLAND SOCIETY CONFERENCE, 11., 1980, Brighton. Forage conservation in the '80s. **Proceedings** [...]. Brighton: British Grassland Society, 1980. p. 176-194.

ZONTA, J. H.; BRAUN, H.; REIS, E. F. DOS.; PAULUCIO, D.; ZONTA, J. B. Influência de diferentes turnos de rega e doses de hidroabsorvente no desenvolvimento inicial da cultura do café conillon (*Coffea canephora* Pierre). **Idesia**, [s. l.], v. 27, n. 3, p. 29-34, 2009.

ZOPOLLATTO, M. **Conservação de forragens**. Curitiba: SENAR AR-PR, 2020. 108 p.