



Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

**QUALIDADE DA SILAGEM DE MILHO
REIDRATADO COM ÁGUA OU SORO DE LEITE
ASSOCIADA COM INOCULANTE BACTERIANO-
ENZIMÁTICO**

FERNANDA NAIARA FOGAÇA DA CRUZ

2021

FERNANDA NAIARA FOGAÇA DA CRUZ

**QUALIDADE DA SILAGEM DE MILHO REIDRATADO COM ÁGUA OU SORO DE LEITE ASSOCIADA COM
INOCULANTE BACTERIANO-ENZIMÁTICO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Zootecnia no Semiárido, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Prof. Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior

**Janaúba
2021**

Ficha Catalográfica

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Cruz, Fernanda Naiara Fogaça da

C957q Qualidade da silagem de milho reidratado com água ou soro de leite associada com inoculante bacteriano-enzimático [manuscrito] / Fernanda Naiara Fogaça da Cruz. – 2021. 49 p.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Estadual de Montes Claros – Janaúba, 2021.

Orientador: Prof. D. Sc. Vicente Ribeiro Rocha Júnior.

1. Milho. 2. Silagem. 3. Soro de Leite. 4. Grãos Qualidade.
I. Rocha Júnior, Vicente Ribeiro. II. Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título.

CDD. 633.202

Catálogo: Joyce Aparecida Rodrigues de Castro Bibliotecária CRB6/2445



GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Universidade Estadual de Montes Claros

Mestrado em Zootecnia

Declaração - UNIMONTES/PRPG/PPGZ - 2021

Montes Claros, 17 de dezembro de 2021.

FERNANDA NAIARA FOGAÇA DA CRUZ

QUALIDADE DA SILAGEM DE MILHO REIDRATADO COM ÁGUA OU SORO DE LEITE ASSOCIADA COM INOCULANTE BACTERIANO-ENZIMÁTICO

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Zootecnia no Semiárido, para obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

APROVADA em 16 de dezembro de 2021.

Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior/ Presidente/ UNIMONTES

Dr. Flávio Pinto Monção/ Membro Interno/ UNIMONTES

Dr. João Paulo Sampaio Rigueira/ Membro Interno/ UNIMONTES

Dra. Leidy Darmony de Almeida Rufino/Membro Externo/EPAMIG

JANAÚBA, MINAS GERAIS – BRASIL/2021



Documento assinado eletronicamente por **Vicente Ribeiro Rocha Junior, Professor(a)**, em 17/12/2021, às 08:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **João Paulo Sampaio Rigueira, Professor(a)**, em 17/12/2021, às 09:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **Flávio Pinto Monção, Usuário Externo**, em 18/12/2021, às 04:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).

Documento assinado eletronicamente por **Leidy Darmony de Almeida Rufino, Chefe Geral**, em 18/12/2021, às 07:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do



[Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017.](#)



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

[http://sei.mg.gov.br/sei/controlador_externo.php?](http://sei.mg.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)

[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](http://sei.mg.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **39695299**

e o código CRC **EC97EA59**.

Referência: Processo nº 2310.01.0004234/2021-16

SEI nº 39695299

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, a fonte de força maior e que guiou meus passos durante todo caminho, mostrando sempre sinais de que era possível e que os sonhos fazem parte de tudo que nos move.

Aos meus pais, Marleide e Uelton, que durante todos esses anos apoiaram meus passos e nunca duvidaram do caminho que escolhi percorrer. Toda gratidão do mundo!

Aos meus irmãos, Samara e Máuro, por se fazerem sempre presentes com o apoio, e reafirmando em palavras para nunca desistir do que faz meus olhos brilharem.

Aos meus avós maternos, José e Aldelice e meu avô paterno, Antônio, que lidam com a saudade diária da neta que decidiu crescer longe do ninho. Com um carinho especial a minha avó materna, Maria (*In memorian*), que certamente do céu vibra com mais um sonho realizado.

As minhas amigas de uma vida, Cássia (Cinha), Giuliana (Juju) e Stéfanie (Tuf) por me incentivarem e sempre se fazerem presentes. E com um carinho especial a nossa saudosa Camile (Cacá) (*in memorian*), amiga que incentivou e que certamente vibra feliz do céu por essa conquista. Essa família que a UESB me presenteou e que sou imensamente grata. Amo vocês imensamente.

A minha irmã de alma, Laíse (Preta), sempre presente e incentivando cada vôo. Às Amigas que a UESC me agradeceu: Brenda, Mariana, Ana Gecica e Flávia, que incentivam cada passo e que mostraram que o que a faculdade contrói é para sempre! Amo cada uma de vocês.

Aos Anjos que a Unimontes me presenteou: Amanda, pela amizade, companheirismo e pela convivência diária; Gilson, por sua amizade e todo companheirismo nessa jornada. Muito obrigada por estarem comigo e terem tornado este caminho mais leve. Espero tê-los sempre!

Ao meu orientador, Professor Dr. Vicente, pelo acolhimento e por ser tudo que se espera de um orientador, tornando a realização desse sonho possível. Muito obrigada!

Ao meu coorientador, Flávio Monção, pelo acolhimento, ensinamentos, por ser o guia dos meus passos em Minas Gerais, tornando-se um amigo nessa jornada. Minha eterna gratidão.

A todo o corpo docente da Pós-Graduação em Zootecnia da Unimontes, pela dedicação ao trabalho que exercem e por todo conhecimento transmitido. Aos discentes da graduação, pós-graduação e todos os profissionais que auxiliaram na execução deste trabalho.

A CAPES, CNPq, INCT-Ciência Animal e FAPEMIG, pelo auxílio com financiamento de bolsas.

A todos que de alguma forma contribuíram para realização desse sonho, minha eterna gratidão!

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| NORMAS DA REVISTA CIENTÍFICA | 7 |
| RESUMO GERAL..... | 8 |
| GENERAL ABSTRACT | 9 |
| 1 INTRODUÇÃO GERAL | 10 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA..... | 12 |
| 2.1 Qualidade dos grãos reidratados | 12 |
| 2.2 Soro de leite como fonte de reidratação de silagem de grãos..... | 15 |
| 2.3 Inoculantes bacterianos- enzimáticos no processo de ensilagem..... | 16 |
| 3 ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS | 17 |
| 4 REFERÊNCIA | 18 |
| 5 CAPÍTULO I-PERDAS FERMENTATIVAS, COMPOSIÇÃO QUÍMICA E DIGESTIBILIDADE <i>IN VITRO</i> DA SILAGEM DE MILHO REIDRATADO COM ÁGUA OU SORO DE LEITE ASSOCIADA COM INOCULANTE BACTERIANO- ENZIMÁTICO..... | |
| Resumo..... | 21 |
| Abstract. | 23 |
| Introdução | 24 |
| Material e métodos..... | 25 |
| Resultado e Discussão | 29 |
| Conclusão | 33 |
| Agradecimentos | 33 |
| Conflitos de interesse..... | 34 |
| Tabelas e figuras | 34 |
| Referências | 39 |
| Considerações finais..... | 43 |

NORMAS DA REVISTA CIENTÍFICA

Esta dissertação segue as premissas básicas da Revista Semina Ciências Agrárias, disponível em: <https://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/7973> .

RESUMO GERAL

CRUZ, F. N. F. **QUALIDADE DA SILAGEM DE MILHO REIDRATADO COM ÁGUA OU SORO DE LEITE ASSOCIADOS COM INOCULANTE BACTERIANO-ENZIMÁTICO**. 2021. 43p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)- Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, Minas Gerais, Brasil¹.

A reidratação do grão de milho com água ou soro de leite, associada ao uso de inoculante bacteriano-enzimático, pode favorecer o processo fermentativo da silagem, melhorar suas características nutricionais, permitir melhor aproveitamento desses nutrientes pelos animais e ainda dar um destino adequado para o soro de leite. Objetivou-se avaliar as qualidades nutricional e fermentativa das silagens de grãos de milho reidratado com água ou soro de leite e com adição de inoculante bacteriano-enzimático. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 2, sendo fontes de reidratação (água ou soro de leite) e ausência e presença de inoculante enzimático-bacteriano com oito repetições. Com a mistura dos líquidos aos grãos, o material foi colocado em silos experimentais confeccionados em tubos de Policloreto de Vinila (PVC) e armazenados em uma sala, permanecendo fechados por 60 dias. Passado esse período, os silos foram abertos e as silagens submetidas às análises para determinação da sua qualidade. As perdas de MS foram 37,51% superiores na silagem sem inoculante em comparação à silagem com inoculante (média de 3,84% da matéria seca-MS). Não houve interação ($P=0,30$) das fontes de reidratação e o uso de inoculantes sobre a digestibilidade *in vitro* da MS (média de 79,26%). A silagem de grão de milho sem inoculante durante o período de exposição aeróbia apresentou a temperatura 1,40% maior ($P < 0,01$) em relação à silagem de milho com inoculante (média de 27,27 °C). A maior digestibilidade da proteína bruta, fibra em detegente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foi observada na silagem com inoculante. O uso do inoculante bacteriano-enzimático melhorou as características fermentativas, estabilidade aeróbia e valor nutricional da silagem de grãos de milho reidratada com água ou soro de leite.

Palavras-chave: composição química, digestibilidade, fermentação, subproduto.

¹Comitê de Orientação: Prof. Vicente Ribeiro Rocha Júnior - Departamento de Ciências Agrárias/ UNIMONTES (Orientador); Prof. Flávio Pinto Monção - Departamento de Ciências Agrárias/UNIMONTES (Coorientador).

GENERAL ABSTRACT

CRUZ, F. N. F. **QUALITY OF MAIZE SILAGE REHYDRATED WITH WATER OR WHEY ASSOCIATED WITH ENZYMATIC-BACTERIAL INOCULANT.** 2021. 43p. Dissertation (Master's in Animal Science) - State University of Montes Claros, Janaúba, Minas Gerais, Brazil¹.

The rehydration of corn grain with water or whey, associated with the use of enzymatic-bacterial-inoculant, can favor the fermentation process of the silage, improve its nutritional characteristics, allow a better use of these nutrients by the animals and also apply a destination suitable for whey. This study was carried out in order to evaluate the nutritional and fermentative quality of corn grain silages rehydrated with water or whey and with the addition of enzymatic-bacterial inoculant. A completely randomized design in a 2 x 2 factorial scheme was used, with rehydration sources (water or whey) and absence or presence of enzymatic-bacterial inoculant with eight replications. By associated the liquids with the grains, the material was put in experimental silos made in polyvinyl chloride (PVC) tubes and stored in a room, remaining closed for 60 days. After that period, the silos were opened and the silages submitted to analyzes to determine their quality. DM losses were 37.51% higher in silage without inoculant compared to silage with inoculant (mean 3.84% DM). There was no interaction ($P=0.30$) of the rehydration sources and the use of inoculants on the *in vitro* DM digestibility (average of 79.26%). Rehydrated corn silage without inoculant during the period of aerobic exposure showed the temperature 1.40% higher ($P < 0.01$) compared to corn silage with inoculant (mean 27.27 °C). The highest digestibility of crude protein, NDF and ADF was observed in silage with inoculant. The use of bacterial enzymatic inoculant improved the fermentative characteristics, aerobic stability and nutritional value of corn grain silage rehydrated with water or whey.

Keywords: chemical composition, digestibility, fermentation, by-product.

¹Guidance Committee: Prof. Vicente Ribeiro Rocha Júnior - Department of Agricultural Sciences/ UNIMONTES (Advisor); Prof. Flávio Pinto Monção - Department of Agrarian Sciences/UNIMONTES (Co-advisor).

1 INTRODUÇÃO

O milho é um ingrediente utilizado mundialmente na alimentação animal. No entanto, a aquisição do grão em mercados distantes dos centros de produção pode elevar os custos na produção animal (MOMBACH et al., 2019).

A ensilagem de grãos reidratados ou úmidos de milho surge como estratégia para armazenamento dos grãos e melhoria na digestibilidade dos nutrientes, sobretudo do amido (SILVA et al., 2016). No Brasil, a utilização da silagem foi introduzida no estado do Paraná somente a partir de 1981, exclusivamente na alimentação de suínos e, posteriormente, empregada na alimentação de bovinos de corte e leite, mas só a partir da década de 90 a silagem passou a ser utilizada de forma significativa na alimentação de bovinos (PEREIRA et al., 2017).

A reidratação dos grãos de milho vem sendo empregada porque possibilita melhorias no seu padrão fermentativo e nutricional, além de ser uma alternativa viável contra a sazonalidade de fontes de alimento (ÁVILA et al., 2019). A técnica baseia-se na adição de água aos grãos moídos para que atinjam a umidade para serem ensilados, contribuindo para melhorar o aproveitamento dos nutrientes pelos animais, melhorar a digestibilidade do amido presente no milho e ainda minimizar a ação de microrganismos indesejáveis como os fungos (MOMBACH et al., 2019). Neste tipo de processamento, os grãos secos são umedecidos até que atinjam a umidade em torno de 35%, percentual considerado ideal para ensilagem (BENTON et al., 2005)

O soro de leite é reconhecido como um produto de alto valor nutricional, com alto teor de proteínas solúveis, rico em aminoácidos essenciais e vitaminas do complexo B (LUPO et al., 2019). Devido às suas características físico-químicas, o soro de leite apresenta potencial para uso na reidratação do milho. Trata-se de um subproduto gerado nos laticínios, onde são produzidos grandes volumes que podem causar sérios danos ao meio ambiente se forem descartados de forma irracional (FAUSTINO et al., 2018). Trata-se de um produto perecível, que não pode ser estocado por períodos prolongados e que se destaca pelo valor nutritivo, o que justifica sua utilização na reidratação de grãos de milho como alternativa para o aproveitamento e destinação adequada deste resíduo (ÁVILA et al., 2019).

O uso de inoculantes bacterianos e enzimáticos favorece a rápida queda do pH e reduz as perdas de matéria seca, melhorando as características nutricionais da silagem. Estes efeitos, entretanto, dependem do tipo de inoculante, quantidade aplicada, atividade biológica e também do tipo de forragem a que é associado (SEVERO, et al., 2020).

Assim, objetiva-se avaliar os efeitos da reidratação do grão de milho com água ou soro de

leite ácido, bem como os efeitos da inoculação bacteriano-enzimático sobre as perdas fermentativas, estabilidade aeróbia e valor nutricional das silagens.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Qualidade das silagens de grãos de milho reidratados

O milho utilizado para a confecção da silagem reidratada pode ser colhido com teores de umidade entre 13 e 16% e a reidratação ocorre até que atinja o teor de umidade mínima de 30% (CARVALHO et al., 2017). A reidratação dos grãos de milho possibilita que o grão seco atinja a umidade adequada para ser ensilado, reduzindo perdas comuns no armazenamento decorrentes de ataque de pragas, mudanças de temperatura e umidade. O emprego da técnica deve seguir os preceitos básicos da elaboração da silagem (boa compactação, vedação) para que não prejudique, por exemplo, a estabilidade aeróbia do material e resulte em um produto final de boa qualidade (SILVA et al., 2018). A quebra do grão de milho em partículas menores permite o aumento da superfície de contato e, conseqüentemente, a adesão de bactérias e enzimas ruminais, o que permite que o amido seja rapidamente digerido pelos microrganismos, aumentando a eficiência de digestão (MACHADO et al., 2019).

No rúmen, a digestão do amido torna-se importante, pois a baixa concentração de carboidratos não fibrosos da dieta pode limitar a síntese de proteína microbiana. A digestibilidade ruminal pode ser afetada pela taxa de passagem pelo rúmen, que é influenciada pela concentração de amido na dieta e o método de conservação empregado, visto que a taxa de passagem do amido do milho seco moído é mais lenta comparada à do milho de alta umidade (30-40% de umidade) (GUIMARÃES et al., 2013). O processamento do milho também pode influenciar parâmetros ruminais como o pH, razão propionato:acetato e porcentagem molar do propionato (MACHADO et al., 2019).

Trivelato et al. (2019) avaliaram o efeito de diferentes granulometrias e tempos de estocagem no processo fermentativo de silagens de grãos de milho reidratados. Utilizaram-se peneiras de 6 crivos diferentes (P3, P5, P8, P10, P12 e P15mm), sendo portanto, 6 tratamentos com 5 repetições. Os grãos foram reidratados com água à temperatura ambiente. Os silos experimentais foram estocados por diferentes tempos (15, 30, 60, 120 e 240 dias). Foram analisadas as características químicas do material antes da ensilagem, assim como o perfil fermentativo das silagens. Na avaliação antes da estocagem verificaram-se diferenças nos teores de MS e pH entre tratamentos, onde P3 e P8 apresentaram os maiores valores de MS (64,1%); o pH teve seu menor valor no tratamento P15 (5,08). Houve interação do tamanho de partícula e o tempo de estocagem; no tempo 240 dias, o tratamento P15 apresentou maior valor de N-NH₃ (nitrogênio amoniacal). Os

valores de pH decresceram à medida que se aumentou o tempo de estocagem (3,73 aos 240 dias). A estabilidade aeróbia também elevou-se com o aumento do tempo. A silagem é o método de conservação de alimentos mais difundido entre os sistemas de criação, possibilitando a oferta de alimentos de qualidade para serem usados em períodos de escassez de pastos, tendo o milho como a cultura mais adotada para sua confecção (VIEIRA et al., 2013). No Brasil, a variedade mais utilizada é o tipo duro ou *fint* que apresenta características como alta vitreosidade e endosperma com textura rígida, que acabam por contribuir para uma menor digestibilidade do amido, uma vez que a matriz proteica mais intensa atua como uma barreira física, dificultando a ação das enzimas ruminais (FAUSTINO et al., 2020).

O grão de milho colhido mais tardiamente pode ter o processo de fermentação limitado, aspecto associado a baixa umidade do grão, menor teor de açúcares fermentáveis, o que resulta em uma baixa produção de ácidos orgânicos totais. Este conjunto de fatores pode provocar perdas significativas sobre a MS e, caso também haja falha na compactação e vedação do silo, com a presença do ar os microorganismos indesejáveis (fungos, leveduras, por exemplo) se proliferam e consomem o ácido láctico produzido, deixando o material mais susceptível à deterioração, diminuindo a estabilidade aeróbia após a abertura do silo e diminuindo o valor nutricional da silagem (REZENDE et al., 2014).

O uso de grãos processados vem sendo empregado para melhorar o seu aproveitamento pelos animais. O umedecimento do grão do milho para ser ensilado pode ser uma alternativa benéfica para minimizar problemas de armazenamento que geram perdas qualitativas e quantitativas do grão seco, podendo ainda garantir o armazenamento por períodos prolongados e disponibilizar um alimento de melhor qualidade para os animais (LOPES et al., 2005).

Diferentemente da silagem convencional, a silagem de milho reidratado utiliza grãos maduros para sua produção e, como a fermentação que ocorre após a ensilagem destrói as prolaminas existentes, apresenta as mesmas características qualitativas. Como vantagens, o grão úmido reidratado evita a contaminação da ração pela ação dos fungos, minimiza perdas durante o armazenamento em aspectos tanto qualitativos e quantitativos, e essa estocagem é considerada de baixo custo. Além disso, permite uma melhor digestibilidade dos nutrientes e, conseqüentemente, um melhor aproveitamento pelo animal e ainda uma redução nos custos com alimentação, pois torna possível a aquisição do milho seco em um período de preço mais baixo para ser utilizado em períodos quando o milho é mais oneroso (MENDES, 2013).

Mombach et al. (2019) estudaram o efeito de diferentes níveis de inclusão de água na composição química e perfis fermentativos de silagem de grãos de milho reconstituída. Foram

avaliados cinco tratamentos com diferentes níveis de inclusão de água (% da matéria natural): grão de milho seco (testemunha); 90% de grão de milho seco (DCG) e 10% de água; 80% DCG e 20% água; 70% DGC e 30% água e 60% DCG e 40% água. A inclusão de água na silagem do grão de milho reconstituído promoveu redução nos teores de PB (%) devido à degradação dos compostos proteicos pelos microrganismos, e redução da FDN (%) em decorrência da atividade enzimática que levou à hidrólise da hemicelulose. Todavia, o aumento da água elevou os teores de NNP / NT (Nitrogênio Não Proteico / Nitrogênio Total) e a quantidade de perdas por efluentes, gás e matéria seca (%), fato atribuído ao aumento da proteólise durante a fermentação levando à maior teor de aminoácidos livres. A reidratação com 30% de água apresentou melhor perfil fermentativo, com baixas perdas por efluentes e matéria seca.

Benini et al. (2020) avaliaram a qualidade da silagem de grão de milho reidratado sob quatro diferentes níveis de umidade. Os tratamentos utilizados foram milho sem reidratação, milho reidratado a 30, 35, 40 e 45% de umidade. Após 56 dias de ensilagem, foram feitas análises de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), matéria mineral (MM) e pH. Não foi identificado influência nos valores de PB e MM. Houve influência na qualidade da silagem quanto ao teor de MS e pH, pelos tratamentos com inclusão de água, atingindo valores de 70,74% de MS e 5,01 de pH no tratamento com 45% de umidade. Silagens com MS superior a 60% dificultam uma boa compactação e, por conseguinte, dificultam que o material atinja o pH adequado, sendo ambos aspectos determinantes na avaliação da qualidade da silagem.

2.2 Soro de leite como fonte de reidratação de grãos

O soro de leite é a fração líquida obtida após a fabricação do queijo, de modo que aproximadamente 90-95% do volume de leite utilizado para o processo resultam em soro. Trata-se de um efluente residual que pode provocar severos danos ambientais quando descartado de forma indiscriminada principalmente em cursos d'água e devido a este aspecto é que alternativas para o seu reaproveitamento estão sendo estudadas. O tipo de soro e sua composição tem influência a partir do tipo de queijo e da tecnologia empregada na produção (OLIVEIRA, BRAVO & TONIAL, 2012). Na Tabela 1 consta a composição nutricional do soro de leite.

Tabela 1. Composição nutricional do soro de leite (Adaptada):

| Nutriente | Média (g/kg Matéria Seca) |
|-----------------|---------------------------|
| Materia Mineral | 7,06 |
| Estrato Etéreo | 0,76 |
| Fósforo | 0,46 |
| Proteína Bruta | 11,57 |
| Cálcio | 0,71 |
| Carboidratos | 80,29 |
| Fibra Bruta | 0,20 |
| Lactose | 76,43 |

Fonte: CQBAL 4.0

A utilização do soro como alternativa na alimentação animal minimiza a dependência por grãos (NUNES et al., 2018), refletindo diretamente nos custos da alimentação que é a fração mais onerosa dos sistemas de criação. O soro pode integrar a dieta basicamente de duas formas: ofertado de forma direta ao animal ou ainda no processo de ensilagem (OLIVEIRA, BRAVO & TONIAL, 2012). O seu uso na confecção de silagens fornece bactérias lácticas para o meio, e como efeito direto pode melhorar o perfil fermentativa da silagem (SANTOS et al., 2006). O soro de leite pode ser adotado para corrigir a umidade do grão e ainda contribuir no perfil nutricional da silagem, já que é rico em proteínas solúveis, lactose, minerais e vitaminas, e também auxiliar melhorando o processo fermentativo do material ensilado (SOUZA et al., 2020).

2.3 Inoculantes bacteriano-enzimáticos no processo de ensilagem

Os aditivos utilizados no processo de ensilagem podem ser enquadrados em uma ou mais categorias baseado em seus efeitos sobre a silagem: estimulantes da fermentação, inibidores da fermentação, inibidores da deterioração aeróbica e nutrientes e absorventes (MUCK et al., 2018). Estes aditivos, produtos de uso comercial ou não, podem atuar reduzindo as perdas de nutrientes ou ainda melhorar aspectos nutritivos do substrato ensilado (COSTA et al., 2017). Uma grande quantidade de substâncias orgânicas e inorgânicas, bióticas e abióticas vem sendo estudadas para serem empregadas no processo de ensilagem (SCHIMIDT, SOUZA & BACH, 2014).

Os inoculantes bacterianos são compostos por bactérias ácido-lácticas (BAL) adicionados ou não a

enzimas (celulases, amilases, hemicelulases), classificados como aditivos estimulantes da fermentação, e não nutritivos. A sua ação baseia-se em aumentar a disponibilidade de açúcares simples, via complexo enzimático, para que as bactérias acessem os açúcares e aumente a produção do ácido láctico, promovendo a redução brusca do pH (COAN et al., 2005).

As bactérias que são estudadas e fornecem cepas para serem usadas na composição dos inoculantes são as heterofermentativas obrigatórias *Lactobacillus buchneri*. As cepas da *L. Buchneri* atuam, na sua grande maioria, para melhorar a estabilidade aeróbia da silagem. No entanto, com o avançar dos estudos, desenvolveram-se inoculantes que combinam a ação de bactérias ácido-lácticas (BAL) heterofermentativas obrigatórias e facultativas em um único produto. Inicialmente as BAL heterofermentativas facultativas controlam a fermentação ativa, minimizam a proliferação de microrganismos indesejáveis, o que reflete na diminuição da proteólise e perdas de MS, esperando-se ainda que o pH reduza de forma mais rápida. Já as BAL heterofermentativas obrigatórias (*L. Buchneri*) converteriam lentamente o ácido láctico em ácido acético, elevando o pH do material e melhorando a estabilidade aeróbia da silagem (MUCK et al., 2018).

Outra importante associação comercial são os inoculantes bacteriano-enzimáticos, compostos por enzimas fibrolíticas (celulases, hemicelulases e xilanases) e bactérias produtoras de ácido acético e ácido láctico. Estes aditivos são uma alternativa para melhorar a digestibilidade da forragem, onde especificamente na nutrição de ruminantes, as enzimas fibrolíticas auxiliam na melhora da degradabilidade da fibra, podendo ser convertidas em açúcares que servirão de substrato para a fermentação. Assim, com base no mecanismo de ação das bactérias e das enzimas presentes no inoculante, percebe-se que sua utilização pode melhorar a conservação e disponibilidade dos nutrientes da silagem (JESUS et al., 2021).

Silva et al. (2010) avaliaram a influência de inoculante bacteriano-enzimático sobre a microbiota e qualidade nutricional de silagens de grãos úmidos de milho. Utilizaram-se 4 tratamentos: 1) sem inoculante; 2) com inoculante bacteriano (*Lactobacillus casei* e *Streptococcus faecalis*); 3) com inoculante bacteriano e complexo enzimático (α -galactosidase e β -mananase); e 4) apenas com complexo enzimático. As análises bromatológicas contemplaram a determinação dos valores de MS, PB, FDA, FDN, pH e poder tampão. Quanto aos teores de MS, PB, FDA e poder tampão não houve diferença em nenhum dos tratamentos utilizados. Os teores de FDN foram menores nas silagens que receberam inoculantes (independente do tipo). Acredita-se que a adição

dos inoculantes possa ter contribuído para a redução do FDN, visto que houve uma maior disponibilização de substratos para a fermentação, neste caso, celulose e hemicelulose. O acesso a esses substratos também pode ser associado à interação entre a ação dos microrganismos, enzimas e os componentes da própria forrageira que, agindo de forma conjunta, promoveram ambiente favorável para o processo fermentativo adequado.

3 ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS

A análise dos componentes principais (ACP) é uma das ferramentas mais importantes da análise multivariada. Trata-se de uma ferramenta de análise exploratória que permite identificar a existência ou não de amostras anormais, de relações entre as variáveis medidas e de relações ou agrupamentos entre amostras (LYRA et al., 2010). A ACP transforma linearmente um conjunto original de variáveis, inicialmente correlacionadas entre si, num conjunto menor de variáveis que não possuem correlação que contém grande parte das informações do conjunto principal. Sua utilização está associada principalmente à redução da grande quantidade de dados gerados, com menor perda possível de informações (HONGYU, SANDANIELO & OLIVEIRA JÚNIOR, 2015).

A ACP transforma um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão denominadas componentes principais (CP). Os componentes principais possuem propriedades como: cada CP é formado por uma combinação linear de todas as variáveis originais, são independentes entre si e estimados com o propósito de reter o máximo de informação baseada na variação total dos dados. Têm como objetivo principal explicar a estrutura da variância e covariância de um vetor aleatório composto de p-variáveis aleatórias através das combinações lineares das variáveis originais (HONGYU, SANDANIELO & OLIVEIRA JÚNIOR, 2015).

A técnica de ACP possibilita eliminar informações desnecessárias em decorrência dos coeficientes de correlação entre as variáveis presentes no estudo (KHATTREE & DAYANAND, 2000). A determinação dos componentes principais pode ser realizada obedecendo a diferentes critérios (PERES NETO, JACKSON & SOMERS, 2005). Um dos métodos propostos é o de KAISER (1960) que considera que qualquer componente principal com variação (autovalor) menor que 1,00 não deve ser selecionado, pois presume-se que contenha menos informação do que as variáveis originais já padronizadas. A avaliação dos resultados é subjetiva, mas espera-se que os componentes selecionados possibilitem uma avaliação fidedigna tanto do ponto de vista estatístico quanto biológico (PERES NETO, JACKSON & SOMERS, 2005).

4 REFERÊNCIAS

- ÁVILA, N. R. B. D. et al. Caracterização da silagem de grão de milho reidratado associado ao resíduo de tilápia. *Ciência Animal Brasileira*, v. 20, 2019.
- BENINI, M. D. C. et al. Avaliação química da silagem de grão de milho reidratado em diferentes níveis de adição de água. *PUBVET*, v. 14, p. 119, 2020.
- BENTON, J. R.; KLOPFENSTEIN, T. J.; ERICKSON, G. E.; Effects of Corn Moisture and Length of Ensiling on Dry Matter Digestibility and Rumen Degradable Protein. *Nebraska Beef Cattle Report*. 151. Pág. 31-33. 2005.
- CARVALHO, B. F. et al. Fermentation profile and identification of lactic acid bacteria and yeasts of rehydrated corn kernel silage. *Journal of Applied Microbiology*, v. 122, n. 3, pág. 589-600, 2017.
- COAN, R. M. et al. Inoculante enzimático-bacteriano, composição química e parâmetros fermentativos das silagens dos capins Tanzânia e Mombaça. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 34, n. 2, p. 416-424, 2005.
- COSTA, R. R. et al. Vantagens no uso de aditivos em silagem de milho. *Revista Craibeiras de Agroecologia*, v. 1, n. 1, 2017.
- CQBAL 4.0. Tabela Nutricional de Subprodutos: Soro de leite. Disponível em: <https://www.cqbal.com.br/#!/relatorio/derivados/listar/?derivados=W3siaWQiOjI5MiwidGI0dWxvIjoI TEVJVEUGU09STyJ9XQ%3D%3D>. Acesso em 28/04/2021 as 08:37.
- FAUSTINO, T. F. et al. Utilização da silagem de grão de sorgo reidratado na alimentação animal. *Nucleus Animalium*, v. 10, n. 2, p. 47-60, 2018.
- FAUSTINO, T. F. et al. Utilização de grão de milho reidratado e casca de café na alimentação animal. *Revista Científica Rural*, v. 22, n. 1, p. 259-275, 2020.
- GUIMARÃES, T.P. et al. Produção e utilização de silagens de grãos úmidos. *PUBVET, Londrina*, V. 7, N. 1, Ed. 224, Art. 1486, 2013.
- HONGYU, K., SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, Gi. J. D. Principal Component Analysis: theory, interpretations and applications. *Engineering and Science*, v. 5, n. 1, p. 83-90, 2015.
- JESUS, M. A. D. et al. Effects of microbial inoculant and fibrolytic enzymes on fermentation quality and nutritional value of BRS capiaçu grass silage. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 42, n. 3Supl1, p. 1837-1852, 2021.
- KAISER, H. F. The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 141-151, 1960.
- KHATTREE, R.; DAYANAND, N. N. *Multivariate data reduction and discrimination with SAS software*, Cary, NC: SAS Institute Inc., 2000.

- LYRA, W. D. S. et al. Classificação periódica: um exemplo didático para ensinar a análise dos componentes principais. *Química Nova*, v. 33, p. 1594-1597, 2010.
- LOPES, A. B. R. D. C. et al. Método de reconstituição da umidade grãos de milho e a composição química da massa ensilada. *Bioscience Journal*, v. 21, n. 1, 2005.
- LUPO, C. R. et al. Feasibility of using bovine whey in finishing lambs: performance, carcass and meat parameters. *Journal of Applied Animal Research*, v. 47, n. 1, pág. 449-453, 2019.
- MACHADO, W. K. R. et al. Silagem de grão úmido e reidratado na dieta de ruminantes. XII Mostra Científica FAMEZ & I Mostra Regional de Ciências Agrárias Campo Grande, MS, 2019.
- MENDES, I. A. P. Consumo, digestibilidade, produção e composição do leite de vacas alimentadas com silagem de grão de milho moído reidratado substituindo milho seco moído do concentrado. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais 2013.
- MOMBACH, M. A. et al. Perfil fermentativo da silagem de grão de milho triturado reidratado contendo glicerina bruta e inoculante microbiano. In: Embrapa Agrossilvipastoril-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Congresso Brasileiro de Zootecnia, 24., 2014, Vitória. A zootecnia fazendo o Brasil crescer: anais... Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2014. 3 p., 2014.
- MOMBACH, M. A. et al. Silage of rehydrated corn grain. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 71, n. 3, pág. 959-966, 2019.
- MUCK, RE et al. Silage review: Recent advances and future uses of silage additives, v. 101, n. 5, pág. 3980-4000, 2018.
- OLIVEIRA, D. F. D.; BRAVO, C. E.C. ; TONIAL, I. B. Soro de leite: um subproduto valioso. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, v. 67, n. 385, p. 64-71, 2012.
- PEREIRA, K. A. et al. Aspectos Nutricionais e Confecção de Silagem de Grão Úmido de Milho para a Alimentação de Bovinos: revisão de literatura. *Revista Eletrônica Nutritime*, v. 14, n. 1, p. 4944-4953, 2017.
- PERES-NETO, P. R.; JACKSON, D. A.; SOMERS, K. M. How many principal components? stopping rules for determining the number of non-trivial axes revisited. *Computational Statistics & Data Analysis* 49. 974 – 997, 2005.
- REZENDE, Adauton V. et al. Rehydration of corn grain with acid whey improves the silage quality. *Animal Feed Science and Technology*, v. 197, p. 213-221, 2014.
- SANTOS, E. M. et al. Efeito da adição do soro de queijo sobre a composição bromatológica, fermentação, perdas e recuperação de matéria seca em silagem de capim-elefante. *Ciência Animal Brasileira*, v. 7, n. 3, p. 235-239, 2006.
- SCHMIDT, P.; SOUZA, C.M.; BACH, B.C. Uso estratégico de aditivos em silagens: Quando e como usar? Simpósio: Produção e utilização de forragens conservadas, 5.ed., Maringá, 2014. Anais... Maringá: UEM, 2014. p.243-264.

- SEVERO, I. K. et al. Silagem de milho colhida com diferentes alturas e adição de inoculante microbiano e enzimático. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, v. 63, 2020.
- SILVA, C. M. et al. Estabilidade de silagens de grãos úmidos de milho e milho reidratado. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 17, n. 3, p. 331-343, 2016.
- SILVA, J. M. et al. Influência de inoculante bacteriano-enzimático sobre a microbiota e qualidade nutricional de silagens de grãos úmidos de milho. *Ciência Animal Brasileira*, v. 11, n. 1, p. 62-72, 2010.
- SILVA, M. R. H. D. et al. Corn grain processing improves chemical composition and fermentative profile of rehydrated silage . *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 40, 2018.
- SOUZA, W. L. D. et al. Effect of rehydration with whey and inoculation with *Lactobacillus plantarum* and *Propionibacterium acidipropionici* on the chemical composition, microbiological dynamics, and fermentative losses of corn grain silage. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 41, n. 6Supl2, p. 3351-3364, 2020.
- TRES, T. et al. Evaluation of rehydrated corn grain silage with okara or soybean inclusion in the performance of lactating cows. *Semina: Ciências Agrárias* , v. 41, n. 6, pág. 2747-2758, 2020.
- Trivelato, M. J. L. Reidratação e ensilagem de grãos de milho com diferentes granulometrias. 13º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2019 30 e 31 de julho de 2019 – Campinas, São Paulo.
- VIEIRA, V. D. C. et al. Caracterização bromatológica de silagens de milho de genótipos super precoce. *Ciência Rural*, v. 43, n. 11, p. 1925-1931, 2013.

4 CAPÍTULO I- PERDAS FERMENTATIVAS, COMPOSIÇÃO QUÍMICA E DIGESTIBILIDADE *IN VITRO* DA SILAGEM DE MILHO REIDRATADO COM ÁGUA OU SORO DE LEITE ASSOCIADOS COM INOCULANTE BACTERIANO-ENZIMÁTICO

FERMENTATIVE LOSSES, CHEMICAL COMPOSITION AND *IN VITRO* DIGESTIBILITY OF CORN GRAIN SILAGE REHYDRATED WITH WATER OR ACID WHEY COMBINED WITH BACTERIAL-ENZYMATIC INOCULANT

Fernanda Naiara Fogaça da Cruz^{1*}; Vicente Ribeiro Rocha Júnior³;

¹ Discente do Mestrado em Zootecnia da Universidade Estadual de Montes Claros, UNIMONTES, Janaúba, MG, Brasil. E-mail: fogaca.fernandaa@gmail.com; * Autor para correspondência

³ Prof. Drs, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (Mestrado), UNIMONTES, Janaúba, MG, Brasil. E-mail: vicente.rocha@unimontes.br;

Resumo

Objetivou-se avaliar os efeitos da reidratação com água ou soro de leite ácido, bem como os efeitos da inoculação bacteriano-enzimático-bacteriana sob as perdas fermentativas, estabilidade aeróbia, composição química e digestibilidade *in vitro* de silagens de grãos de milho. Os tratamentos consistiram dos grãos de milho moídos na peneira de 3mm e reidratados com água sem cloro ou soro de leite sem sal (NaCl) associados ou não com inoculante bacteriano-enzimático. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 2, sendo fontes de reidratação (água ou soro de leite) e ausência ou presença de inoculante enzimático-bacteriano, com oito repetições. A água e o soro de leite foram adicionados no milho moído com 12% de umidade visando aumentar para 35% de umidade. O milho reidratado foi ensilado em minissilos de policloreto de vinila (PVC) e armazenado durante 60 dias. O inoculante enzimático-bacteriano utilizado foi composto por cepas dos gêneros *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Propionibacterium* e *Enterococcus*, em concentrações de 10^{10} UFC g⁻¹ e 5% de complexo enzimático à base de celulase. Houve interação (P=0,02) das fontes de reidratação e uso ou não do inoculante sobre os valores da temperatura da silagem durante exposição aeróbia. As perdas de MS foram 37,51% superior na silagem sem inoculante em comparação à silagem com inoculante (média de 3,84% da MS). A silagem de milho reidratado com soro ácido elevou o teor de cinzas em 2,19% e 31,36% de MS quando comparada à silagem reidratada com água, com média de 66,14% de MS e 1,28% de cinzas. Não houve interação (P=0,30) das fontes de reidratação e o uso de inoculantes sobre a digestibilidade *in vitro* da MS (média de 79,26%). O uso do inoculante enzimático-bacteriano melhorou as características fermentativas, estabilidade aeróbia e valor nutricional da silagem de grãos de milho reidratada com água ou soro de leite.

Palavras-chave: Estabilidade aeróbia. Recuperação da matéria seca. Silagem de grão de milho reidratado. Soro de leite ácido. Fermentação.

Abstract

This study aimed to evaluate the effects of rehydration with water or acid whey, as well as the effects of bacterial-enzymatic inoculant on fermentation losses, aerobic stability, chemical composition and *in vitro* digestibility of corn grain silages. The treatments consisted of corn grains ground by a 3-mm sieve and rehydrated with chlorine-free water or unsalted whey (NaCl) combined or not with enzymatic-bacterial inoculant. It was used a completely randomized design in a 2 x 2 factorial scheme with sources of rehydration (water or whey) and absence or presence of enzymatic- bacterial- inoculant with eight replications. Water and acid whey were added to ground corn with 12% moisture in order to increase it to 35%. Rehydrated corn was ensiled in Polyvinyl chloride (PVC) minisilos and stored for 60 days. The used enzymatic-bacterial inoculant was composed of strains genera of *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Propionibacterium* and *Enterococcus*, in concentrations of 10^{10} CFU g⁻¹ and 5% cellulose-based enzyme complex. There was interaction (P = 0.02) between the sources of rehydration and the use or not of the inoculant on the values of silage temperature during aerobic exposure. DM losses were 37.51% higher in silage without inoculant compared to silage with inoculant (3.84% DM). Corn silage rehydrated with acid whey increased the ash content by 2.19% and 31.36% of DM when compared to silage rehydrated with water, with an average of 66.14% of DM and 1.28% of ash. There was no interaction (P = 0.30) between the sources of rehydration and the use of inoculants on the *in vitro* digestibility of DM (mean of 79.26%). The use of the enzymatic-bacterial inoculant improved the fermentation characteristics, aerobic stability and nutritional value of corn grain silage rehydrated with water or whey.

Key words: Aerobic stability. Dry matter recovery. Rehydrated corn grain silage. Acid whey. Fermentation.

Introdução

O milho (*Zea mays L.*) é um dos principais ingredientes utilizados na dieta de ruminantes para aumentar os níveis de energia e desempenho animal (BERNARDES & RÊGO, 2014; MOMBACH, PEREIRA, PINA, BOLSON E PEDREIRA, 2019; DANIEL, BERNARDES, JOBIM, SCHMIDT E NUSSIO, 2019). Isso está relacionado à composição química que contém 879,6 g kg⁻¹ de matéria seca, 205,1 g kg⁻¹ de carboidratos solúveis em água e 714,5 g kg⁻¹ de amido (Valadares Filho et al., 2016). Na região semiárida do Brasil, não é comum o cultivo de grande quantidade de milho para produção de grãos. Assim, as fazendas não possuem estruturas para armazenar milho e outros cereais para uso na alimentação animal ao longo do ano. Em consequência dessa falta de estrutura para armazenamento de grãos, os danos causados por roedores, insetos e fungos são consideráveis (Mombach et al., 2019). Desse modo, a silagem de grãos de milho reidratado (reconstituído) tem sido usada para minimizar essas perdas (C. M. Silva et al., 2016), melhorar a digestibilidade do amido do milho (Ferraretto, Silva, Fernandes, Kim, & Sultana, 2018) e utilização de nutrientes por ruminantes (Castro et al., 2019; Jacovaci, Salvo, Jobim e Daniel, 2021). Além disso, a adoção da técnica de ensilagem do milho grão ou outro cereal torna possível a compra destes ingredientes em períodos de menor custo de mercado.

O baixo teor de umidade e açúcares solúveis em grãos de milho não favorece a fermentação dentro do silo. Nesse contexto, a reidratação de grãos de milho para atingir o teor de umidade para melhorar a fermentação é uma boa estratégia para reduzir os riscos de perdas na silagem (Rezende et al., 2014). A água é o principal recurso utilizado para reidratar o milho moído durante a ensilagem. No entanto, o soro de leite, principal subproduto da produção de queijo na indústria de laticínios, tem ótimo potencial como veículo de reidratação (Rezende et al., 2014). A composição do soro ácido de leite liberado durante a fabricação do queijo tem cerca de 94,86% de água, 0,51% em proteína bruta, 4,30% de lactose, 0,55% de minerais e vitaminas, 0,10% de gordura e pH de 5,4 (Rezende et al., 2016). De acordo com os mesmos autores, esta estratégia de usar soro de leite evitaria graves problemas ambientais, pois o soro de leite ácido é rico em vários nutrientes e não pode ser descartado em cursos d'água ou lagos.

Outro método para reduzir os riscos associado à silagem de grãos de milho é o uso de inoculante enzimático-bacteriano que contém várias cepas de bactérias homofermentativas e/ou

bactérias heterofermentativas e um complexo enzimático contendo celulase e hemicelulase (Rezende et al., 2014; Jesus et. al., 2021). Dentro do silo, essas cepas de bactérias ácido-láticas produzem rapidamente grande quantidade de ácidos lático e acético, diminuindo o pH da silagem (Muck et al., 2018), melhorando a conservação de nutrientes. Além disso, o ácido acético produzido em circunstâncias especiais inibe o crescimento de fungos e leveduras e também melhora a estabilidade aeróbia do material ensilado (Muck et al., 2018). Dessa forma, a avaliação da reidratação do milho com soro de leite ácido combinado com o uso de inoculante bacteriano-enzimático nas características fermentativas e valor nutricional da silagem torna-se relevante nas propriedades rurais.

Com base no exposto, objetivou-se avaliar os efeitos da reidratação dos grãos de milho, com água ou soro de leite ácido, bem como os efeitos da inoculação enzimático-bacteriano sobre as perdas fermentativas, estabilidade aeróbia e valor nutricional das silagens.

Material e Métodos

Todos os procedimentos de manejo dos animais foram aprovados pelo Comitê de Ética em Experimentação e Bem-Estar Animal da Universidade Estadual de Montes Claros, Brasil (protocolo 155/2019).

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Montes Claros, Campus de Janaúba (coordenadas geográficas: 15° 52'38 "S, 43 ° 20'05" W). A precipitação média anual no local é inferior a 800 mm, com temperatura média anual de 28 °C e umidade relativa de aproximadamente 65%. O clima na região é BSh de acordo com Köppen e Geiger(1928).

A cultivar de milho RB-8061 (Seeds KWS Riber, Patos de Minas, Brasil) foi colhida quando o teor de umidade do grão era de 12% (flint corn). Os grãos de milho foram primeiro moídos para obter um tamanho de partícula de 3 mm. Durante a ensilagem, o milho moído foi reidratado com água limpa e sem cloro, ou soro leite sem sal (NaCl) associado ou não com inoculante bacteriano-enzimático. O soro de leite ácido foi obtido de um fabricante de queijo. Foram calculadas as quantidades de soro de leite ácido e água necessárias para atingir os níveis de umidade estabelecidos de 35% (Rezende et al., 2014) com a seguinte equação:

Δ Líquido (L) = [MU × (FM – IM)/100 – FM]/ SM, sendo MU = massa de úmida (kg), FM = umidade final, IM = umidade inicial e SM = massa específica (kg/L).

O inoculante enzimático-bacteriano liofilizado (SILOTRATO[®]) foi pulverizado de acordo com as recomendações do fabricante (1g do produto por tonelada de massa de forragem verde).

O inoculante enzimático-bacteriano utilizado foi composto por *Lactobacillus curvatus*, *L. acidophilus*, *L. plantarum*, *L. buchneri*, *L. lactis*, *Pediococcus acidilactici* e *Enterococcus faecium*, nas concentrações de 10^{10} UFC g⁻¹ e 5% do complexo enzimático à base de celulase. Os níveis de garantia foram atendidos pelo fabricante. A mesma quantidade de água foi aplicada na silagem-controle. A composição química do milho e do soro de leite ácido utilizado, *in natura*, pode ser verificada na Tabela 1.

Os níveis de água e soro ácido aplicados no grão de milho foram calculados para representar a variação do teor de MS geralmente encontrado em silagens de milho de alta umidade utilizadas nas fazendas. Os líquidos foram misturados aos grãos, sendo estes então ensilados em silos experimentais confeccionados em tubos de Policloreto de Vinila (PVC) com capacidade de 3,92 L, com pretensão de obtenção da densidade final de 1025 ± 50 kg de grão de milho / m³. Os silos foram armazenados em uma sala e permaneceram fechados por 60 dias. Após a abertura dos silos, a recuperação de MS foi calculada como segue abaixo:

MS recuperada (%) = $[(Fop \times MSop)/(Fen \times MSen) \times 100]$, onde Fop e MSop = massa de forragem e teor de MS na abertura dos silos; Fen e MSen = massa de forragem e teor de MS na ensilagem.

As perdas total de matéria seca (PMS) nas silagens sob as formas de gases e efluentes foram quantificadas por diferença de peso do conjunto e massa ensilada de acordo com Jobim et al. (2007). Para a perda de matéria seca foi utilizada a equação:

$$PMS = (MSi - MSf) / (MSi) \times 100,$$

onde: MSi = Quantidade de MS inicial. Peso do silo após enchimento – peso do conjunto vazio, sem a forragem, antes do enchimento (tara seca) x teor de MS da forragem na ensilagem. MSf = Quantidade de MS final. Peso do silo cheio antes da abertura – peso do conjunto vazio, sem a forragem, após a abertura dos silos (tara úmida) x teor de MS da forragem na abertura.

A estabilidade aeróbica foi determinada colocando-se uma amostra de silagem (aproximadamente 3 kg) em minissilo e mantida em uma sala não climatizada com a temperatura variável (24,5–27,5 °C). A temperatura da silagem foi medida a cada oito horas usando *data logger* colocado no centro da massa por cinco dias. A temperatura ambiente foi medida com um coletor de dados colocado perto dos minissilos. A estabilidade aeróbica foi definida como o número de horas em que a temperatura da silagem permaneceu estável antes de aumentar mais de 2 °C acima da temperatura ambiente (Kung et al., 2007). Determinou-se o pH por meio de extrato da silagem apenas no momento da abertura do silo. O pH foi medido com potenciômetro (Ak 90, Akso Measuring Instruments, São Leopoldo, RS, Brasil).

Uma parte das silagens foi pré-seca em estufa de ventilação forçada a 55 °C. A seguir, todas as amostras foram moídas em moinho de facas com peneira com malha de 1 mm para análise laboratorial. As amostras foram analisadas quanto ao teor de matéria seca (INCT-CA G-001/1 e G-003/1), proteína bruta (INCT-CA N-001/1), extrato etéreo (INCT-CA G-005/1), cinzas (INCT-CA M-001/1), fibra em detergente neutro (INCT-CA F-002/1) e fibra em detergente ácido (INCT-CA F-003/1), lignina (INCT-CA F-005/1) e carboidratos não fibrosos, de acordo Detmann et al. (2012). O conteúdo de nutrientes digestíveis totais (NDT) foi estimado de acordo com NRC (2001).

A digestibilidade *in vitro* da MS, matéria orgânica, proteína bruta, fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido foi determinada de acordo Tilley & Terry (1963). A técnica foi modificada, utilizando-se a incubadora *in vitro* Tecnal® (TE-150), com uso de tecido não tecido (100 g m⁻²) para confecção do saco de incubação (7.5 x 7.5 cm), de acordo com Valente et al. (2011).

Uma análise de componentes principais (ACP) foi realizada com o objetivo de melhor compreender a natureza da relação entre as variáveis estudadas e as variáveis independentes. Para essa análise, foram consideradas 13 características estudadas. Tomando por base a matriz de correlação entre as características, os dados foram submetidos à ACP, na qual as variáveis foram padronizadas para média igual a zero e variância igual a um. Foi utilizada uma matriz de correlação ao invés de uma matriz de covariância (Jonhson & Wichern, 2007). Foi utilizado o método de Kaiser (1960) para escolher quais componentes principais melhor simplificariam a variabilidade presente nos dados e que iriam compor as demais análises e interpretações. Nesse método, foram considerados os autovalores iguais ou superiores a um (1), uma vez que as variáveis originais também apresentavam variância igual a um, após terem sido padronizadas. Para as variáveis poderem ser comparadas, criaram-se novas variáveis padronizadas a partir das originais da seguinte forma:

$V_p = (V - x) / \sigma$, em que:

V_p = nova variável ponderada;

V = variável observada;

x = média das observações da variável original;

σ = desvio padrão da variável observada.

Na ACP, cada componente principal (Y_i) corresponde a uma combinação linear das 13 variáveis padronizadas (X_j) e essas combinações não são correlacionadas entre si:

$$Y_i = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{ip}X_p = \sum_{j=1}^p a_{ij}X_j$$

$$\sum_{j=1}^p a_{ij}^2 = 1$$

, em que:

a_{ij} são os autovetores, com $i = 1, 2, p$ e

O primeiro componente principal, Y_1 , possui variância máxima entre todas as combinações lineares de X . O segundo componente principal é não correlacionado com o primeiro e possui a segunda maior variância e, assim, sucessivamente. A cada componente principal Y_i existe p autovalor (λ) ordenado de forma que

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p$$

A importância relativa de um componente principal foi avaliada a partir da percentagem de variância total por ele explicada, ou seja, a percentagem de seu autovalor em relação ao total dos autovalores de todos os componentes, dado por:

$$Y_i = \frac{Var(Y_i)}{\sum_{i=1}^p Var(Y_i)} \times 100 = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} \times 100$$

A interpretação de cada um dos componentes principais selecionados foi feita de acordo com as variáveis com os maiores coeficientes de ponderação (autovetores), em valor absoluto. Na literatura não há um valor específico que determine quando um coeficiente de ponderação é importante, então esses valores foram interpretados de acordo com a relação entre as características dentro de cada componente.

Os dados foram submetidos à análise de variância. O teste de Shapiro-Wilk e o teste de Bartlett foram utilizados para examinar a normalidade dos resíduos e a homocedasticidade da variância, respectivamente. A análise das variáveis relacionadas ao perfil de fermentação e valores nutricionais ocorreu de acordo com o modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + Reid_i + Ino_j + Reid \times Ino_i + e_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} = A observação referente à fonte de reidratação na parcela "i" na ausência e presença do inoculante na parcela "j" na repetição "k";

μ = constante associada a todas as observações;

Reid_i = Efeito da fonte de reidratação “i”, com i = 1 e 2;

Ino_i = Efeito da ausência e presença do inoculante “j”, com i = 1 e 2;

Reid x Ino_i = Efeito da interação do nível “i” da fonte de reidratação com o nível “j” do inoculante;

e_{ijk} = erro experimental associado às parcelas que por hipótese tem distribuição normal com média zero e variância δ_2 .

A estabilidade aeróbia da silagem foi analisada seguindo um delineamento inteiramente casualizado em parcelas subdivididas com quatro tratamentos (parcelas) e seis vezes após a abertura (subparcelas) com seis repetições. Foi adotado o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + \text{Reid}_i + \text{Ino}_j + e_{ij} + \text{Time}_k + \text{Reid}_i \times \text{Ino}_j + \text{Reid}_i \times \text{Time}_k + \text{Ino}_j \times \text{Time}_k + \text{Reid}_i \times \text{Ino}_j \times \text{Time}_k + e_{ijkl}$$

Em que:

Y_{ijk} = A observação referente à fonte de reidratação na parcela “i” na ausência e presença do inoculante na parcela “j” na repetição “l”;

μ = constante associada a todas as observações;

Reid_i = Efeito da fonte de reidratação “i”, com i = 1 e 2;

Ino_i = Efeito da ausência e presença do inoculante “j”, com i = 1 e 2;

Time k = Effect of time after opening the silage “k”, com k=1, 2, 3, 4, 5 e 6;

Reid x Ino_i = Efeito da interação do nível “i” da fonte de reidratação com o nível “j” do inoculante;

Reid x Time k = Efeito da interação do nível “i” da fonte de reidratação com o nível “k” do tempo após abertura;

Ino_i x Time k = Efeito da interação do nível “j” do inoculante com o nível “k” do tempo após abertura;

e_{ijkl} = erro experimental associado às parcelas que por hipótese tem distribuição normal com média zero e variância δ_2 .

Quando significativas pelo teste de F, as médias referente às fontes de reidratação e o uso de inoculante foram comparadas pelo Teste de F. O desdobramento das interações foi realizado pelo teste de Tukey. Para todos os procedimentos estatísticos, $\alpha = 0,05$ foi utilizado como limite máximo tolerável para erro do tipo I.

Para análise exploratória dos dados por análise dos componentes principais (PCA), foi utilizado o software INFOSTAT (Hammer, Harper & Ryan, 2001).

Resultados e Discussão

Não houve interação ($P = 0,22$) das fontes de reidratação (água ou soro) do milho com o uso ou não do inoculante e os tempos após a abertura dos silos para valores de temperatura durante a exposição aeróbia da silagem. Entretanto, houve interação ($P = 0,02$) das fontes de reidratação e o uso ou não do inoculante na temperatura da silagem durante a exposição aeróbia (Tabela 2). O menor valor foi encontrado na silagem de milho reidratado com soro de leite adicionado com inoculante bacteriano-enzimático. Quanto aos tempos após a abertura, a temperatura máxima encontrada foi $27,80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($63,33\text{ h}$) ($P < 0,01$). No entanto, a temperatura não excedeu a temperatura ambiente $+ 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, apresentando uma média de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Após 120 h de exposição aeróbia de silagem de milho reidratada, não houve quebra na estabilidade independentemente do o tratamento utilizado (Figura 1).

Quanto à ausência e presença de inoculante, a silagem de grão de milho sem inoculante mostrou uma temperatura média durante todo o período de exposição aeróbia, sendo $1,40\%$ maior ($P < 0,01$) em relação à silagem de milho com inoculante (média de $27,27\text{ }^{\circ}\text{C}$; Figura 2). Isso ocorreu porque bactérias heterofermentativas presentes no inoculante produziram ácido acético, que é responsável por inibir o crescimento de bactérias do gênero *Clostridium*. De acordo com Kung et al. (2018), este resultado é justificado pelo crescimento de bacilos na silagem com exposição ao ar associado a um pH acima de 5. Além disso, os mesmos autores argumentaram que o aumento na temperatura do material ensilado sem inoculante está relacionado à proliferação de microrganismos indesejáveis (leveduras, bactérias, fungos filamentosos) que aceleram a deterioração do material. Assim, o uso do inoculante bacteriano enzimático em silagem de grão de milho reidratado justifica-se porque o *Lactobacillus buchneri*, durante o metabolismo de carboidratos, converte o ácido pirúvico em ácido láctico e este último em ácido acético em condições de anaerobiose, que desempenha ação fungicida na silagem (NC Silva et. al., 2018).

Neste estudo, o ajuste do teor de umidade para 35% durante a ensilagem não gerou problemas com a quebra de estabilidade aeróbia com menos de 120 horas. Isso pode ser justificado pelas condições climáticas da região semiárida que possui altas temperaturas, favorecendo perdas de umidade durante a preparação da silagem de milho reidratado. Para Ashbell, Weinberg, Hen e Filya (2002), a quebra na estabilidade aeróbia da silagem é um grande problema em países com clima quente e tem como consequência problemas associados à manutenção do estado e valor nutricional da silagem produzida.

Houve diferença nas perdas de MS entre silagens de milho reidratadas sem e com

inoculante. As perdas de MS foram 37,51% maiores na silagem sem inoculante em comparação à silagem com inoculante (média de 3,84% MS; Tabela 3). A razão para essa diferença está relacionada ao aumento da temperatura da massa ensilada como resultado da ocorrência de fermentação indesejada na silagem sem inoculante. O inoculante contém bactérias ácido-lácticas responsáveis pela produção de ácido láctico (Silva et al., 2018), que tem a função de reduzir rapidamente o pH da massa ensilada após o fechamento do silo e também as perdas de MS.

Não houve diferença entre fontes de reidratação sobre as perdas de MS ($P = 0,39$), apresentando média de 4,99%. Ávila et al. (2019) encontraram perdas de MS superior da silagem durante a reidratação do milho a 35% de umidade com uso do soro em comparação com a água. Os autores argumentaram que a fermentação da lactose presente no soro de leite ácido pode diminuir MS do conteúdo devido ao processo de fermentação para maior produção de ácidos orgânicos na silagem. Silagem de milho com o inoculante aumentou em 2,39% o índice de recuperação de MS.

Houve interação ($P < 0,01$) das fontes de reidratação e uso de inoculante nos valores de pH da silagem. Os menores valores de pH foram verificados nas silagens com o uso de inoculante bacteriano-enzimático e soro de leite como fonte de reidratação. Este resultado ocorreu porque o soro de leite é ácido ($\text{pH} = 5,33$). Além disso, soro de leite ácido é uma boa fonte de carboidratos de rápida fermentação (lactose) e sua adição à silagem de milho proporciona fermentação rápida com um incremento na produção de ácido láctico conforme verificado por Rezende et al. (2014). De acordo com Muck et al. (2018) e Kung et al. (2018), a síntese de ácido láctico, cujo pKa é 3,85, favorece a rápida redução do pH da silagem em relação a outros ácidos orgânicos (ou seja, acético, propiônico e ácidos butíricos). Em geral, as silagens apresentam valores de pH dentro da faixa considerada adequada (3,5-4,5), mostrando uma fermentação de boa qualidade para silagem de milho reidratado.

O milho reidratado com soro de leite ácido apresentou aumento de 2,19% ($P < 0,01$) no teor de cinzas e de 31,36% no teor de MS quando comparado ao reidratado com água, revelando uma média de 1,28% para cinzas e 66,14% para MS. Este resultado é justificado pelo conteúdo do MS ($72,75 \text{ g kg}^{-1}$ na alimentação) e minerais no soro de leite (Tabela 4).

A silagem com inoculante apresentou teor de MS 0,64% maior em comparação com a silagem sem inoculante (média de $666,6 \text{ g kg}^{-1}$). Houve aumento no teor de proteína bruta na silagem de milho reidratada com inoculante ($P = 0,02$). O teor de fibra em detergente neutro não foi modificado ($P = 0,76$) independentemente do tratamento, com uma média de $84,5 \text{ g/kg}$. Os maiores níveis de carboidratos totais ($P < 0,01$) foram encontrados nas silagens de milho

reidratadas com água sem inoculante e soro com inoculante. As silagens de milho reidratadas com água com inoculante e soro de leite sem inoculante demonstraram maiores níveis de nutrientes digestíveis totais ($P < 0,01$). No geral, o uso de inoculantes em silagem de grãos visa incrementar a população de bactérias produtoras de ácido láctico. Este ácido favorecerá a redução do pH da massa ensilada devido ao seu baixo valor de pKa (constante de dissociação) com valor de 3,86 (Pahlow, Muck, Driehuis, Oude-Elferink, & Spoelstra, 2003). Este processo pode prevenir o crescimento de bactérias, fungos e outros microrganismos indesejáveis que fermentam a matéria orgânica para produzir gases, resultando em perdas de MS. Neste estudo, esta contribuição do inoculante foi verificada porque houve menor perda da MS quando comparada à silagem-controle. A menor perda de MS associada ao maior teor de proteína na silagem com inoculante é uma novidade, desde que, presente no endosperma da matriz proteica, pode ser solubilizada em ácido láctico e ácido acético (NC Silva et al., 2018).

Não houve interação ($P = 0,30$) das fontes de reidratação e o uso de inoculantes na digestibilidade *in vitro* da MS (média de 79,26%; Tabela 5). A maior digestibilidade da proteína bruta foi observada na silagem com inoculante. Esta melhoria na MS e na digestibilidade da proteína bruta está relacionada com a quebra das ligações das prolaminas com o amido (Silva et al., 2018). Para Hoffman et al. (2011), as prolaminas podem ser quebradas durante a ensilagem por enzimas da planta e pelos microrganismos da silagem através proteólise e solubilização por ácidos durante o processo de fermentação. A melhor digestibilidade da matéria seca e proteína bruta verificada aqui foi provavelmente desencadeado pela maior disponibilidade de amido (Zinn, Owens, & Ware, 2002), que por sua vez foi induzida pela proteólise durante a fermentação da silagem (Silva et al., 2018). Para Junges et al. (2017), a atividade proteolítica das bactérias presentes no inoculante é o principal responsável pela proteólise na silagem de grão de milho reidratado. Enzimas de grãos, fungos e a fermentação dos produtos contribuem menos para esta quebra da matriz proteica.

O uso do inoculante resultou no maior nível de digestibilidade da fibra em detergente neutro da silagem de milho, que parece estar relacionado com o complexo enzimático presente no aditivo. Este complexo enzimático contém celulase e hemicelulase que podem causar o afrouxamento estrutural do arranjo de fibras presentes no pericarpo do milho, favorecendo a ação das bactérias fibrolíticas (Martínez et al., 2020). Esse mesmo comportamento foi verificado na digestibilidade da fibra em detergente ácido, que foi maior na silagem de milho reidratada com soro de leite associado ao inoculante. Não houve diferença entre tratamentos para o teor de matéria seca indigestível, com média de 14,03%. No entanto, a fração indigestível de fibra em

detergente neutro foi 29,52% maior na silagem de milho reidratada com soro de leite (média de 13,09%). Sobre a fração indigestível de fibra em detergente ácido, houve efeito do uso de inoculantes. A presença do inoculante reduziu a fração indigestível de fibra em detergente ácido na silagem devido à presença do complexo enzimático.

O método de Kaiser (1960) considera os componentes principais (PC) com autovalores iguais ou superiores a um (1). Na tabela 5, os primeiros cinco PCs explicaram 98,59% de variância dos resultados com base na análise da matriz de correlação dos dados originais. Os PCs 1 e 2 apresentaram mais de 70% (90,69%) da variação dos resultados, o que confirma que esses dois PCs são de maior importância para interpretação de dados.

No PC 1, constatou-se que a digestibilidade *in vitro* da proteína bruta (0,9877) apresentou o maior autovetor entre as variáveis (Tabela 6), o que significa que esta variável representou mais de 70% de variância.

No PC 2, a digestibilidade *in vitro* de matéria orgânica e a digestibilidade *in vitro* de matéria seca apresentou maiores autovetores em comparação com as outras variáveis. Apesar de demonstrarem menos variação de resultados, nos PC 3, PC 4 e PC 5, os carboidratos não fibrosos e carboidratos totais foram variáveis influenciadas pelos tratamentos (Tabela 7).

Em geral, as variáveis no PC são as mais importantes no conjunto de dados devido ao maior autovetor. Todavia, é importante que essas variáveis sejam biologicamente explicáveis no contexto geral dos resultados. As silagens de milho reidratado com água ou soro de leite ácido combinado com o uso de inoculantes bacteriano-enzimático revelaram maior digestibilidade *in vitro* de proteína bruta e matéria orgânica, cujos valores são altamente expressos em PC 1 e PC 2, respectivamente. Com base no comportamento dos componentes principais, é possível observar a importância do soro de leite ácido como fonte de reidratação do milho. Esta estratégia evita o descarte de soro ácido em cursos de água ou lagos.

Conclusões

O soro de leite ácido tem grande potencial para ser utilizado na reidratação e ensilagem do grão de milho.

O uso do inoculante bacteriano-enzimático melhora as características fermentativas, composição química e a digestibilidade *in vitro* da silagem de grãos de milho reidratado com água ou soro de leite.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT – Ciência Animal) pela ajuda com bolsas / pesquisas. Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) Código Financeiro 001. Agradecendo ainda toda a equipe envolvida no desenvolvimento deste estudo: professores, alunos da graduação e pós graduação.

Conflitos de interesse

Não há conflitos de interesse.

Tabelas e figuras

Tabela 1. Composição química do milho e soro de leite, *in natura*

| Item | Milho, g/kg da MS |
|-------------------------------|-------------------|
| Matéria seca | 897,2 |
| Cinzas | 15,4 |
| Proteína bruta | 104,2 |
| Fibra detergente neutro | 35,0 |
| Carboidratos totais | 845,3 |
| Carboidratos não fibrosos | 678,4 |
| Nutrientes digestíveis totais | 861,1 |
| | Soro de leite |
| pH | 5,33 |
| Acidez (°D) | 28 |
| Densidade a 15° C | 1,024 |
| Matéria seca, g/kg as fed | 72,75 |
| Gordura (%) | 0,40 |
| Lactose (%) | 4,62 |
| Proteína (%) | 0,76 |

| | |
|----------------------|------|
| Cinzas (%) | 0,43 |
| Sólidos totais 1 (%) | 6,74 |
| Sólidos totais 2 (%) | 6,21 |

Sólidos totais 1 = Fórmula prática (utilizando valores de densidade e gordura); Sólidos totais 2 = utilizando a secagem em estufa.

Tabela 2. Características fermentativas de silagens de milho reidratado com água ou soro de leite com ou sem inclusão de inoculante enzimático-bacteriano

| Item | Inoculante | Reidratação | | EPM | p-valor | | |
|----------------------|------------|-------------|---------------|------|---------|-------|------------|
| | | Água | Soro de Leite | | Reid | Ino | Reid x Ino |
| Temperatura, °C | Sem | 27,56 Aa | 27,76 Aa | 0,07 | 0,72 | <0,01 | 0,02 |
| | Com | 27,41 Aa | 27,14 Bb | | | | |
| Perdas de MS, % MS | Sem | 5,89 | 6,40 | 0,29 | 0,39 | <0,01 | 0,38 |
| | Com | 3,84 | 3,84 | | | | |
| Recuperação da MS, % | Sem | 94,10 | 93,59 | 0,29 | 0,39 | <0,01 | 0,38 |
| | Com | 96,15 | 96,15 | | | | |
| pH | Sem | 4,23 Ba | 4,01 Ab | 0,02 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| | Com | 4,03 Aa | 4,00 Aa | | | | |

MS – matéria seca; EPM - erro padrão da média; p – Probabilidade. Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de tukey (P<0,05).

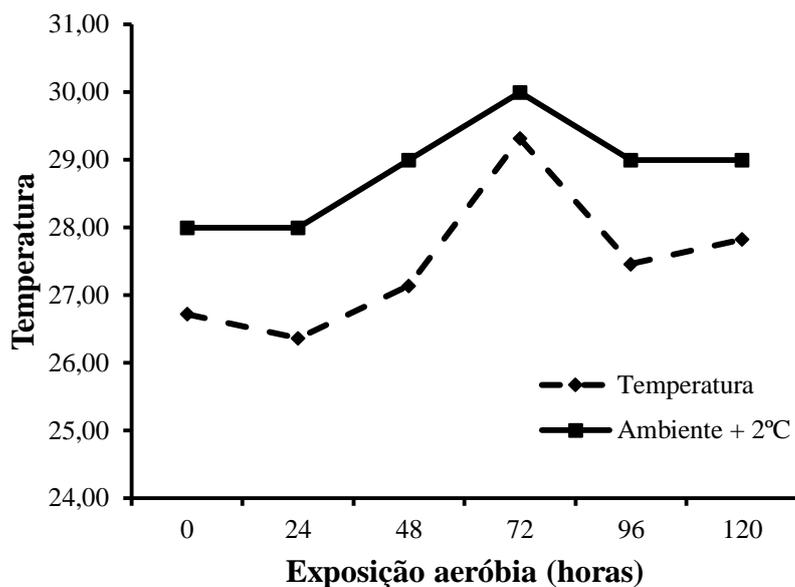


Figura 1. Valores de temperatura das silagens de milho reidratado com água ou soro de leite com inclusão de inoculante enzimático-bacteriano durante a estabilidade aeróbia.

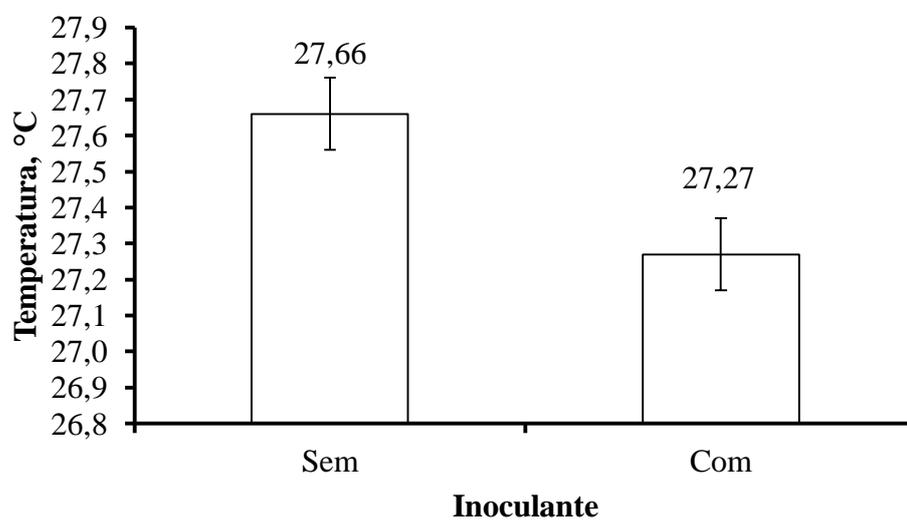


Figura 2. Valores de temperatura das silagens de milho reidratado com água ou soro de leite com e sem inclusão de inoculante enzimático-bacteriano durante a estabilidade aeróbia.

Tabela 3. Características de fermentação de silagens de grãos de milho reidratados com água ou soro de leite com ou sem inclusão de inoculante enzimático-bacteriano

| Item | Inoculante | Reidratação | | EPM | p-valor | | |
|-------------------------------|------------|-------------|---------------|------|---------|-------|------------|
| | | Água | Soro de leite | | Reid | Ino | Reid x Ino |
| Perdas de MS, %MS | Sem | 5.89 | 6.40 | 0.29 | 0.39 | <0.01 | 0.38 |
| | Com | 3.84 | 3.84 | | | | |
| Matéria seca recuperada(%) | Sem | 94.10 | 93.59 | 0.29 | 0.39 | <0.01 | 0.38 |
| | Com | 96.15 | 96.15 | | | | |
| pH | Sem | 4.23 Ba | 4.01 Ab | 0.02 | <0.01 | <0.01 | <0.01 |
| | Com | 4.03 Aa | 4.00 Aa | | | | |

MS - matéria seca; SEM - erro padrão da média; p - Probabilidade. Significa seguido por letras diferentes, maiúsculas na mesma coluna, e letras minúsculas na mesma linha, são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (P <0,05).

Tabela 4. Composição química de silagens de milho reidratado com água ou soro de leite com ou sem inclusão de inoculante enzimático-bacteriano

| Item (g/kg) | Inoculante | Reidratação | | EPM | p-valor | | |
|----------------------------------|------------|-------------|---------------|-----|---------|-------|------------|
| | | Água | Soro de Leite | | Reid | Ino | Reid x Ino |
| Matéria seca | Sem | 658,4 | 674,9 | 2,1 | <0,01 | 0,05 | 0,45 |
| | Com | 664,4 | 677,6 | | | | |
| Cinzas | Sem | 12,9 | 18,0 | 0,9 | <0,01 | 0,45 | 0,40 |
| | Com | 12,8 | 19,5 | | | | |
| Proteína bruta | Sem | 70,0 | 74,7 | 4,6 | 0,94 | 0,02 | 0,28 |
| | Com | 86,3 | 80,9 | | | | |
| Fibra em detergente neutro | Sem | 87,9 | 83,0 | 5,6 | 0,25 | 0,83 | 0,76 |
| | Com | 90,8 | 82,5 | | | | |
| Carboidratos totais | Sem | 855,1 Aa | 840,6 Ab | 4,0 | 0,72 | <0,01 | <0,01 |
| | Com | 831,0 Ba | 842,7 Aa | | | | |
| Carboidratos não fibrosos | Sem | 767,1 | 757,6 | 7,8 | 0,51 | 0,13 | 0,07 |
| | Com | 740,2 | 760,2 | | | | |
| Nutrientes digestíveis totais | Sem | 824,2 Bb | 842,3 Aa | 4,9 | 0,98 | 0,06 | <0,01 |
| | Com | 851,9 Aa | 834,1 Ab | | | | |

EPM - erro padrão da média; p – Probabilidade. Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 5. Digestibilidade e fração indigestível de silagens de milho reidratado com água ou soro de leite com ou sem inclusão de inoculante enzimático-bacteriano

| Item | Inoculante | Reidratação | | EPM | p-valor | | |
|---------------------------------------|------------|-------------|---------------|------|---------|-------|------------|
| | | Água | Soro de Leite | | Reid | Ino | Reid x Ino |
| <i>Digestibilidade in vitro, % MS</i> | | | | | | | |
| Matéria seca | Sem | 80,55 | 80,23 | 0,54 | 0,38 | 0,53 | 0,3 |
| | Com | 78,65 | 77,64 | | | | |
| Matéria orgânica | Sem | 68,64 | 69,57 | 1,9 | 0,47 | 0,28 | 0,81 |
| | Com | 66,11 | 67,94 | | | | |
| Proteína bruta | Sem | 68,05 Ba | 64,81 Bb | 0,46 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| | Com | 70,37 Aa | 69,90 Aa | | | | |
| Fibra em detergente neutro | Sem | 65,58 | 64,51 | 0,58 | 0,99 | <0,01 | 0,11 |
| | Com | 69,74 | 68,08 | | | | |
| Fibra em detergente ácido | Sem | 45,93 | 40,28 | 0,43 | 0,03 | <0,01 | 0,62 |
| | Com | 51,89 | 57,63 | | | | |
| <i>Fração indigestível, % MS</i> | | | | | | | |
| Matéria seca | Sem | 11,27 | 14,05 | 2,1 | 0,09 | 0,20 | 0,68 |
| | Com | 13,14 | 17,68 | | | | |
| Fibra em detergente neutro | Sem | 11,57 | 13,03 | 1,36 | 0,04 | 0,31 | 0,27 |
| | Com | 8,65 | 13,16 | | | | |
| Fibra em detergente ácido | Sem | 4,33 | 4,19 | 0,43 | 0,37 | 0,02 | 0,24 |
| | Com | 2,74 | 3,66 | | | | |

EPM - erro padrão da média; p – Probabilidade. Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 6. Componentes principais (CPs), autovalores e porcentagem da variância das características avaliadas nas silagens de milho reidratado com água ou soro de leite com inclusão de inoculante enzimático-bacteriano.

| PC | Valor próprio | % variação |
|----|---------------|------------|
| 1 | 108,04 | 75,87 |
| 2 | 21,11 | 14,83 |
| 3 | 7,62 | 5,35 |
| 4 | 1,96 | 1,38 |
| 5 | 1,66 | 1,17 |
| 6 | 0,89 | 0,63 |
| 7 | 0,65 | 0,46 |
| 8 | 0,28 | 0,20 |
| 9 | 0,08 | 0,05 |
| 10 | 0,06 | 0,04 |
| 11 | 0,03 | 0,02 |
| 12 | 0,01 | 0,01 |
| 13 | 0,00 | 0,00 |

Tabela 7. Coeficientes de ponderação dos componentes principais (CP) mantidos, sendo consideradas as características em ordem de maior importância

| Item | Coeficientes de Ponderação (autovetores) | | | | |
|--------|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | PC 1 | PC 2 | PC 3 | PC 4 | PC 5 |
| Ph | -0,0002 | 0,0050 | 0,0160 | 0,0276 | -0,0375 |
| TEMP | -0,0075 | 0,0082 | 0,0167 | -0,0337 | 0,1200 |
| MS | 0,0256 | 0,0508 | -0,0528 | -0,3072 | 0,4088 |
| Cinzas | 0,0059 | 0,0280 | 0,0003 | -0,1386 | 0,1470 |
| PB | 0,0729 | 0,0197 | -0,2230 | -0,0833 | -0,0034 |
| EE | -0,0106 | -0,0892 | -0,3251 | 0,2012 | 0,1574 |
| CT | -0,0183 | 0,0539 | 0,4220 | -0,0165 | -0,2200 |
| CNF | -0,0118 | 0,0554 | 0,6710 | 0,0001 | 0,6124 |
| NDT | -0,0024 | -0,1370 | -0,3921 | 0,3063 | 0,5715 |
| DIVMS | -0,0667 | 0,1669 | 0,1410 | 0,6790 | -0,1182 |
| DIVMO | 0,0865 | 0,9629 | -0,1665 | -0,0561 | 0,0628 |
| DIVPB | 0,9877 | -0,0710 | 0,0604 | 0,1081 | -0,0136 |
| PMS | -0,0765 | 0,0589 | 0,0893 | 0,5168 | 0,0495 |

TEMP – Temperatura; MS- matéria seca; PB – proteína bruta; EE – extrato etéreo; CT – carboidratos totais; CNF - carboidratos não fibrosos; NDT – nutrientes digestíveis totais; DIVMS- digestibilidade *in vitro* da matéria seca; RMS – Recuperação da MS; PMS – Perdas de MS

Referências

- Ashbell, G., Weinberg, Z. G., Hen, Y., & Filya, Y. (2002). The effects of temperature on the aerobic stability of wheat and corn silages. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 28(5), 261-263. doi: 10.1038/sj/jim/7000237
- Ávila, N. R. B., Dias e Silva, N. C., Leite, R. F., Barbosa, L. A., Florentino, L. A., & Rezende, A. V. (2019). Caracterização da silagem de grão de milho reidratado associado ao resíduo de tilápia. *Ciência Animal Brasileira*, 20(e-50220), 1-12. doi: 10.1590/1089-6891v20e-50220
- Bernardes, T. F., & Rêgo, A. C. (2014). Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 97(3), 1852-1861. doi: 10.3168/jds.2013-7181
- Castro, L. P., Pereira, M. N., Dias, J. D. L., Lage, D. V. D., Barbosa, E. F., Melo, R. P.,... Pereira, R. A. N. (2019). Lactation performance of dairy cows fed rehydrated and ensiled corn grain differing in particle size and proportion in the diet. *Journal of Dairy Science*, 102(11), 9857-9869. doi: 10.3168/jds.2019-16559
- Cattell, R. B. (1966). The scree test for the number of factors. In *Multivariate behavior research*. (pp. 245-276).
- Daniel, J. L. P., Bernardes, T. B., Jobim, C. C., Schmidt, P., & Nussio, L. G. (2019). Production and

utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. *Grass and Forage Science*, 74(2), 188-200. doi: 10.1111/gfs.12417

Detmann, E., Souza, M. A., Valadares Filho, S. C., Queiroz, A. C., Berchielli, T. T., Saliba, E. O. S.,... Azevedo, J. A. G. (2012). *Métodos para análise de alimentos*. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema.

Ferraretto, L. F., Silva, W. I., F., Fernandes, T., Kim, D. H., & Sultana, H. (2018). Effect of ensiling time on fermentation profile and ruminal in vitro starch digestibility in rehydrated corn with or without varied concentrations of wet brewers grains. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4643- 4649. doi: 10.3168/jds.2017-14329

Hammer O, Harper DAT, Ryan PD 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol Electronica* 4: 1-9.

Hoffman, P. C., Esser, N. M., Shaver, R. D., Coblenz, W. K., Scott, M. P., Bodnar, A. L., Schmidt, R. J., & Charley, R. C. (2011). Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch protein matrix in high-moisture corn. *Journal of Dairy Science*, 94(5), 2465-2474. doi: 10.3168/ jds.2010-3562

Jacovaci, F. A., Salvo, P. A. R., Jobim, C. C., & Daniel, J. L. P. (2021). Effect of ensiling on the feeding value of flint corn grain for feedlot beef cattle: A meta-analysis. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 50(1), e20 200111. doi: 10.37496/rbz5020200111

Jesus, M. A., Monção, F. P., Rigueira, J. P., Rocha, V. R., Jr., Gomes, V. M., Delvaux, N. A., Jr.,... Santos, A. S. (2021). Effects of microbial inoculant and fibrolytic enzymes on fermentation quality and nutritional value of BRS capiaçu grass silage. *Semina: Ciências Agrárias*, 43(3), 1-10. doi: 10.5433/1679-0359.2021v42 n3Supl1p1837

Jobim, C. C., Nussio, L. G., Reis, R. A., & Schmidt, P. (2007). Avanços metodológicos na avaliação da qualidade de forragem conservada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36(1), 101-119. doi: 10.1590/S1516-35982007001000013

Junges, D., Morais, G., Spoto, M. H. F., Santos, P. S., Adesogan, A. T., Nussio, L. G., & Daniel, J. L. P. (2017). Short communication: influence of various proteolytic sources during fermentation of re-constituted corn grain silages. *Journal of Dairy Science*, 100(11), 9048-9051. doi: 10.31 68/jds.2017-12943

Kaiser, H. F.(1960).The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 141-151.

Köppen, W., Geiger, R., 1928. *Klimate der Erde*. In: Wall-Map 150 cm × 200 cm. Verlag Justus Perthes, Gotha

Kung, L., Jr., Shaver, R. D., Grant, R. J., & Schmidt, R. J. (2018). Silage review: interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, 101(1), 4020-4033. doi: 10.3168/ jds.2017-13909

Mombach, M. A., Pereira, D. H., Pina, D. S., Bolson, D. C., & Pedreira, B. C. (2019). Silage of rehydrated corn grain. *Arquivo Brasileira de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 71(3), 959-966. doi: 10.1590/1678-4162- 9676.

- Muck, R. E., Nadeau, M. G., McAllister, T. A., Contreras-Govea, F. E., Santos, M. C., & Kung, L., Jr. (2018). Silage review: recent advances and future uses of silage additives. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 3980-4000. doi: 10.3168/jds.2017-13839.
- National Research Council (2001). Nutrient requirements of dairy cattle (7th rev. ed.). Washington, DC: National Academy Press.
- Pahlow, G., Muck, R. E., Driehuis, F., OudeElferink, S. J. W. H., & Spoelstra, S. F. (2003). Microbiology of ensiling. In D. R. Buxton, R. E. Muck, & J. H. Harrison (Eds.), *Silage science and technology* (pp. 31- 93). Madison, WI: American Society of Agronomy.
- Rezende, A. V., Rabelo, C. H. S., Sampaio, L. M., Härter, C. J., Lorentino, L. A., Paula, D. W., & Braga, T. C. (2016). Ensiling a dry bakery by-product: effect of hydration using acid whey or water associated or not at urea. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 17(4), 626-641. doi: 10.1590/S15 19-99402016000400007
- Rezende, A. V., Rabelo, C. H. S., Veiga, R. M., Andrade, L. P., Härter, C. J., Rabelo, F. H. S.,... Reis, R. A. (2014). Rehydration of corn grain with acid whey improves the silage quality. *Animal Feed Science and Technology*, 197(1), 213-221. doi: 10. 1016/j.anifeedsci.2014.07.009
- Silva, C. M., Amaral, P. N. C., Baggio, R. A., Tubin, J. S. B., Conte, R. A., Pivo, J. C. D.,... Paiano D. (2016). Estabilidade de silagens de grãos úmidos de milho e milho reidratado. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 17(3), 331-343. doi: 10.1590/S15 19-99402016000300001
- Silva, N. C., Nascimento, C. F., Nascimento, F. A., Resende, F. D., Daniel, J. L. P., & Siqueira, G. R. (2018). Fermentation and aerobic stability of rehydrated corn grain silage treated with different doses of *Lactobacillus buchneri* or a combination of *Lactobacillus plantarum* and *Pediococcus acidilactici*. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4158-4167. doi: 10. 3168/jds.2017-13797
- Tilley, J. M. A., & Terry, R. A. (1963). A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Journal of the British Grassland Society*, 18(2), 104-111. doi: 10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x
- Valadares, S. C., F., Costa e Silva, L. F., Giobelle, M. P., Rotta, P. P., Marcondes, M. I., Chizzotti, M. L., & Prados, L. F. (2016). Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados (3a ed.). Recuperado de <https://brcorte.com.br/livro2016br>
- Valente, T. N. P., Detmann, E., Queiroz, A. C., Valadares, S. C., F., Gomes, D. I., & Filgueiras, J. F. (2011). Evaluation of rumen degradation profiles of forages using bags made from different textiles. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(11), 2565-2573. doi: 10.1590/S1516-35982011001100039
- Zinn, R. A., Owens, F. N., & Ware, R. A. (2002). Flaking corn: Processing mechanics, quality standards, and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. *Journal Animal Science*, 80(5), 1145-1156. doi: 10.2527/2002.80

CONSIDRAÇÕES FINAIS

A reidratação de grãos de milho para a produção de silagem é de grande relevância para a região semiárida, sendo alternativa para armazenamento do grão de umidade baixa (12%) por períodos prolongados sem afetar seus nutrientes e sendo alternativa alimentar para aos animais ruminantes em longos períodos de estiagem atendendo as necessidades nutricionais.

O soro de leite como fonte de reidratação fornece nutrientes ao material ensilado e permite o aproveitamento deste resíduo agroindustrial, que se descartado em cursos d'água, pode provocar severos danos ambientais.

Os inoculantes bacteriano-enzimáticos possibilitam uma melhor digestão dos carboidratos fibrosos (celulose, hemicelulose, lignina) pois auxiliam que os microrganismos acessem esses componentes com maior facilidade, fazendo com que haja maior aproveitamento dos nutrientes do alimento fornecido o que reflete em melhor desempenho animal.