

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/355653532>

ESTABILIDADE ANAERÓBIA DE LONGO PRAZO EM SILAGENS

Conference Paper · February 2021

CITATIONS

0

READS

270

5 authors, including:



[Aníbal Coutinho do Rêgo](#)

Federal University of Ceará

95 PUBLICATIONS 549 CITATIONS

SEE PROFILE



[Rosana Ingrid Ribeiro dos Santos](#)

Federal Rural University of Amazonia

7 PUBLICATIONS 17 CITATIONS

SEE PROFILE



[Amanda Carolyn MARQUES de Queiroz](#)

São Paulo State University

8 PUBLICATIONS 9 CITATIONS

SEE PROFILE



[Thiago Carvalho Da Silva](#)

Federal Rural University of Amazonia

91 PUBLICATIONS 905 CITATIONS

SEE PROFILE

ESTABILIDADE ANAERÓBIA DE LONGO PRAZO EM SILAGENS

Aníbal Coutinho do Rêgo¹
Rosana Ingrid Ribeiro dos Santos²
Rita de Cássia Almeida de Mendonça²
Amanda Caroliny Marques de Queiroz²
Thiago Carvalho da Silva³

RESUMO

Em regiões semiáridas, é comum a manutenção de silos vedados por mais de um ano. Isso decorre da necessidade de utilização do alimento volumoso para os anos em que há déficit prolongado na produção de forragem. Tais reservas são oriundas do armazenamento de excedentes produzidos em anos com condições climáticas favoráveis. Nesse caso, silos mantidos fechados por muito tempo podem passar por modificações favoráveis, ou não, na fase estável do processo de ensilagem. Tais modificações dependerão de diversos fatores relacionados ao manejo, como a vedação, utilização de aditivos, isolamento da área do silo, entre outros. Na literatura, pouco se tem discutido quanto a métodos para mensurações das mudanças que venham a ocorrer na fase anaeróbia estável de silos, sendo que a maioria dos trabalhos nessa linha envol-

¹ Professor do Instituto da Saúde e Produção Animal, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, Pará (anibalcr@gmail.com).

² Discente do Programa de Pós-graduação em Saúde e Produção Animal na Amazônia, UFRA, Belém, Pará.

³ Professor do Instituto da Saúde e Produção Animal, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, Pará (tima22@hotmail.com).

vem avaliações restritas apenas ao primeiro ano de armazenamento. Dessa forma, essa revisão abordará os principais aspectos relacionados às modificações que podem ocorrer na estabilidade anaeróbia de silagens armazenadas por longo prazo, bem como possíveis formas de mensurá-las. Silagens armazenadas por períodos longos, mais de um ano por exemplo, podem ter fase anaeróbia estável mais extensa, quando se considera como fator o tempo de estocagem. As principais modificações sujeitas a ocorrer na fase anaeróbia estável são mudanças na composição química e perdas de matéria seca. As perdas de matéria seca normalmente estão associadas à infiltração de oxigênio, decorrente do manejo inadequado durante a compactação da forragem, mas principalmente do mau uso de filmes na vedação. A utilização de barreiras de oxigênio na vedação dos silos e a aplicação de aditivos em regiões próximas à superfície podem ser uma alternativa para mitigar tais perdas. Do ponto de vista metodológico, ensaios para expressar o balanço de perdas e as mensurações do avanço das infiltrações nos silos ao longo do tempo podem ser interessantes.

Palavras-chave: Aditivos. Composição química. Infiltração de oxigênio. Reserva de forragem.

INTRODUÇÃO

O uso de estratégias de conservação de forragens em regiões semiáridas é de fundamental importância para garantir a sustentabilidade da produção animal ao longo dos anos. Nessas condições, o planejamento relacionado ao suprimento de forragem para anos subsequentes, ou seja, acima das demandas anuais dos rebanhos, é indispensável. A ensilagem é uma alternativa a isso e surge como processo que possibilita a preservação da massa de forrageiras *in natura* por meio de processos fermentativos naturais em condições anaeróbias por longo prazo. Na prática, a anaerobiose pode ser obtida por vários métodos. A via mais eficiente é o armazenamento do material em ambiente fechado sob compactação, e nessas condições o oxigênio residual contido entre

os poros da forragem é rapidamente removido por enzimas presentes nas plantas envolvidas na respiração, além da ação de microrganismos.

O processo de ensilagem pode ser dividido em algumas fases: aeróbia, que ocorre da colheita à vedação do silo; fermentativa, após a vedação; fase estável e fase aeróbia durante o desabastecimento (WILKINSON; DAVIES, 2013). Tais fases podem variar quanto à duração em tempo, e este dependerá sobretudo de aspectos relacionados ao manejo na ensilagem, como espécie forrageira utilizada, teor de matéria seca na colheita, tempo de colheita, tamanho de partícula da forragem, eficiência de compactação, sistema de vedação, uso de aditivos, duração de armazenamento da massa, avanço no desabastecimento do silo, entre outros.

Em silagens armazenadas por longos períodos, mais de um ano, por exemplo, as fases fermentativa (WINDLE; WALKER; KUNG JUNIOR, 2014) e anaeróbia estável podem ser mais extensas, quando se considera como fator de estudo o tempo de estocagem. Em ambas as fases, silagens armazenadas por longos períodos podem passar por modificações do ponto de vista fermentativo, químico e de perdas de matéria seca. Especificamente, a duração da fase estável é dependente do tempo de início da utilização do alimento, e a estabilidade estará sempre associada à capacidade de redução dos efeitos da infiltração de oxigênio no silo. Dessa forma, a presente revisão abordará os principais fatores ligados a modificações na estabilidade anaeróbia de longo prazo em silagens, bem como as principais metodologias que possam ser aplicadas para expressar tais mudanças.

DEMANDAS POR ESTOCAGEM DE SILAGENS DE LONGO PRAZO EM REGIÕES SEMIÁRIDAS

As regiões semiáridas são caracterizadas normalmente pela alta evapotranspiração anual contrastadas às precipitações medianas destas (CRESWELL; MARTIN, 1998). Isso decorre do clima caracterizado por período chuvoso com baixo volume e irregularidade na distribuição pluviométrica. Dessa forma, ciclos anuais de seca provocam, em alguns

anos, limitações na produção de forragem durante o período chuvoso. Portanto, fatores climáticos têm influência direta nas perspectivas de produção anual de forragens ao longo dos anos. Assim, a orçamentação forrageira destinada à produção de um estoque forrageiro é fundamental para garantir o fornecimento de alimento aos animais em anos de maior adversidade.

Diante desse cenário, Silva *et al.* (2013) têm proposto a utilização de modelos estocásticos para possibilitar o estabelecimento de método de gestão da oferta de alimentos volumosos no semiárido brasileiro e garantir, dessa forma, a oferta desses alimentos aos rebanhos ao longo do tempo. Os autores sugerem a necessidade premente da utilização de volumosos conservados para os anos em que há déficit, mantendo assim uma regularização na oferta. Para isso, essa reserva seria oriunda do armazenamento dos excedentes de produção anual de massa seca de forragem observados nos anos de maior produção. Entre os métodos de conservação de forragem, Silva *et al.* (2013) têm sugerido a utilização da ensilagem como recurso de reserva de alimento armazenado em simulações de gestão de oferta de forragem.

Com essa técnica, grandes quantidades de forragem podem ser rapidamente conservadas, e os processos de colheita e armazenamento são menos dependentes do clima (GRANT; ADESOGAN, 2018). Além disso, uma diversidade de culturas pode ser ensilada, entre elas milho, sorgo, cana-de-açúcar, capins tropicais, leguminosas, forrageiras nativas etc. Com base nos princípios e modelos supracitados, é muito importante explorar o potencial das culturas forrageiras e das áreas cultivadas em regiões semiáridas, buscando obter a máxima produtividade. Por isso, é interessante utilizar culturas adaptadas às condições edafoclimáticas e seguir as recomendações de manejo para a produção de silagem, com o objetivo de maximizar a produção de forragem nos anos de maior precipitação pluviométrica.

Nesse contexto, tornam-se necessárias a confecção e a manutenção de silos fechados por mais de um ano, uma vez que se faz necessária a estocagem de forragem para anos posteriores. Para que isso ocorra, é preferível que seja confeccionado pelo menos um silo como reser-

va aos anos de baixa oferta e alta demanda de forragem. Portanto, no dimensionamento de silos, recomenda-se a construção de maior número de silos em detrimento de silos com grande capacidade de armazenamento, uma vez que o fornecimento de alimento aos rebanhos pode ser cessado durante o período de uso, mantendo de forma intacta a vedação dos demais silos.

Considerando os modelos para gestão de alimento aos rebanhos, Silva *et al.* (2013) sugerem como estimativa de perdas anuais de parte da massa de forragem armazenada, 20% ao longo do processo de ensilagem. Contudo, tal recomendação deve sempre ser avaliada com cautela uma vez que as perdas são extremamente variáveis, e essas podem depender das condições de campo, pré-ensilagem, respiração, temperatura na ensilagem, padrões de fermentação, métodos de vedação, proteção de filmes plásticos e manejo no desabastecimento dos silos (BORREANI *et al.*, 2018). Assim, a adoção de manejo na ensilagem com o objetivo de reduzir perdas de matéria seca é dependente dos conhecimentos que envolvam o processo fermentativo que ocorre no silo.

MODIFICAÇÕES NA FERMENTAÇÃO E NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA COM O TEMPO DE ENSILAGEM

O uso de silagens estocadas por mais de um ano pode levar a modificações no processo fermentativo e na composição química das silagens. Além disso, perdas de matéria seca podem ocorrer se técnicas de manejo corretas não forem adotadas durante a ensilagem. No silo, as perdas de silagem relacionadas ao armazenamento por longo prazo são causadas principalmente por fermentações secundárias, produção de efluentes e infiltração de ar no silo. Essas perdas podem ocorrer no abastecimento, durante o armazenamento, no desabastecimento e no cocho durante a alimentação e são resultantes das modificações no processo fermentativo.

No processo de confecção da silagem, as etapas de abastecimento, compactação e vedação do silo culminam na extinção do O₂ presente na massa por meio da redução dos espaços entre poros, respiração

do tecido vegetal ou pelo uso por microrganismos aeróbios ou anaeróbios facultativos. A fase seguinte, fermentativa, persiste de forma mais intensa no primeiro mês após a vedação, a depender da ensilabilidade da cultura e das condições de ensilagem. De maneira geral, a fase fermentativa é caracterizada pelo consumo de carboidratos solúveis em água (CSA) por bactérias ácido lácticas (BAL) que acidificam a massa reduzindo os valores de pH para próximo a 4,0. Durante esse processo, BAL competem por substratos (CSA) com microrganismos indesejáveis, como enterobactérias, clostrídeos, alguns bacilos e leveduras. Com a extinção do O₂ e a acidificação do meio, a população de BAL é diminuída, assim como a intensidade da fermentação (PALHOW *et al.*, 2003).

Ressalta-se que o decréscimo no pH da silagem é geralmente mais rápido em plantas inteiras de milho do que em silagens de leguminosas, pois esta última tem maior capacidade de tampão (KUNG JUNIOR *et al.*, 2018). Todavia, alterações ainda podem ocorrer ao longo do período de armazenamento, e o gradiente dessas modificações depende do tempo de estocagem da silagem. Como exemplo de alterações, podem-se citar mudanças na concentração de ácidos orgânicos, álcoois, hidrólise de compostos, atividade microbiana, digestibilidade, entre outros fatores.

Quando os CSA são consumidos na quase totalidade e o pH encontra-se baixo devido à produção principalmente de ácido láctico, a atividade das BAL homofermentativas cessa, e a silagem é considerada estável. Entretanto, pesquisas atuais relatam que a fermentação não para por completo, pois BAL heterofermentativas provenientes de inoculantes ou da população epifítica da planta são capazes de metabolizar o ácido láctico produzindo ácido acético e 1,2 propanediol após aproximadamente 50 dias de armazenamento em silagens avaliadas por longos períodos (365 dias), evidenciando a continuidade da fermentação, mesmo que de forma menos intensa (KLEINSHMIT; KUNG JUNIOR, 2006; DER BEDROSIAN; NESTOR; KUNG JUNIOR, 2012).

Ainda sobre as modificações na concentração de ácidos orgânicos, existem relatos na literatura do aumento gradual nas concentrações

de ácido lático e acético com o prolongamento do armazenamento de silagens de milho e consequente declínio no pH (DER BEDROSIAN; NESTOR; KUNG JUNIOR, 2012; WINDLE; WALKER; KUNG JUNIOR, 2014). Em silagens de capins tropicais, Li e Nishino (2013) também observaram aumento nos teores de ácido acético com o tempo de armazenamento da silagem de capim Tanzânia. Além disso, durante o período de armazenamento, leveduras podem fermentar o excesso de açúcares a etanol (LINDGREN; AXELSSON; MCFEETERS, 1990; ROOKE; HATFIELD, 2003). Por outro lado, se a quantidade de ácido produzido exceder a que poderia ter sido produzida a partir da fermentação apenas de CSA, outras substâncias também podem atuar como substrato. Embora seja compreendido que proteínas, aminoácidos e ácidos orgânicos ainda possam cumprir essa função, a literatura sugere que os carboidratos estruturais sejam as principais fontes de substrato extra (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

Há evidências da hidrólise (MORRISON, 1979) de proteínas ligadas ao amido e hemicelulose por enzimas da planta, fornecendo hexoses e pentoses na fermentação. Diante disso, a medida dos carboidratos solúveis pode vir a subestimar o substrato disponível a fermentação láctica (JOBIM; NUSSIO, 2013). Medidas exatas de perdas de CSA decorrentes da atividade enzimática da planta são difíceis de determinar, pois os açúcares perdidos pela respiração podem ser parcialmente substituídos por açúcares liberados pela hidrólise de carboidratos estruturais de plantas, como celulose, hemiceluloses e pectinas. É importante frisar que carboidratos estruturais podem representar uma fonte potencial de substrato, mas muito menos acessível do que carboidratos solúveis (ROOKE; HATFIELD, 2003).

Dessa forma, durante um longo período de estocagem, a hidrólise ácida direta dos polissacarídeos da parede celular pode contribuir para o aumento em CSA. McDonald, Henderson e Heron (1991) observaram que até metade do conteúdo original de hemicelulose poderia ser degradado. Segundo esse mesmo autor, na prática, existem três situações de possíveis fontes de degradação da hemicelulose:

- i) hemicelulases presentes na forragem *in natura*;
- ii) hemicelulases bacterianas;
- iii) hidrólise por ácidos orgânicos produzidos durante a fermentação.

Vale ressaltar que somente algumas enzimas tolerantes à acidez continuam em atividade, tornando lenta a hidrólise ácida dos carboidratos estruturais. À vista disso, tais porções podem ser uma importante fonte de CSA para algumas espécies de leveduras tolerantes ao meio ácido que se mantêm quase inativas durante a fase de armazenagem da silagem (JOBIM; NUSSIO, 2013). As reações de hidrólise ácida da hemicelulose podem resultar em pequeno decréscimo no teor de fibra em detergente neutro (FDN) da silagem, o qual não apresenta magnitude elevada, de acordo com a literatura. Além disso, Der Bedrosian, Nestor e Kung Junior (2012) não observaram aumento na digestibilidade da FDN em silagens de milho armazenadas por até 365 dias.

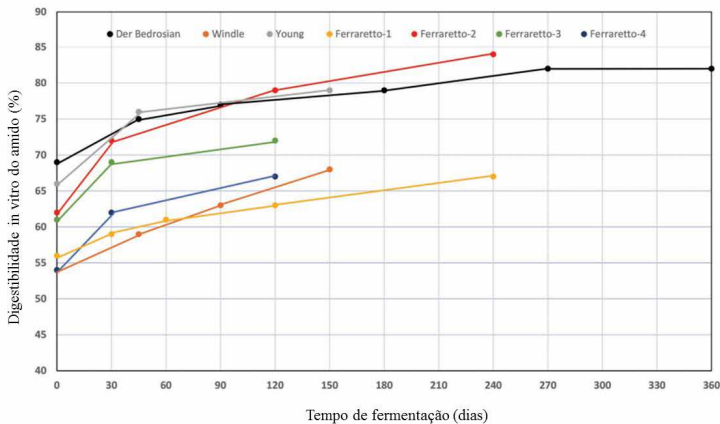
De forma geral, as modificações na composição química da silagem resultam principalmente na diminuição dos carboidratos não fibrosos, uma vez que a maior parte dos substratos utilizados pelos microrganismos (CSA e ácidos orgânicos) estão nessa fração. Além disso, observa-se uma modificação nas frações da proteína devido à ação proteolítica dos microrganismos, aumentando a concentração de proteína solúvel e nitrogênio amoniacal (aumentando a proporção de nitrogênio não proteico). Sobre a avaliação da proteólise é importante refletir que a maior parte dos trabalhos de pesquisa realizados no Brasil avaliam apenas a concentração de nitrogênio amoniacal (SANTOS *et al.*, 2011), sendo poucos os que realizam o fracionamento da proteína, considerando a fração solúvel.

Pesquisas recentes têm demonstrado um efeito expressivo do tempo de fermentação em silagens de milho e de grãos úmidos ou reidratados. Em revisão recente, Kung Junior *et al.* (2018) sumarizaram dados de digestibilidade *in vitro* do amido (DIVA)

e observaram aumento deles em função do tempo de fermentação (Gráfico 1). Embora tenha sido observada alguma variação na resposta ao longo dos ensaios, geralmente há aumento em 5 a 10 pontos percentuais na DIVA nos primeiros 45 dias de ensilagem, seguido por uma magnitude similar de aumento entre 45 e 120 dias de ensilagem. Os autores ainda sugerem que o máximo de DIVA pode ainda não ser alcançado até 9 meses de armazenamento.

Os mecanismos de solubilização e proteólise são apontados como responsáveis pelo rompimento da zeína ligada aos grânulos de amido, ocorrendo em condições ácidas. Isso sugere que alterações contínuas no perfil de fermentação à medida que o tempo de armazenamento progride podem afetar diretamente a DIVA como relatado anteriormente.

Gráfico 1 – Efeito dos dias de ensilagem na digestibilidade *in vitro* do amido (DIVA). Dados de Der Bedrosian, Nestor e Kung Junior (2012), Windle, Walker e Kung Junior (2014), Young *et al.* (2012), Ferraretto, Crump e Shaver (2015a), Ferraretto *et al.* (2015b) e Ferraretto *et al.* (2016)



Fonte: Kung Junior *et al.* (2018).

Todas as modificações na composição química das silagens são de grande importância no momento da formulação das dietas. Por isso, o monitoramento dos parâmetros supracitados ao longo do tempo é primordial para uma formulação adequada visando a atender as exigências dos animais. Pelos resultados apresentados, uma silagem com 60 dias terá a composição química diferente de uma silagem com dois anos de armazenamento, ressaltando a importância das avaliações relacionadas ao valor nutritivo da silagem.

Considerando as modificações que podem ocorrer durante a fase estável em silos fechados, vale destacar que dificilmente um silo é totalmente isento de infiltrações. Portanto, o metabolismo aeróbico ocorrerá em locais de ingresso de O₂, permitindo que microrganismos atuem e sobrevivam (ROOKE; HATFIELD, 2003), provocando outros tipos de modificações.

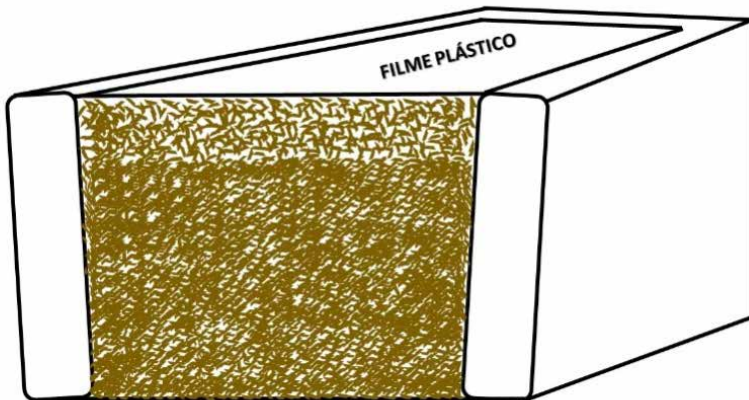
INFILTRAÇÃO DO AR APÓS A VEDAÇÃO

Especificamente em silagens mantidas estocadas por longos prazos, as perdas de matéria seca após os 30 primeiros dias de fermentação estão associadas normalmente às infiltrações de oxigênio na fase dita como estável. Essas possíveis infiltrações muitas vezes são decorrentes de manejos deficitários na compactação da massa e na vedação, no que diz respeito ao posicionamento, qualidade e falta de proteção dos filmes plásticos (lonas).

A compactação realizada nos silos, diretamente relacionada com a densidade da massa (expressa em kg m⁻³), é determinante na qualidade final da silagem. A densidade associada ao teor de MS da forragem determina a porosidade do alimento no silo, que condiciona a taxa de movimentação do ar e, conseqüentemente, o potencial de deterioração durante o armazenamento da silagem (HOLMES, 2009). Na massa de forragem compactada, os poros podem ser preenchidos com gases e/ou porção líquida. Assim, para que os gases se movam livremente nesse ambiente, é necessário que os poros sejam contínuos (BERNARDES; WEINBERG, 2013).

Camadas no topo de silos trincheira possuem maior porosidade devido à menor densidade atingida nessa porção, principalmente porque não existe a ação do peso de camadas superiores sobre esta (Figura 1). Além disso, a proximidade de lonas parcialmente permeáveis ao O₂ cria normalmente um microambiente que favorece a deterioração da massa. Dessa forma, as perdas no topo, assim como as próximas às paredes, são maiores do que a da massa localizada no centro (LIMA *et al.*, 2017). Na zona central do painel, são registradas perdas de MS entre 3 e 10%, quando comparadas ao topo, onde valores podem alcançar de 25 a 70% (ASHBELL; KASHANCHI, 1987), o que obriga o descarte dessa porção (BERNARDES; WEINBERG, 2013).

Figura 1 – Representação da baixa porosidade nas camadas superficiais de silos do tipo trincheira



Fonte: elaborada pelo autor.

No Brasil, os principais silos utilizados no armazenamento de silagens são do tipo superfície e trincheira (BERNARDES; RÊGO, 2014). Densidades elevadas em silos do tipo superfície são difíceis de serem atingidas, pois a ausência de paredes dificulta a compactação (WEINBERG; ASHBELL, 2003). Portanto, recomenda-se que, no

armazenamento de silagens por longo prazo, utilizem-se silos do tipo trincheira, para que densidades maiores sejam atingidas e consequentemente perdas por infiltração de oxigênio ao longo do tempo sejam reduzidas.

As perdas por respiração na estocagem e pela ação de microrganismos aeróbios são influenciadas principalmente pela permeabilidade do ar ao sistema de vedação, a densidade ou porosidade da forragem, o teor de umidade e o coeficiente de difusão do O_2 . Essas perdas típicas de MS variam entre 0,5 e 1,5% mês⁻¹ de armazenamento (SAVOIE; JOFRIET, 2003).

Com relação à vedação, o principal objetivo é prevenir o reingresso e circulação de ar durante a fase de armazenamento. Nos silos, o CO_2 formado inicialmente escapa lentamente do fundo do silo e se difunde em direção à lona. Ao mesmo tempo, o O_2 se difunde e é continuamente utilizado (SAVOIE; JOFRIET, 2003). Quando o oxigênio está em contato com a forragem ou a silagem durante qualquer período, ocorre a atividade de microrganismos aeróbios resultando em deterioração. A penetração de ar na massa ensilada inicia o processo de oxidação de açúcares, convertendo-os a água e CO_2 (SAVOIE; JOFRIET, 2003). Consequentemente a quantidade de ar que penetra na silagem durante o período de armazenamento no silo pode ter uma influência marcante na composição do produto final e nas perdas de nutrientes.

Na maioria dos silos, se a vedação for feita adequadamente, as perdas mensais tornam-se pequenas em silos mantidos vedados por poucos meses. Entretanto em condições de campo, essas vedações são geralmente imperfeitas: os silos trincheira podem ter pequenos vazamentos, ou as lonas podem ter ondulações por ação do vento se não estiverem bem presas, permitindo assim a penetração de ar. Em estudo com silagem de milho, Ashbell e Weinberg (1992) indicaram que a camada superior a 30 cm do silo próxima à lona tinha entre 12 e 78% de perda de MS em um período de 8 meses, a depender do sistema de vedação. Perdas totais de MS serão menores nas camadas inferiores, pois estas estão menos expostas à infiltração do ar (SAVOIE; JOFRIET, 2003). A perda de MS geralmente diminui à medida que a altura do silo aumenta

(até certo ponto), pois reduz o efeito da infiltração perante a massa ensilada. Entretanto, é importante não deixar de mencionar que silos altos podem ter perdas maiores no desabastecimento, pois normalmente a altura aumenta a área de superfície de contato do painel com o oxigênio, bem como reduz o avanço diário no desabastecimento.

Além das perdas de MS já mencionadas, caso não sejam tomadas precauções para evitar a infiltração de ar após uma vedação eficaz, a temperatura no silo pode subir para níveis que podem provocar mudanças químicas extensivas nas proteínas. Ligações novas entre e dentro das cadeias peptídicas podem ser formadas. Algumas dessas ligações resistem à hidrólise por proteases do trato digestivo do animal e impedem o acesso a ligações peptídicas adjacentes (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991). A susceptibilidade das proteínas ao dano pelo calor é aumentada na presença de vários hidratos de carbono, devido à ocorrência da reação de Maillard que resulta no escurecimento não enzimático dos alimentos durante o aquecimento e armazenamento prolongado. A temperatura tem um efeito importante na taxa de reação, sendo muito mais rápida a 70°C do que a 10°C (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991). O primeiro passo na reação envolve uma condensação entre o grupo carbonila de um açúcar redutor com um grupo amino livre de um aminoácido ou proteína (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

Diante disso, é fundamental que se direcionem ações para evitar ao máximo a deterioração ocasionada por infiltração no silo, principalmente no topo. Como estratégia, sugere-se o uso de filmes plásticos com barreira de oxigênio, proteção física das lonas (cobertura vegetal, areia, pneus), além do uso de aditivos aplicados nas camadas do topo e na lateral do silo.

USO E PROTEÇÃO DE FILMES PLÁSTICOS

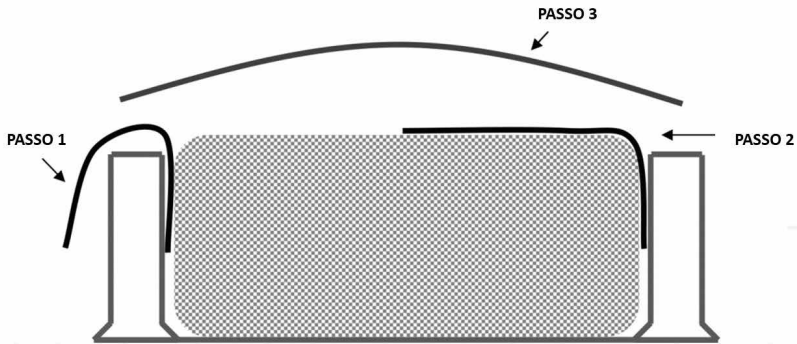
Um filme plástico utilizado na vedação de silos fundamentalmente tem que cumprir algumas funções essenciais. O filme deve evitar a precipitação e danos causados por chuva; deve ser resistente ao manu-

seio, ventos e a radiação UV para permanecer intacto principalmente após a exposição prolongada à luz solar e, finalmente, deve ter baixa permeabilidade ao O₂, além de assegurar condições anaeróbicas durante a ensilagem (BERNARDES *et al.*, 2018; BORREANI *et al.*, 2018). Tais características favorecerão a estabilidade anaeróbia de silagens armazenadas por longo prazo.

Basicamente duas são as características variáveis nos tipos de filmes plásticos disponíveis no mercado nacional. A espessura do filme, que está relacionada principalmente com a resistência do material a danos físicos, e o tipo de material utilizado na produção do filme, que define a permeabilidade deste ao O₂.

Como as principais áreas que sofrem influência do ar estão localizadas no topo e em contato direto com as paredes de silos trincheira, estudos recentes sugerem o uso de filme de barreira de oxigênio posicionados nessas regiões para reduzir perdas (BORREANI; TABACCO, 2014; LIMA *et al.*, 2017). Com o filme de barreira ao oxigênio protegendo a parede do silo e o topo, a silagem próxima à parede do silo trincheira tem uma qualidade semelhante à da porção central e superior (LIMA *et al.*, 2017). Dessa forma, proteger as paredes de silos trincheira com filmes plásticos (Figura 2) antes do enchimento é uma prática para garantir melhor expulsão do oxigênio na ensilagem e no armazenamento, reduzindo perdas (BERNARDES, 2016). O mercado nacional ainda é dominado por filmes plásticos convencionais de polietileno do tipo dupla-face, entretanto, nos últimos cinco anos, o uso de filmes com barreira de oxigênio tem aumentado vertiginosamente, principalmente nas regiões Sul e Sudeste do país.

Figura 2 – Diagrama de vedação do silo trincheira. Passo 1 = Antes do enchimento do silo, coloque o filme plástico ao longo do comprimento do silo de modo que 2 m fiquem sobrando sobre as paredes laterais; Passo 2 = Os 2 m de plástico que sobraram devem envelopar a forragem ao final do enchimento do silo; Passo 3 = Cubra o silo trincheira com um novo filme plástico



Fonte: Bernardes (2016).

Uma prática comum em silos do tipo trincheira e superfície em fazendas é a proteção dos filmes após a vedação dos silos. Essa prática pode ajudar na proteção dos filmes plásticos contra a radiação solar, principalmente em ambientes de clima quente, como em regiões semi-áridas. Além disso, essa estratégia protege contra ação de ventos e injúrias causadas por pequenos animais. O peso sobre o filme consolida-o sobre a massa, evitando o aparecimento de bolsões de ar durante o período de armazenamento, principalmente no desabastecimento da massa. Em situações de consolidação inadequadas, o ar penetrará na massa em níveis variados, e a intensidade de dano dependerá da densidade e do teor de matéria seca da forragem (MCDONALD; HENDERSON; HERON,1991).

Assim, cobrir o filme plástico possibilita diminuição nas perdas e preserva melhor a qualidade nutricional da silagem, uma vez que a cobertura é mais efetiva no controle do aquecimento da silagem e retar-

da o início da deterioração aeróbica no topo (AMARAL *et al.*, 2010). É comum o uso de materiais de baixo custo e disponibilidade, terra, pneus e palhas. Não obstante a eficácia na proteção do filme plástico, essa pode ser muito trabalhosa, dado o tamanho dos silos e o tipo de material usado. Segundo Bernardes (2016), a maioria dos produtores reluta muito em cobrir os silos horizontais com terra, particularmente se o silo for grande, pois eles não acreditam que o trabalho e os custos envolvidos na cobertura com a terra sejam razoáveis e econômicos. Além disso, a terra usada como cobertura pode contaminar a silagem durante o descarregamento se cuidados não forem tomados. Entretanto, quando se pensa em longos períodos de armazenamento, a cobertura pode ser benéfica devido à proteção. Por isso, devem-se preferir lonas de maior espessura (maior resistência) juntamente com a barreira de oxigênio, a depender da disponibilidade de capital para o investimento.

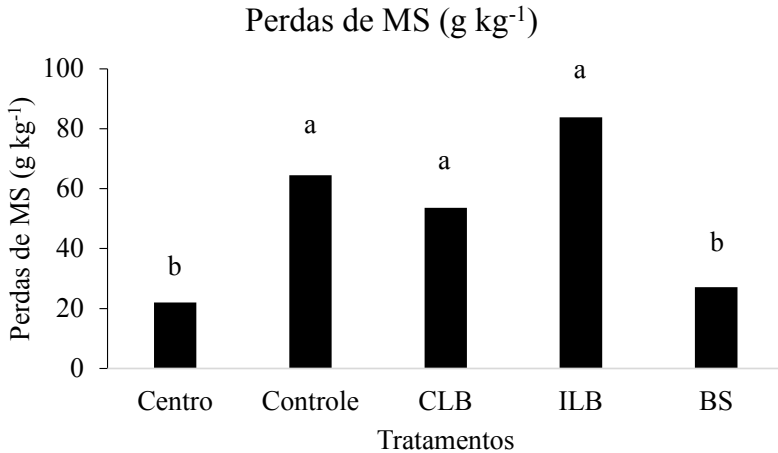
USO DE ADITIVOS COM APLICAÇÃO DIRECIONADA AO TOPO DO SILO

A aplicação de aditivos direcionada em regiões dos silos mais susceptíveis às perdas pode ser uma alternativa interessante, principalmente em regiões de temperatura elevada (BERNARDES, 2016), como as semiáridas. Devido às temperaturas médias anuais nessas regiões estarem normalmente acima de 25 °C, as culturas ensiladas são ainda mais propensas à deterioração, uma vez que microrganismos deterioradores, principalmente leveduras, são mais ativos em temperaturas entre 20-30 °C (BORREANI *et al.*, 2018).

Silagens armazenadas por longos períodos são afetadas por perdas na fase estável no topo do silo. Dessa forma, algumas pesquisas foram direcionadas para o uso de aditivos aplicados especificamente nesses pontos. Silva *et al.* (2014) avaliaram a aplicação de aditivos (benzoato de sódio e *Lactobacillus buchneri*) diretamente no topo da silagem e concluíram que o benzoato de sódio aplicado a uma taxa de 2 g kg⁻¹ foi o aditivo mais adequado para melhorar a fermentação, reduzir a deterioração aeróbia e preservar os nutrientes da silagem de milho no topo

dos silos trincheira (Gráfico 2). Além disso, os resultados observados no estudo apontaram que a digestibilidade *in vitro* da MS da silagem na zona central do silo e no tratado com benzoato de sódio foram acima de 640 g kg⁻¹, enquanto que as silagens não tratadas e tratadas com duas cepas de *L. buchneri* apresentaram valores próximos a 600 g kg⁻¹.

Gráfico 2 – Efeitos dos aditivos nas perdas de matéria seca em diferentes zonas do silo trincheira com silagem de milho. Centro (silagem do centro do silo), controle (silagem sem inoculante), CLB (silagem inoculada com cepa comercial de *Lactobacillus buchneri*), ILB (silagem tratada com cepa original de *Lactobacillus buchneri*), BS (silagem tratada com benzoato de sódio (2 g kg⁻¹))



Fonte: Silva *et al.* (2014).

Cabe ressaltar que o trabalho supracitado teve como período máximo de armazenamento 4 meses, tornando desconhecido o efeito do aditivo a longo prazo. De fato, deverá contribuir para o aumento da estabilidade anaeróbia da silagem, mas, até o momento, tais informações são desconhecidas pela comunidade científica.

MÉTODOS UTILIZADOS PARA MENSURAÇÃO DE ESTABILIDADE ANAERÓBIA DE SILAGENS DE LONGO PRAZO

Na avaliação de silagens, as principais variáveis a serem avaliadas estão relacionadas à mensuração de perdas de matéria seca e nutrientes, compostos voláteis (ácidos orgânicos, álcoois e ésteres); composição microbiológica (quantificação de leveduras, fungos filamentosos, bactérias ácido lácticas, enterobactérias, entre outras quando se fizer necessário); pH; composição química; digestibilidade *in vitro* da MS (DIVMS) e nutrientes; estabilidade aeróbia (medições de temperatura); e variáveis relacionadas ao animal (consumo, preferência, digestibilidade, metabolismo e desempenho).

Para retratar mudanças na estabilidade anaeróbia de silagens, avaliações comparativas ao longo do tempo, como as descritas por Udén (2017), são necessárias, principalmente contrastando avaliações aos 30 dias, considerando esse tempo como o fim dos processos mais intensos de fermentação, a tempos maiores de armazenamento. Na literatura, a maioria dos trabalhos que avaliam tempo de armazenamento limitam-se a avaliações de, no máximo, um ano, uma vez que, na pesquisa científica, há uma exigência por respostas imediatas. Ensaios para expressar o balanço de nutrientes e as mensurações do avanço das infiltrações nos silos ao longo do tempo, quer seja pelas paredes ou pelos filmes plásticos, são necessários.

Diante do que foi abordado no texto, do ponto de vista de valor nutritivo, modificações na DIVMS, DIVA, parede celular são interessantes. Tais avaliações podem ser realizadas em mini silos experimentais, mas existe a possibilidade de realização em silos em nível de fazenda por meio da alocação de sacos traçadores (LIMA *et al.*, 2017), os quais podem retratar, de forma mais acurada e precisa, mudanças nas características das silagens.

Ainda não existem inferências na literatura sobre quebra na estabilidade anaeróbia de silagens no armazenamento, apenas quando se abre o silo e se expõe a massa ao oxigênio. Entretanto, tal quebra em silos ainda vedados poderá ser reportada por meio da expressão da magnitude de perdas que aconteceram ao longo do tempo de armaze-

namento. Tais pesquisas poderão elucidar quanto tempo a silagem de determinada cultura poderá ficar armazenada e qual o grau de comprometimento considerando o valor nutritivo e as características fermentativas. Essas informações contribuirão, de forma significativa, para a conservação de forragens em regiões semiáridas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Seguindo as necessidades de atendimento de demandas por forragens conservadas por mais de um ano, o manejo da ensilagem é fundamental na redução de perdas durante o período de armazenamento dos silos, causadas principalmente por infiltrações de ar ao longo do tempo. Ainda durante esse período, modificações podem ser observadas principalmente no tocante à composição química e, em menor escala, no padrão de fermentação. Dessa forma, o uso de silos trincheira, compactação eficiente, filmes de barreira de oxigênio, vedação das paredes laterais, proteção física da lona e aplicação de aditivos nas regiões mais susceptíveis à infiltração pode reduzir perdas durante períodos longos de armazenamento. Do ponto de vista metodológico, ensaios para expressar o balanço de nutrientes e as mensurações do avanço das infiltrações nos silos ao longo do tempo podem fornecer informações importantes para a melhoria do processo de armazenamento de silagens a longo prazo.

Cabe ainda refletir sobre a denominação da fase anaeróbia estável, uma vez que a fermentação não cessa por completo, apenas diminui a intensidade enquanto outras pequenas fermentações poderão ocorrer em função das condições de armazenamento e do tempo de estocagem.

REFERÊNCIAS

AMARAL, R. C.; QUEIROZ, B. C.; GARCIA, E. H. C.; SÁ NETO, A.; BERNARDES, T. F.; NUSSIO, L. G. Aerobic deterioration in maize silages under different covering methods of the plastic film. *In*: SCHNYDER, H.; ISSELSTEIN, J.; TAUBE, F.; AUERSWALD, K.; SCHELLBERG,

J.; WACHENDORF, M.; HERRMANN, A.; GIERUS, M.; WRAGE, N.; HOPKINS, A. (ed.). *Proceedings of XXIII General Meeting of the European Grassland Federation*. Kiel, Germany, 2010. p. 83.

ASHBELL, G.; KASHANCHI, Y. In silo losses from wheat ensiled in bunker silos in a subtropical climate. *Journal of Science and Food Agriculture*, v. 40, n. 2, p. 95-103, 1987.

ASHBELL, G.; WEINBERG, Z. G. Top silage losses in horizontal silos. *Canadian Agricultural Engineering*, v. 34, n. 2, p. 171-175, 1992.

BERNARDES, T. F.; DANIEL, J. L. P.; ADESOGAN, A. T. *et al.* Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. *Journal of Dairy Science*, v. 101, n. 5, p. 4001-4019, 2018.

BERNARDES, T. F. Advances in silage sealing. In: SILVA, T. da; SANTOS, E. M. (ed.). *Advances in silage production and utilization*. Rijeka, Croatia, 2016. v. 1, p. 53-62.

BERNARDES, T. F.; RÊGO, A. C. Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. *Journal of Dairy Science*, v. 97, n. 3, p. 1852-1861, 2014.

BERNARDES, T. F.; WEINBERG, Z. Aspectos associados ao manejo da ensilagem. In: REIS, R. A.; BERNARDES, T. F.; SIQUEIRA, G. R. (ed.). *Forragicultura: ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiros*. Jaboticabal: M. de L. Brandel-ME, 2013. v. 1, p. 671-680.

BORREANI, G.; TABACCO, E.; SCHMIDT, R.; HOLMES, B. J.; MUCK, R. E. Silage review: factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science*, v. 101, n. 5, p. 3952-3979, 2018.

BORREANI, G.; TABACCO, E. Improving corn silage quality in the top layer of farm bunker silos through the use of a next-generation barrier film with high impermeability to oxygen. *Journal of Dairy Science*, v. 97, n. 4, p. 2415-2426, 2014.

CRESWELL, R.; MARTIN, F. W. *Dryland farming: crops & techniques for arid regions*, 1998. ECHO Staff. Disponível em: <http://>

cropsfordrylands.com/wp-content/uploads/Dryland-Farming-Crops-Tech-for-Arid-Regions.pdf. Acesso em: 22 out. 2018.

DER BEDROSIAN, M. C.; NESTOR, K. E.; KUNG JUNIOR, L. The effects of hybrid, maturity, and length of storage on the composition and nutritive value of corn silage. *Journal of Dairy Science*, v. 95, n. 9, p. 5115-5126, 2012.

FERRARETTO, L. F.; FREDIN, S. M.; MUCK, R. E.; SHAVER, R. D. Case study: microbial inoculant and ensiling time effects on fermentation profile, nitrogen fractions, and ruminal in vitro and in situ starch digestibility in corn shreddlage and late-maturity corn silage. *The Professional Animal Science*, v. 32, n. 6, p. 861-868, 2016.

FERRARETTO, L. F.; CRUMP, P. M.; SHAVER, R. D. Effect of ensiling time and exogenous protease addition to whole-plant corn silage of varied hybrids, maturities and chop lengths on nitrogen fractions and ruminal in vitro starch digestibility. *Journal of Dairy Science*, v. 98, n. 12, p. 8869-8881, 2015a.

FERRARETTO, L. F.; SHAVER, R. D.; MASSIE, S.; SINGO, R.; TAYSOM, D. M.; BROUILLETTE, J. P. Effect of ensiling time and hybrid type on fermentation profile, nitrogen fractions and ruminal in vitro starch and NDF digestibility in whole-plant corn silage. *The Professional Animal Science*, v. 31, n. 2, p. 146-152, 2015b.

GRANT, R. J.; ADESOGAN, A. T. Journal of Dairy Science Silage Special Issue: introduction. *Journal of Dairy Science*, v. 101, n. 5, p. 3935-3936, 2018.

HOLMES, B. Software application for sizing silos to maximize silage quality. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF FORAGE QUALITY AND CONSERVATION, 2009, Piracicaba. Proceedings... Piracicaba: ESALQ, 2009. p. 189-208.

JOBIM, C. C.; NUSSIO, L. G. Princípios básicos da fermentação na ensilagem. In: REIS, R. A.; BERNARDES, T. F.; SIQUEIRA, G. R. (ed.). *Forragicultura: ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiros*. Jaboticabal: M. de L. Brandel-ME, 2013. v. 1, p. 649-660.

KLEINSCHMIT D. H.; KUNG JUNIOR, L. A meta-analysis of the effects of *Lactobacillus buchneri* on the fermentation and aerobic stability of corn and grass and small-grain silages. *Journal of Dairy Science*, v. 89, n. 10, p. 4005-13, 2006.

KUNG JUNIOR, L.; SHAVER, R. D.; GRANT, R. J.; SCHMIDT, R. J. Silage review: interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, v. 101, n. 5, p. 4020-4033, 2018.

LI, Y; NISHINO, N. Effects of ensiling fermentation and aerobic deterioration on the bacterial community in italian ryegrass, guinea grass, and whole-crop maize silages stored at high moisture content. *Asian-Australas Journal Animal Science*, v. 26, n. 9, p. 1304-1312, 2013.

LIMA, L. M.; DOS SANTOS, J. P.; CASAGRANDE, D. R.; ÁVILA, C. L. S.; LARA, M. S.; BERNARDES, T. F. Lining bunker walls with oxygen barrier film reduces nutrient losses in corn silages. *Journal of Dairy Science*, v. 100, n. 6, p. 4565-4573, Jun. 2017.

LINDGREN, S. E.; AXELSSON, L. T.; MCFEETERS, R. F. Anaerobic L-lactate degradation by *Lactobacillus plantarum*. *FEMS Microbiology Letters*, v. 66, n. 1-3, p. 209-213, 1990.

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

MORRISON, I. M. Changes in the cell wall components of laboratory silages and the effect of various additives on these changes. *The Journal of Agricultural Science*, v. 93, n. 6, p. 581-586, 1979.

PAHLOW, G.; MUCK, R. E.; DRIEHUIS, F.; OUDE ELFERINK, S. J. W. H.; SPOELSTRA, S. F. Microbiology of ensiling. In: BUXTON, D. R.; MUCK, R. E.; HARRISON, J. H. (ed.). *Silage science and technology*. Madison: American Society of Agronomy, 2003. p. 31-93.

ROOKE, J. A.; HATFIELD, R. D. Biochemistry of Ensiling. In: BUXTON, D. R.; MUCK, R. E.; HARRISON, J. H. (ed.). *Silage*

science and technology. Madison: American Society of Agronomy, 2003. p. 95-135.

SAVOIE, P.; JOFRIET, J. C. Silage storage. *In*: BUXTON, D. R.; MUCK, R. E.; HARRISON, J. H. (ed.). *Silage Science and Technology*. Madison: American Society of Agronomy, 2003. p. 405-461.

SANTOS, E. M.; PEREIRA, O. G.; GARCIA, R.; FERREIRA, C. L. L. F.; OLIVEIRA, Microbial populations, fermentative profile and chemical composition of signalgrass silages at different regrowth ages. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa/MG, v. 40, n. 4, p. 747-755, 2011.

SILVA, N. C.; DOS SANTOS, J. P.; ÁVILA, C. L. S.; EVANGELISTA, A. R.; CASAGRANDE, D. R.; BERNARDES, T. F. Evaluation of the effects of two *Lactobacillus buchneri* strains and sodium benzoate on the characteristics of corn silage in a hot-climate environment. *Grassland Science*, Tochigi, v. 60, n. 3, p. 169-177, Sept. 2014.

SILVA, R. G. *et al.* Orçamentação forrageira de longo prazo no semiárido. *Revista Científica de Produção Animal*, Paraíba, v. 15, n. 2, p. 98-110, 2013.

UDÉN, P. Fresh and ensiled forage plants-total composition, silage losses and the prediction of silage composition from the crop. *Grass and Forage Science*, v. 73, n. 2, p. 420-431, 2017.

WEINBERG, Z. G.; ASHBELL, G. Engineering aspects of ensiling. *Biochemical Engineering Journal*, v. 13, n. 2-3, p. 181-188, 2003.

WILKINSON, J. M.; DAVIES, D. R. The aerobic stability of silage: key findings and recent developments. *Grass and Forage Science*, v. 68, n. 1, p. 1-19, 2013.

WINDLE, M. C.; WALKER, N.; KUNG JUNIOR, L. Effects of an exogenous protease on the fermentation and nutritive value of corn silage harvested at different dry matter contents and ensiled for various lengths of time. *Journal of Dairy Science*, v. 97, n. 5, p. 3053-3060, 2014.

YOUNG, K. M.; LIM, J. M.; DER BEDROSIAN, M. C.; KUNG JUNIOR, L. Effect of exogenous protease enzymes on the fermentation and nutritive value of corn silage. *Journal of Dairy Science*, v. 95, n. 11, p. 6687-6694, 2012.