

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

MASSA ESPECÍFICA E SUAS IMPLICAÇÕES NA
CONSERVAÇÃO E NO VALOR NUTRICIONAL
EM SILAGENS DE MILHO

Autora: Ana Maria Krüger
Orientador: Prof. Dr. Clóves Cabreira Jobim

MARINGÁ
Estado do Paraná
novembro – 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

MASSA ESPECÍFICA E SUAS IMPLICAÇÕES NA
CONSERVAÇÃO E NO VALOR NUTRICIONAL
EM SILAGENS DE MILHO

Autora: Ana Maria Krüger
Orientador: Prof. Dr. Clóves Cabreira Jobim

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá - Área de concentração Pastagens e Forragicultura.

MARINGÁ
Estado do Paraná
novembro – 2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

K94m Krüger, Ana Maria
Massa específica e suas implicações na
conservação e no valor nutricional em silagens de
milho / Ana Maria Krüger. -- Maringá, 2012.
51 f. : il. algumas color.

Orientador: Prof. Dr. Clóves Cabreira Jobim.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Programa de
Pós-graduação em Zootecnia, 2012.

1. Silagem de milho - Massa específica. 2.
Silagem de milho - Método indireto. I. Jobim, Clóves
Cabreira, orient. II. Universidade Estadual de
Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Programa de
Pós-graduação em Zootecnia. III. Título.

CDD 22. ed. 633.255



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**MASSA ESPECÍFICA E SUAS IMPLICAÇÕES NA
CONSERVAÇÃO E NO VALOR NUTRICIONAL
EM SILAGENS DE MILHO**

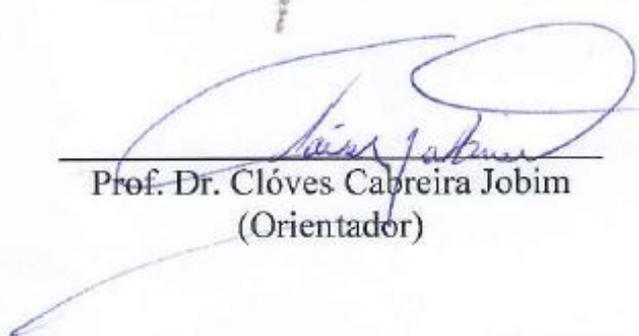
Autora: Ana Maria Krüger
Orientador: Prof. Dr. Clóves Cabreira Jobim

TITULAÇÃO: Mestre em Zootecnia - Área de Concentração Pastagem e
Forragicultura

APROVADA em 19 de novembro de 2012.


Prof. Dr. Valter Harry
Bumbieris Junior


Prof.ª Dr.ª Sandra Galbeiro


Prof. Dr. Clóves Cabreira Jobim
(Orientador)

“Senhor, fazei-me instrumento de vossa paz.
Onde houver ódio, que eu leve o amor.
Onde houver ofensa, que eu leve o perdão.
Onde houver discórdia, que eu leve a união.
Onde houver dúvida, que eu leve a fé.
Onde houver erro, que eu leve a verdade.
Onde houver desespero, que eu leve a esperança.
Onde houver tristeza, que eu leve a alegria.
Onde houver trevas, que eu leve a luz.
Ó Mestre, Fazei que eu procure mais:
consolar, que ser consolado;
compreender, que ser compreendido;
amar, que ser amado.
Pois, é dando que se recebe,
é perdoando que se é perdoado,
e é morrendo que se vive para a vida eterna.
Amém”

Oração de São Francisco de Assis

Ao meu pai, Luiz Carlos, minha estrutura e meu exemplo de honestidade.

À minha mãe, Terezinha (*in memoriam*), que sempre foi meu exemplo de luta.

Ao meu irmão, Aroldo, meu companheiro e amigo de sempre.

DEDICO...

AGRADEDIMENTOS

A Deus e à Virgem Maria, nossa mãe, pelo dom da vida, coragem, conforto, saúde e provações.

Aos meus pais, Luiz Carlos e Terezinha (*in memoriam*), por todo amor, companhia, confiança, respeito, educação, apoio e paciência.

Ao meu irmão, Aroldo, que sempre me ouviu e me apoiou nas decisões.

Aos demais familiares, pelo incentivo e carinho.

Ao Prof. Dr. Clóves Cabreira Jobim, pelos ensinamentos, orientação e atenção despendida.

Ao Prof. Dr. João Ricardo Alves Pereira, pela amizade, ensinamentos, críticas, paciência e confiança.

À Prof^a. Dr^a. Verônica Oliveira Vianna, pela amizade, incentivo, colaboração e confiança.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (PPZ), pela valiosa contribuição para minha formação.

À Fundação ABC, principalmente ao Igor Quirrenbach de Carvalho, Elias Soares Bueno e Maryon Strack, pelo apoio no desenvolvimento técnico e experimental desse estudo e pelos momentos de aprendizado durante o período de coletas.

Às amigas Patrícia Nadal, Priscila Pucci, Evelin Barbato, Simone Rodrigues e Evelyn Saito, as irmãs de coração que Deus me presenteou e que sempre e em toda circunstância estiveram ao meu lado manifestando toda a força da amizade verdadeira, e que de forma indireta participaram também deste trabalho.

Aos queridos amigos Nadine Woruby, Adriane Kruppa, Maria Luiza Kohler, Maria Beatriz Guimarães, César Hoepers, Thalita Gulin, Gabrielle Mello e Ana Claudia Koki, que se fizeram importante me incentivando, apoiando, consolando, ouvindo e se dedicando a mim.

Aos amigos Christiano Justus Neto, Ana Paula Possamai, Sheilla Davoglio, Julienne Moro, Igor Quirrenbach e Ana Cláudia Radis, pela amizade firmada, pois enquanto longe nos fizemos “família” estudando, compartilhando vida e confraternizando.

A todos os membros das “famílias” dos grupos de estudos GESF (Grupo de Estudos em Silagem e Feno) e GZC (Grupo Zootecnia no Campo), pelo companheirismo, cumplicidade, carinho, apoio e confraternizações.

Aos funcionários do Laboratório de Análise de Alimentos e Nutrição Animal (LANA), Cleusa Volpato, Creuza Azevedo e Hermógenes Augusto, pelo auxílio e paciência nas análises laboratoriais.

E a todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente na realização deste trabalho e na minha formação profissional e pessoal.

BIOGRAFIA

ANA MARIA KRÜGER, filha de Luiz Carlos Krüger e Terezinha Obrzut Krüger, nasceu em Ponta Grossa, Paraná, no dia 22 de novembro de 1985.

Em agosto de 2008, concluiu o curso de Zootecnia pela Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Em março de 2010, iniciou no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, em nível de Mestrado, área de concentração Pastagens e Forragicultura, na Universidade Estadual de Maringá, realizando estudos na área de Conservação de Forragens (Tecnologia de Silagem de Milho).

No dia 19 de novembro de 2012, submeteu-se à banca para defesa da Dissertação para obtenção do título de Mestre.

ÍNDICE

| | Página |
|--|--------|
| LISTA DE TABELAS | ix |
| LISTAS DE FIGURAS | xi |
| RESUMO | xii |
| ABSTRACT | xiv |
| I – INTRODUÇÃO GERAL | 1 |
| 1.1 RELAÇÃO ENTRE TECNOLOGIA DE ENSILAGEM E QUALIDADE DA SILAGEM | 2 |
| 1.1.1 Momento de colheita – Ponto de corte | 4 |
| 1.1.2 Tamanho Médio de Partículas | 6 |
| 1.1.3 Altura de corte | 9 |
| 1.1.4 Compactação e vedação | 10 |
| 1.2 ESTABILIDADE AERÓBIA | 13 |
| 1.3 MASSA ESPECÍFICA | 15 |
| REFERÊNCIAS | 19 |
| II – OBJETIVOS GERAIS | 23 |
| III – USO DE MÉTODO INDIRETO PARA DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DE SILAGENS DE MILHO EM FAZENDAS | 24 |
| RESUMO | 24 |
| ABSTRACT | 25 |
| INTRODUÇÃO | 26 |
| MATERIAL E MÉTODOS | 27 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO | 28 |

| | |
|---|----|
| CONCLUSÕES | 31 |
| REFERÊNCIAS | 31 |
| IV – DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DE SILAGENS DE MILHO E SUA INFLUÊNCIA SOBRE O VALOR NUTRICIONAL DA FORRAGEM | 33 |
| RESUMO | 33 |
| ABSTRACT | 34 |
| INTRODUÇÃO | 35 |
| MATERIAL E MÉTODOS | 36 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO | 38 |
| CONCLUSÕES | 48 |
| REFERÊNCIAS | 48 |

LISTA DE TABELAS

| | Página |
|--|--------|
| I – INTRODUÇÃO GERAL | |
| Tabela 1 Estimativas do potencial de produção e teor de umidade da planta de milho, conforme o estágio de maturação | 6 |
| III – USO DE MÉTODO INDIRETO PARA DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DE SILAGENS DE MILHO EM FAZENDAS | |
| Tabela 1 Teor de matéria seca, resistência da massa ensilada à penetração do cone metálico, massa específica observada e estimada com base na matéria seca e na matéria verde em silos de fazenda | 28 |
| IV – DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DE SILAGENS DE MILHO E SUA INFLUÊNCIA SOBRE O VALOR NUTRICIONAL DA FORRAGEM | |
| Tabela 1 Híbridos utilizados para silagem nos silos amostrados | 37 |
| Tabela 2 Teores de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), extrato etéreo (EE), proteína bruta (PB), amido (AMD) e nutrientes digestíveis totais (NDT) em silagens de milho (base na MS) | 39 |
| Tabela 3 Teores de carboidratos totais (CHOT), carboidratos não-fibrosos (CNF), digestibilidade “in vitro” da MS (DIVMS) e digestibilidade “in vitro” da FDN (DIVFDN) dos silos de fazenda (dados em base da MS) | 41 |
| Tabela 4 Teores das frações dos componentes da parede celular de silagens de milho (dados com base na MS) | 42 |
| Tabela 5 Avaliações físicas de massa específica com base na matéria verde (MEMV), massa específica com base na matéria seca (MEMS), pH e condutividade elétrica (CE) | 44 |

| | | |
|----------|--|----|
| Tabela 6 | Distribuição e tamanho médio de partículas (TMP) de silagens de milho observados em silos de fazenda | 46 |
| Tabela 7 | Correlações entre as variáveis MS, MEMV, MEMS, FDA, FDN e DIVMS observadas em silagens de milho | 47 |

LISTAS DE FIGURAS

| | Página |
|---|--------|
| III – USO DE MÉTODO INDIRETO PARA DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DE SILAGENS DE MILHO EM FAZENDAS | |
| Figura 1 Relação entre MEMV (massa específica da silagem com base na massa verde) expressa em kg/m^3 e resistência à penetração do cone metálico (MPa) | 30 |
| Figura 2 Relação entre MEMS (massa específica da silagem com base na massa seca) expressa em kg/m^3 e resistência à penetração do cone metálico (MPa) | 30 |
| IV – DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DE SILAGENS DE MILHO E SUA INFLUÊNCIA SOBRE O VALOR NUTRICIONAL DA FORRAGEM | |
| Figura 1 Processo de amostragem com utilização do cilindro metálico acoplado a uma motosserra | 36 |

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar nova ferramenta alternativa para determinação da massa específica (ME) em silagens de milho e estabelecer correlações entre a ME e características físicas e químicas destas silagens. No primeiro estudo foram estabelecidas correlações entre o método direto e método indireto na determinação da ME de silagens de milho. Foram efetuadas mensurações da ME em 14 silos com uso de um cilindro metálico acoplado à uma motosserra. Considerando-se o volume do cilindro e o peso da massa retirada foi determinada a ME para cada silo, avaliado em cinco pontos do painel. Para proceder à estimativa da ME com o método indireto utilizou-se um penetrômetro digital, sendo que os pontos onde se mensurou a resistência à penetração foram os mesmos perfurados com o cilindro metálico, e em cada orifício foram determinados dois pontos de resistência, totalizando 10 pontos. Correlacionou-se os valores de resistência ao penetrômetro (MPascal) com os valores de ME ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) por meio de regressão e então estimou-se a ME das silagens. Ocorreu relação positiva entre a ME da massa ensilada e a resistência à penetração tanto para material verde (MV) como para material seco (MS). Sendo que a equação ajustada teve um coeficiente de determinação alto, explicando 57% das variações observadas para MEMV e 80% para MEMS, concluindo-se que o penetrômetro pode ser utilizado como método indireto para determinar a massa específica de silagens de milho. No segundo estudo determinou-se a massa específica (ME) de silagens de milho, em condições de fazenda, estabelecendo correlações entre a ME e características físicas e químicas da silagem, adotando a hipótese de que maior ME em silagens pode expressar melhor qualidade nutricional, devido ao melhor padrão de fermentação. As medidas de ME foram feitas em 20 silos com silagem de milho em propriedades rurais leiteiras na região dos Campos Gerais (PR), utilizando-se o cilindro metálico acoplado à motosserra da mesma

forma como no primeiro estudo. Constatou-se que houve relações negativas entre teores de MS e MEMV, FDA e FDN, comprovando que quanto mais alto o teor de MS, menor é o teor de fibra na silagem, explicando também materiais mais úmidos com maior facilidade de compactação. Porém, a ME com base na MV apresenta relação positiva com os teores de FDA, FDN, DIVMS e DIVFDN, indicando melhor qualidade da silagem diante da maior densidade de compactação. O mesmo comportamento ocorreu com MEMS, exceto para MS, FDA e FDN, deduzindo que quanto menores os teores da fração fibrosa da planta ensilada, melhores densidades de compactação são alcançadas. Quanto aos teores de FDA e FDN em relação a DIVMS e DIVFDN estes apresentaram relações negativas entre si, indicando mais uma vez que a menor participação fibrosa na planta indica melhor qualidade nutricional e melhor aproveitamento dos nutrientes pelo animal ruminante. Pode-se concluir que os maiores valores alcançados para ME tanto com base na MS quanto na MV expressam melhores condições de fermentação refletindo em melhor valor nutricional.

Palavras-chave: massa específica, método indireto, silagem de milho.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate new alternative tool for determining the silage density (SD) in corn silage and establish correlations between SD and physical and chemical characteristics of these silages. In the first study there were establishes correlations between the direct method and indirect method to determine the SD of corn silages. SD measurements were done on 14 silos using a metal cylinder attached to a chainsaw. Considering the cylinder volume and weight of the mass removed SD was determined for each silo, measured at five points on the panel. To estimate SD with the indirect method it was used a digital penetrometer, also the points where it was measured the resistance to penetration, were the same perforated with metal cylinder, and in each well was determined two points of resistance, totaling 10 points. It was correlated the values of penetration resistance (MPascal) with the values of SD ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) through regression, and then it was estimated the SD. There was a positive relationship between SD of silage and penetration resistance for both natural matter (NM) and for dry matter (DM). Since the fitted equation had a high coefficient of determination, explaining 57% of the variations observed for SDNM and 80% for SDDM, it is concluded that the penetrometer can be used as an indirect method to determine the density of corn silage. In the second study was determined the SD of corn silage in farm conditions, establishing correlations between SD and physical and chemical characteristics of silage, adopting the hypothesis that higher SD can be expressed in better nutritional quality, due to better fermentation pattern. Measures of SD were made in 20 silos with corn silage on dairy farms in the Campos Gerais region (PR), using the metallic cylinder attached to chainsaw similar to the first study. It was found that there were negative relationships between DM and SDNM, ADF and NDF, proving that as higher is DM content it is lower the fiber content in silage, explaining also the wettest

materials with more easily compaction. However, the SDNM has a relation with the levels of ADF, NDF, IVDDM and IVDNDF, indicating better quality silage face of higher packing density. The same behavior occurred with SDDM, except for DM, ADF and NDF, deducing that with the lower levels of the fiber plant silage, better packing densities are achieved. As for the ADF and NDF in relation to IVDDM and IVDNDF there was a negative correlation, indicating once again that the lowest participation of fibrous plant indicates better nutritional value and better utilization of nutrients by ruminant animal. It can be concluded that the highest values achieved for SD based both on DM as in the NM express better fermentation conditions reflecting better nutritional value.

Key words: corn silage, density, indirect method.

I – INTRODUÇÃO GERAL

Tradicionalmente, a planta de milho é o material mais utilizado para ensilagem, pela sua composição química preencher os requisitos para produção de uma boa silagem como: teor de matéria seca (MS) entre 30% a 35%, no mínimo de 3% de carboidratos solúveis na matéria original, baixa capacidade tampão e por proporcionar boa fermentação microbiana (NUSSIO et al., 2001).

A silagem de milho fornece 50 a 100% a mais de energia digestível por hectare que qualquer outra forrageira (VELHO et al., 2006). Entretanto, o valor nutritivo da silagem de milho pode variar conforme o híbrido de milho, as condições de cultivo, a maturidade e a umidade no momento da colheita, o tamanho de partícula e as condições de ensilagem e posterior desensilagem.

O Brasil possui alta potencialidade de desenvolvimento tecnológico no setor pecuário de corte e de leite. Diversos sistemas de produção encontram-se distribuídos nas mais distintas regiões, porém, nem sempre se tem obtido rendimentos satisfatórios, sendo a grande maioria em função do espírito imediatista e equivocado de técnicos ou produtores quanto ao uso da tecnologia de ensilagem.

PAZIANI et al. (2009) citam em revisão que a produção de massa verde é um dos primeiros parâmetros a ser avaliado quando se busca informações sobre determinado material de milho. Esta é uma preocupação anterior aos parâmetros de qualidade da silagem e além de ser um parâmetro para o dimensionamento de silos, também contribui para a diluição dos custos de implantação da cultura por elevar a produtividade. Entretanto, além da produção total de massa, também deve ser considerada a qualidade da massa de forragem, que é influenciada pela proporção dos componentes da planta.

A importância em conhecer os valores de produtividade, participação das frações da planta e qualidade dessas frações, além de identificar as cultivares mais adaptadas

pela expressão de seu potencial produtivo, também permite estabelecer correlações entre estas variáveis e a produtividade e qualidade do milho para silagem.

Para um perfeito funcionamento de qualquer sistema de produção, estes valores devem manter-se num processo contínuo de qualidade total, que pressupõe planejamento, organização e coordenação das atividades, objetivando promover a obtenção de altos rendimentos, com economia de recursos naturais renováveis e sem agredir o meio ambiente (NEUMANN et al., 2011).

A quase totalidade dos produtores de leite da região de Castro (PR) faz uso de silagens de milho como volumoso na dieta das vacas leiteiras. A silagem de alta qualidade define em grande parte o custo de produção dentro da propriedade. Por ser a região em questão uma das bacias leiteiras mais tecnificadas do Brasil e por possuir alta produtividade, metodologias para avaliação de silagens são demandadas para se obter alimento de qualidade para que os animais possam expressar todo o seu potencial genético refletindo em produções cada vez mais eficientes.

1.1 RELAÇÃO ENTRE TECNOLOGIA DE ENSILAGEM E QUALIDADE DA SILAGEM

A conservação de forragens como silagem envolve um complexo processo bioquímico e microbiológico, da colheita até sua utilização na alimentação animal. O processo de conservação da forragem ensilada pode ser dividida, segundo OUDE ELFERINK et al.(2000), em quatro fases: a) fase aeróbia, b) fase de fermentação ativa, c) fase estável e d) fase de utilização. O contato com o oxigênio é complexo e se torna inevitável durante algumas destas fases.

É possível obter silagem de baixa qualidade a partir de uma forrageira de alta qualidade se a tecnologia empregada não for adequada (JOBIM et al., 2005). Além de que, segundo PAZIANI et al. (2009), há no mercado grande número de cultivares de milho com variados índices de produtividade e qualidade. Porém, é necessário considerar a influência dos fatores ambientais e das práticas de manejo, que, juntamente com o genótipo, definem o padrão de desenvolvimento da cultura. Assim, o desenvolvimento das mesmas cultivares pode variar entre ambientes, o que requer avaliação sobre essa variabilidade regional (clima, solo e outros).

Logo, PAZIANI et al. (2009) encontraram que as maiores produções de matéria seca digestível nas condições estudadas foram ocasionadas principalmente pelos

ambientes e cultivares de milho propícios à produção de massa da planta inteira e à produção de grãos. E que, apesar de o aumento na produção de massa verde e matéria seca reduzir a participação das espigas e dos grãos e elevar as frações colmo e folhas, não houve redução na produção de grãos no momento da ensilagem nem na produção de matéria seca digestível. A produção de matéria seca digestível depende de outros fatores como digestibilidade da planta inteira e de colmo e não somente do teor de grãos na massa.

A composição da planta na hora da colheita tem grande impacto no processo de ensilagem e na qualidade da silagem. Vários fatores influenciam a composição química da planta. Entre eles incluem maturidade, manejo de colheita, microbiologia da planta e o ambiente onde a cultura se desenvolve. O valor nutritivo na hora da colheita é muito importante, pois tem grande efeito na qualidade da silagem. Assim como a fisiologia de crescimento e desenvolvimento da planta e adaptação ao ambiente são importantes porque fornece informações sobre a qualidade da forragem e sua ensilabilidade (BUXTON & O'KIELY, 2003).

A ótima fermentação do material ensilado ocorre em um ambiente com baixas concentrações de oxigênio. Silagem com maior massa específica fornece as condições ideais para a rápida depleção de oxigênio no início da fermentação e minimiza a entrada de oxigênio na massa ensilada durante o armazenamento e retirada, resultando em maior qualidade da massa de forragem (CRAIG & ROTH, 2005).

O grande desafio na alimentação de ruminantes de alta produtividade é aumentar sua capacidade de ingestão para suprir suas necessidades nutricionais sem prejudicar os processos fisiológicos no rúmen, ou seja, mantendo a atividade de ruminação com consumo adequado de volumoso. A silagem de milho, normalmente, permite maior consumo em relação a outras forrageiras, em razão do seu teor relativamente baixo de FDN (menos de 50%). Quanto menor o teor de FDN na forragem, maior é a taxa de fermentação, ou seja, ocorre esvaziamento mais rápido do rúmen (VELHO et al., 2007).

Em revisão, OLIVEITA et al. (2011) citam que, atualmente, se deve optar por híbridos que apresentem, além de elevada produção de matéria seca e contribuição de grãos na massa ensilada, maior digestibilidade da fração fibrosa da planta. Normalmente, a maior digestibilidade da fibra da forragem, incrementa a ingestão de matéria seca e a produtividade de leite de vacas de alto mérito genético.

De acordo com CRAIG & ROTH (2005), mais recentemente os híbridos de milho para silagem são selecionados para maiores rendimentos de grãos com

nutrientes altamente digestíveis e níveis adequados de fibra. A maturidade das culturas deve ser monitorada para garantir melhores níveis de matéria seca na colheita, assim como o ajuste das ensiladeiras para adequado tamanho de corte e processamento para se obter alimento de alta qualidade.

No Brasil, não existe cultivar de milho recomendada somente para produção de silagem. Além disso, uma lavoura implantada para produção de silagem pode ser redirecionada para a colheita de grãos, em virtude das oscilações dos preços dos produtos animais e/ou do próprio grão. Embora seja possível utilizar a mesma cultivar para diferentes fins, deve-se procurar escolher aqueles com maior produção de matéria seca digestível (PAZIANI et al., 2009). Desta forma, os autores concluíram que as produções de matéria seca e a produção de grãos, tanto no ponto de ensilagem como na maturidade, são os fatores que mais afetam a produção de massa seca digestível. Portanto, em situações em que não há informações específicas sobre as cultivares de milho para silagem, pode-se optar pelas cultivares com maiores produções de grãos à maturidade pelo elevado grau de correlação entre essas características.

Um grande desafio para a produção de silagem de qualidade ocorre no silo, onde ocorrem processos microbianos que podem ser modificados para melhorar a fermentação. Por meio de práticas de manejo, tais como teor de umidade na colheita, duração do período da colheita, menor exposição do material ao oxigênio e o uso de inoculantes podem melhorar o padrão de fermentação da silagem. No entanto, um dos fatores de maior importância que influencia a qualidade da silagem é a densidade da massa ensilada (CRAIG & ROTH, 2005).

1.1.1 Momento de colheita – Ponto de corte

NEUMANN et al. (2011) consideram que na determinação do momento ideal de colheita, o primeiro ponto a se considerar é o custo total do processo. Lavouras ensiladas antes do ponto ideal apresentam menor rendimento e resultam em silagem com baixo teor de matéria seca, reduzida proporção de grãos e alto teor de fibra em detergente neutro (ou de baixa concentração de nutrientes digestíveis totais). Isto significa menor quantidade de massa seca colocada no silo, o que afeta o custo final da tonelada. A menor quantidade de grãos na massa ensilada significa silagem de menor valor energético. Além disso, pelo excesso de umidade, aumenta-se a possibilidade das denominadas fermentações indesejáveis que comprometem a qualidade do produto final

e a própria aceitação pelos animais, dada a facilidade do desenvolvimento de bactérias indesejáveis.

Por outro lado, quando se colhe tardiamente, o milho acumula maiores teores e rendimento de MS por hectare e melhor proporção de grãos na cultura. Entretanto, nesta situação pode não produzir boa silagem, porque há maiores perdas de material (principalmente de folhas) durante o corte e o transporte. Também a fermentação é prejudicada pela maior presença de ar na massa de forragem, como consequência da baixa massa específica. Quando o material é ensilado com alto teor de matéria seca ocorre redução na digestibilidade da silagem em virtude do aumento da fração fibras na estrutura da planta e da dificuldade para o processamento e consequente aproveitamento dos grãos.

Observaram-se maiores valores das frações folhas e colmos quando as cultivares e/ou as condições de desenvolvimento das plantas proporcionam maior acúmulo de matéria seca, uma vez que parte dos componentes fotoassimilados é translocada para a espiga depois do florescimento das plantas e o corte para ensilagem é feito antes da maturidade fisiológica dos grãos. Por isso, no estudo de PAZIANI et al. (2009), nas colheitas mais tardias, a quantidade de grãos na planta foi maior, sendo que o índice de matéria seca correlacionou-se positivamente com a produção de grãos no momento da ensilagem e com as frações espiga e grãos.

O estágio de desenvolvimento em que a planta de milho é colhida, além do híbrido utilizado, afeta a percentagem de matéria seca e de grãos na silagem. A planta de milho deve ser colhida nos intervalos de 30 a 35% de MS para produção de silagens. Teores de MS abaixo de 30% estariam relacionados com menor produção de massa, perdas de matéria seca por lixiviação, baixa qualidade da silagem e redução no consumo (NUSSIO et al., 2001).

A recomendação do momento ideal para colheita sugere estágio fisiológico mais avançado, em que é possível conciliar maior acúmulo de biomassa, tanto de grãos como da planta toda. Também haverá maior porcentagem de grãos e, por conseguinte, diluição da fração fibra pelo maior aporte de amido, mantendo o NDT inalterado, e ainda favorece o processo fermentativo e maior consumo potencial pelos animais.

Ao observar os dados da Tabela 1, constata-se que se o início da colheita ocorrer no estágio dente, 75% dos grãos e 85% do potencial de produção de MS da planta seriam alcançados, e se estendendo a colheita até ½ linha de leite, 95% da produção potencial dos grãos e a totalidade da MS da planta estariam concluídas. Essa evolução

acompanha a elevação do teor médio de MS na planta (30-35%) e na fração de grãos (50-60%) (NUSSIO et al., 2001).

Tabela 1 – Estimativas do potencial de produção e teor de umidade da planta de milho, conforme o estágio de maturação.

| Maturidade | Potencial de produção | | Umidade (%) | |
|------------------|-----------------------|--------|-------------|--------|
| | Grãos | Planta | Grãos | Planta |
| Florescimento | 0 | 55 | | 85 |
| Formação grão | 10 | 60 | 85 | 80 |
| Leitoso | 50 | 75 | 60 | 75 |
| Dente | 75 | 85 | 50 | 70 |
| ½ linha do leite | 95 | 100 | 40 | 65 |
| Duro | 100 | 100 | 25 | 55 |

Fonte: MAHANNA (1996) citado por NUSSIO et al. (2001).

Assim, os melhores híbridos para grãos são recomendados para silagem, pois os grãos representam a parte mais digestível da planta. Aumentando a proporção de grãos, aumenta também a qualidade da silagem. Por essa razão, a proporção de grãos tem sido enfatizada como critério para auxiliar na escolha de híbridos para silagem, por estar correlacionado com o potencial de produção de grãos e massa total da planta (NUSSIO & MANZANO, 1999).

Entretanto, segundo ZOPOLLATTO (2007), as características agrônômicas, além da porcentagem de grãos na massa, são importantes em programas de seleção de híbridos para silagem, sobretudo os demais constituintes da planta, como: colmo, folhas, brácteas e sabugo; além da porcentagem de folhas verdes, porcentagem de folhas secas; altura da planta; altura da espiga; porcentagem de plantas acamadas e porcentagem de plantas mortas.

1.1.2 Tamanho Médio de Partículas

A correta picagem da forrageira também é um ponto importante no processo de obtenção de silagem de alta qualidade. Picar corretamente significa facilitar o acondicionamento e a compactação da forrageira no silo, deixando os açúcares hidrossolúveis presentes na planta expostos para uma rápida e eficiente fermentação. No caso do milho, recomenda-se picar a forragem de forma mais homogênea possível, visando tamanho médio de partículas entre 5 e 10 mm (NEUMANN et al., 2011).

Na prática, o tamanho médio da partícula ensilada relaciona-se diretamente com a potência do trator e/ou a regulagem da ensiladeira utilizada. O menor tamanho da

partícula facilita o processo de ensilagem, uma vez que permite maior densidade de transporte do material colhido até o local de armazenamento, como também aumenta a eficiência do processo de compactação e permite melhor fermentação anaeróbia. As consequências observadas são melhor preservação do valor nutricional da massa ensilada e minimização das perdas na fase de utilização (NEUMANN et al., 2007).

O tamanho médio de partículas influencia a porosidade na massa de forragem colocada no silo e a resistência à compactação. Além disso, partículas de tamanho elevado reduzem a taxa de passagem ruminal de sólidos, reduzindo assim o consumo voluntário de matéria seca (JOBIM et al., 2007).

Segundo NEUMANN et al. (2009), quando o milho é colhido com ensiladeira regulada para tamanho de partícula entre 0,2 a 0,6 cm, a silagem mostrou diferenças ($P < 0,05$) na distribuição das partículas nas peneiras 1,905 cm (5,27 contra 19,28%), 0,787 a 1,905 cm (42,64 contra 55,78%) e inferior a 0,787 cm (52,08 contra 24,94%) em relação à silagem colhida com ensiladeira regulada para tamanho de partícula entre 1 a 2 cm.

Maximizar o consumo de MS é um fator-chave para produção de ruminantes. Uma retenção prolongada pode representar um problema para animais que precisam de taxas altas de passagem para cumprir suas exigências. Assim, SAENZ (2005) afirma que as forragens representam uma fração importante do consumo de energia em sistemas de produção de ruminantes. Existem muitos fatores que influenciam o consumo voluntário de alimentos pelos ruminantes.

A restrição física do consumo voluntário por atributos físicos das forragens é um dos mais importantes. Entre esses atributos, o tamanho de partícula pode ser um fator importante que influencia o valor nutricional do alimento porque afeta tanto o consumo de matéria seca como a taxa na qual os nutrientes ficam disponíveis para digestão e utilização microbiana. Dependendo da qualidade da forragem, a redução de tamanho de partícula pela moagem ou peletização pode incrementar o consumo de forragens e alimentos fibrosos substancialmente.

SAENZ (2005) cita, ainda, que o tamanho de partícula também afeta a taxa de passagem da ingesta pelo rúmen. Quando o conteúdo ruminal chega a um ponto em que incremento adicional não é possível, a taxa de passagem da ingesta determina o consumo de alimento. A taxa na qual o alimento é reduzido a partículas suficientemente pequenas para atravessar o orifício retículo-omasal, e a taxa de degradação pelos

microrganismos, são os fatores mais importantes que limitam o desaparecimento de digesta do rúmen.

Diante disso, o consumo de silagem pode ser aumentado pelo procedimento de corte da forragem na colheita, visando melhorar a fermentação no silo e incrementar a taxa de passagem pelo trato gastrointestinal (Nussio, 1995).

Entretanto, NEUMANN et al. (2009), trabalhando com novilhos Charolês, concluíram que o comportamento animal, expresso nas atividades de ingestão de água e consumo alimentar, não sofreu interferência referente ao processo de preparo das silagens, seja em altura de colheita ou tamanho de partícula. Porém, animais cuja dieta teve como volumoso silagens com tamanho de partículas grandes (TMP = 1,12 cm) apresentaram maior ($P < 0,05$) tempo de ruminação em relação às silagens com tamanho de partícula pequena (TMP = 0,74 cm). Em revisão, os autores ainda citam que KONONOFF et al. (2003) observaram que a redução do tamanho de partícula da silagem de milho determinou aumentos lineares no consumo de matéria seca de vacas em lactação sem causar redução do pH ruminal e da digestibilidade da matéria seca, indicando que o tamanho da partícula do volumoso também afeta essas variáveis.

Para avaliação e monitoramento do tamanho médio de partículas, sugere-se o separador de partículas Penn State (Penn State Particle Size Separator), que é composto por um conjunto de duas peneiras dispostas uma sobre a outra, com malhas de diâmetro de 19 mm na peneira superior e de 8 mm na peneira inferior (NEUMANN et al., 2011). Os autores recomendam que a qualidade física da silagem de milho (tamanho de partícula) seja monitorada pelo equipamento *Penn State Particle Size Separator*, durante a colheita das plantas, visando ajustes na regulagem da ensiladeira para que se obtenha, com base no peso “in natura”, de 3% a 8% das partículas retidas na peneira superior, de 45% a 65% na peneira mediana e de 30% a 40% no fundo do conjunto. Com isso, haverá melhor condição de compactação da massa ensilada, pela melhor acomodação das partículas no silo e conseqüente melhora do perfil de fermentação na conservação.

Os mesmos autores ponderam que, não somente a qualidade química dos volumosos utilizados na dieta de ruminantes, através da análise bromatológica (teores de proteína bruta, extrato etéreo, matéria mineral, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido e lignina), é a responsável pelo desempenho animal final, mas também pela qualidade física deles. A distribuição apropriada do tamanho das partículas dos volumosos é importante para formulação das rações, pois estabelecem a distribuição das

partículas da dieta completa (volumoso mais concentrado), as quais se relacionam diretamente com o grau de seleção da dieta, o tempo de ruminação, a estabilidade de pH ruminal, a taxa de passagem, o grau de degradação microbiana ruminal e a constância da produção animal, seja carne ou leite.

1.1.3 Altura de corte

NUSSIO et al. (2001) citam que a altura de corte da planta de milho para produção de silagem é ponto importante a ser considerado. Silagem da parte superior das plantas é indicada como uma opção, sendo obtida pela regulagem da colhedora em plano superior. Essa regulagem tem por objetivo recolher somente a parte superior da planta de milho, constituindo-se numa silagem com alta participação de grãos na massa de forragem, apresentando fibras mais digestíveis e de maior conteúdo energético. Seu emprego ocorre preferencialmente em sistema com animais de alta produção, como vacas leiteiras e novilhas precoces, em virtude de ser um alimento de elevado valor nutricional e de alto custo de produção, e também, por apresentar normalmente rendimentos de 75% a 80% em relação à silagem da planta inteira.

A produção de silagem de milho é reduzida cerca de 15% (base na MS), quando a altura de corte é elevada de 15 para 45 cm a partir do nível do solo. No entanto, a produção estimada de leite aumentou aproximadamente 12% para a mesma elevação da altura de corte, fato ocorrido pela fração mais fibrosa do material não ter sido colhido, resultando em redução de 3% na produção de leite por área (LAUER, 1998).

HUTJENS (2000) mencionou que para cada 15 cm na elevação da altura de corte espera-se uma redução de 1% no teor de FDA do material colhido, sendo a redução na produção de MS obtida ao redor de 850 kg/ha.

No estudo de OLIVEIRA et al. (2011), as produtividades médias de forragem ensilável foram de 14,6, 13,0 e 12,6 t MS/ha para as alturas de colheita de 15 cm, 35 cm e 55 cm, respectivamente. Com a elevação da altura de colheita, a produtividade foi reduzida, havendo queda de 13,6% na produtividade de forragem ensilável ao se elevar de 15 cm para 55 cm a altura de colheita. Nesse mesmo estudo, observou-se que com a elevação da altura de colheita de 15 cm para 35 e 55 cm houve aumento no teor de MS, e esse aumento ocorre porque a espiga é normalmente mais seca que folhas e colmo.

KENNINGTON et al. (2005), estudando os efeitos da altura de corte e híbridos sobre a composição, ingestão e digestibilidade da silagem de milho em novilhas,

encontraram diferença entre os híbridos para a digestibilidade e concluem que a composição genética do milho tem papel mais importante na digestibilidade da silagem do que a elevação da altura de corte na colheita.

Confirmando esta hipótese, os resultados do estudo de OLIVEIRA et al. (2011) sugerem que há diferenças entre os híbridos para valor nutritivo e que o efeito de híbrido tem maior peso do que altura de colheita. Os híbridos de menor valor nutritivo mesmo com a elevação da altura de colheita foram inferiores aos híbridos de maior valor nutritivo para todas as alturas. Portanto, mais importante que o manejo da altura de colheita é a escolha do híbrido.

CAETANO (2001) considera que a elevação da altura de corte melhorou a qualidade da forragem, em decorrência da redução da participação das frações colmo e folhas, havendo como consequência a redução dos componentes da parede celular e aumento nas proporções de grãos, o que determinou o aumento nos valores de digestibilidade da MS e dos nutrientes digestíveis totais (NDT). Entretanto, as estimativas econômicas de retorno por tonelada de MS de forragem por hectare foram inferiores para as plantas colhidas na altura de corte alto, questionando a viabilidade econômica da elevação da altura de corte das plantas de milho para produção de silagem.

1.1.4 Compactação e vedação

Na ensilagem deve ocorrer a ausência de ar (processo anaeróbico), condição esta em que se dará a fermentação desejável. É vital expulsar o ar do interior do silo. Para tanto, busca-se máxima eficiência ao compactar o material na medida em que ele é recebido no silo de armazenamento. A compactação depende do tamanho médio das partículas e está diretamente ligada à melhor fermentação, à maior quantidade de forrageira acondicionada no silo e ao melhor valor nutritivo e consumo da silagem final. Com tamanho de partícula entre 5 e 15 mm conseguem-se silagens com massa específica entre 550 e 700 kg MV/m³, principalmente em silos do tipo trincheira (NEUMANN et al., 2011).

Como citado por NEUMANN et al. (2007), as perdas de nutrientes da silagem geralmente é resultado da presença de O₂ e consequente ativação de processos químicos, físicos e microbiológicos que atuam em detrimento ao valor nutritivo da silagem.

SENGER et al. (2005), avaliando silagens de milho com distintos teores de umidade e níveis de compactação, concluíram que é possível manter as características qualitativas da silagem similares ao material original e que silagens com maior teor de matéria seca (> 28%) e bem compactadas (> 650 kg m⁻³ de MV) preservam maior quantidade de açúcares que podem ser usados como fonte de energia pelos microrganismos ruminais. Segundo Mulligan et al. (2002), silagens mal compactadas (nível de compactação abaixo de 300 kg m⁻³ de MV) determinam maior atividade de enzimas proteolíticas que transformam o nitrogênio proteico em formas de NNP (peptídios e aminoácidos livres), em que, sequencialmente, bactérias proteolíticas transformarão estes elementos em variados ácidos orgânicos, CO₂, amônia e aminas, produtos estes ligados à redução do consumo das silagens pelos animais.

O fechamento do silo finaliza com a vedação, utilizando-se de material plástico (polietileno), tanto para silos do tipo superfície, como trincheira. A vedação do silo é fator essencial, impede a entrada de ar e água, evitando a ocorrência de fermentações indesejáveis e eventuais descartes de silagem após abertura do silo (NEUMANN et al., 2011).

A lona que veda o silo protegida com terra, areia ou cascalho aumenta a adesão entre esta e a massa e diminui a incidência de raios solares e trocas gasosas com o ambiente. Porém, podem representar grande demanda de mão de obra, seja durante a vedação ou na retirada da silagem, principalmente quando o silo é de grande porte. Por estes motivos, segundo AMARAL (2011), quando materiais extras não são adicionados na cobertura, a lona passa a assumir uma contribuição mais expressiva na etapa de vedação do silo, objetivando a redução da penetração de ar do ambiente para o interior.

Em revisão, AMARAL (2011) cita que filmes de polietileno utilizados na cobertura de silos apresentam permeabilidade ao oxigênio, a qual tende a aumentar com a elevação da temperatura ambiental; e que segundo as normas da American Society for Testing and Materials Standards (AMST D3985-81), com a elevação da temperatura de 23 a 50°C, a permeabilidade ao ar dos filmes plásticos aumentam de três a cinco vezes. Sendo assim, na escolha da lona é preferível optar pela cor branca, pois filmes de outras cores, especialmente os escuros, aumentam a permeabilidade ao O₂ pela característica de absorver calor.

AMARAL (2011) utilizou como tratamento dois tipos de filmes plásticos: lona de polietileno dupla face, com espessura de 200 µm e lona coextruzada de polietileno e poliamida dupla face, com espessura de 125 µm, em que o filme de polietileno

apresentou temperatura superior ao filme coextruzado de polietileno e poliamida em todos os momentos de exposição aeróbia; e a silagem vedada com filme coextruzado de polietileno e poliamida apresentou sua quebra de estabilidade em momento posterior a silagem vedada com filme de polietileno.

Provavelmente, os menores valores de temperatura verificados para o filme coextruzado de polietileno com poliamida estão relacionados à baixa permeabilidade ao oxigênio apresentada por este filme plástico, o qual reduz as taxas de trocas gasosas do silo com o ambiente externo, tornando o local vedado com menor probabilidade de crescimento microbiano aeróbio. Ainda o teor de carboidratos solúveis foi superior para a silagem vedada com lona coextruzada de polietileno com poliamida.

Ainda, de acordo com o mesmo autor citado acima, além da importância da qualidade do filme plástico utilizado na vedação do silo, a proteção dessa cobertura pode trazer benefícios diminuir a incidência de raios solares e as trocas gasosas com o ambiente considerando que a permeabilidade da lona é dependente da temperatura e tempo de exposição aos raios solares. Ainda, o emprego de materiais na parte superior do silo provoca adesão entre a lona e a massa ensilada, o que dificulta o caminho do oxigênio na massa. Dessa forma, o autor afirma que silagens com proteção de terra ou bagaço sobre a lona e polietileno apresentaram as maiores concentrações de ácido láctico em relação ao tratamento sem proteção. Constatou-se menor contagem de leveduras na silagem em que havia proteção de terra sobre a lona, e a silagem sem proteção sobre a lona apresentou o maior acúmulo de temperatura por período de 240h. Com relação aos valores de carboidratos solúveis, a silagem com proteção de terra sobre a lona apresentou os maiores valores; também a concentração de ácido láctico foi maior e menor contagem de leveduras neste tratamento. Desta forma, o uso de estratégias de proteção do filme plástico foi efetivo em controlar o aquecimento da silagem e retardar o início da deterioração aeróbia na camada superior do silo.

Além dos fatores já mencionados, a proteção sobre a lona com bagaço de cana foi efetiva para o controle de perdas e maximizou o desempenho animal.

1.2 ESTABILIDADE AERÓBIA

A estabilidade aeróbia da silagem pode ser definida como a resistência da massa de forragem a degradação após a abertura do silo, ou ainda como o tempo que a silagem

leva para atingir temperatura superior a 2°C acima da temperatura ambiente (TAYLOR & KUNG JR., 2002).

Durante a utilização da silagem é inevitável a exposição do painel do silo ao O₂, com conseqüente crescimento de microrganismos aeróbios e perda de componentes nutritivos da silagem. A preocupação com estas perdas na fase de utilização da silagem levou pesquisadores de diferentes partes do mundo a concentrarem pesquisas com esse enfoque (JOBIM et al., 2007); as variáveis de temperatura e pH, pela facilidade de determinação e baixo custo, são as mais usadas na atualidade na avaliação da estabilidade aeróbia de silagens. Porém, a estabilidade aeróbia de silagens pode ser mais bem avaliada com estudo do crescimento da população microbiana, uma vez que o processo de deterioração aeróbia é essencialmente microbiano. Outra variável importante nas estimativas da estabilidade aeróbia de silagens é a medida do CO₂ liberado durante a exposição ao ar, porém isso implica em gastos mais elevados.

A estabilidade da silagem é determinada pela fermentação aeróbia (pós-fermentação) que ocorre após a abertura do silo. A pós-fermentação será mais intensa, quanto melhor for a qualidade da silagem, em função dos maiores teores de carboidratos solúveis residuais e de ácido láctico. Os principais substratos utilizados pelos microrganismos são os açúcares solúveis, os ácidos orgânicos e o etanol, resultando em aumento do pH e redução na digestibilidade e no conteúdo de energia. Assim sendo, a entrada de ar na silagem tem efeito negativo sobre a qualidade, principalmente em função do alto teor de amido, baixa umidade e pequena quantidade de ácidos formados durante o processo fermentativo. Nessa etapa, a utilização do ácido láctico pelas leveduras eleva o pH e libera as bactérias inibidas pela acidez levando a degradação de nutrientes. Assim, a silagem deteriorada pode conduzir a perdas econômicas elevadas e baixo desempenho animal (JOBIM & GONÇALVES, 2003).

Os mesmos autores citam que a deterioração da silagem está associada principalmente ao desenvolvimento de fungos e de leveduras; e a presença de fungos é indesejável principalmente em razão da produção de micotoxinas. Já as leveduras provocam grande liberação de CO₂ pelo metabolismo dos açúcares, resultando em perdas de MS.

Segundo GIMENES et al. (2006), manter o ambiente em anaerobiose durante a fase de fermentação e armazenamento, bem como a estabilidade aeróbia durante a fase de fornecimento no cocho são fatores importantes para a preservação do valor nutritivo do material ensilado.

A deterioração da silagem quando exposta ao ar é inevitável e pode resultar em perda substancial de matéria seca, o que geralmente ocorre pela interação de atividades fúngicas e bacterianas. O pH tende a aumentar, pois ocorre acúmulo de amônia e o nível de ácidos orgânicos (lático e acético) tende a declinar. A deterioração aeróbia da silagem está relacionada ao aumento da temperatura e do pH pelo consumo de açúcares e ácidos orgânicos causado por leveduras e bactérias, reduzindo a qualidade do material ensilado.

Sendo assim, de acordo com citação de JOBIM & GONÇALVES (2003), a temperatura, a concentração de carboidratos solúveis, a população de fungos e a concentração de ácidos orgânicos em interação com o pH são os parâmetros que mais afetam a estabilidade das silagens. O aumento do pH após a exposição da silagem ao ar, a queda no teor de carboidratos solúveis e a baixa concentração de ácido lático são importantes indicadores da deterioração da massa ensilada. O efeito mais significativo dos microrganismos aeróbios na qualidade das silagens é a respiração, e o substrato depende do microrganismo. As leveduras consomem somente compostos solúveis, tais como açúcares e produtos da fermentação, enquanto os fungos degradam ampla variedade de nutrientes, incluído carboidratos estruturais.

Pela dificuldade de compactação durante a ensilagem, as zonas mais porosas estão localizadas nas camadas superficiais e laterais do silo. Quanto maior a porosidade da massa, mais facilmente o ar poderá penetrar no seu interior. Assim, a redução da porosidade é de fundamental importância para conter a deterioração aeróbia (BERNARDES et al., 2009).

BARBOSA et al. (2011) citam que a deterioração aeróbia das silagens, além de reduzir o valor nutritivo, pode aumentar o risco de proliferação de microrganismos potencialmente patogênicos ou daqueles indesejáveis, afetando de forma significativa o desempenho dos animais alimentados com estas silagens. Destacam também que de maneira geral, os valores de pH se mantiveram baixos somente até 36h de exposição aeróbia, o que inibe o desenvolvimento de microrganismos. O pH é o principal fator de supressão do crescimento clostridiano, e o desenvolvimento dos clostrídios são restritos quando a forragem apresenta pH inferior a 4,2. Normalmente, o acréscimo nos valores de pH com o decorrer das horas de avaliação é bem evidente, o que se deve ao consumo dos ácidos orgânicos.

De acordo com JOBIM et al. (2007), como a estabilidade da silagem é determinada pela oxidação de substratos após a abertura do silo, a concentração de

oxigênio e a profundidade em que o ar penetra no silo são fatores preponderantes. Isso evidencia que a massa específica (ME) da silagem determina a porosidade da silagem e, por consequência, a concentração de oxigênio no painel do silo.

Pode-se afirmar que a metodologia para estudo da estabilidade aeróbia de silagens está bem definida e possibilita avaliação com certa precisão da velocidade de deterioração de silagens. Porém, entende-se que os estudos sobre a estabilidade das silagens não devem ser limitados às perdas nessa fase. O olhar deve se voltar para os efeitos de silagens deterioradas sobre a ingestão, desempenho de animais e qualidade do produto (JOBIM et al., 2007).

1.3 MASSA ESPECÍFICA

O termo densidade, embora internacionalmente adotado, é indevidamente usado para definir a massa específica (kg de MV ou MS/m³) de uma silagem armazenada. A densidade de um corpo é a relação entre as massas específicas do corpo e de um líquido padrão (água), nas mesmas condições, e é adimensional (não possui unidade). A massa específica (ME) é a razão entre a massa de uma quantidade da substância e o volume por ela ocupado. Embora a questão possa parecer semântica, os valores para cada variável são diferentes. Na prática, os dois termos são usados como sinônimos (JOBIM et al., 2007).

É conhecido que quanto maior a ME maior a capacidade do silo. Assim, maiores ME reduzem o custo de armazenamento por tonelada de silagem e as perdas durante a armazenagem (BOLSEN & BOLSEN, 2004).

De acordo com o já exposto na presente revisão, para confecção de silagem com qualidade, não basta a planta de milho possuir boa ensilabilidade, ser colhida no ponto correto de corte, entre outros, se não forem empregadas tecnologias adequadas no momento da ensilagem, como exemplo tamanho médio de partículas e uma compactação bem feita. Para tanto é proposta a avaliação da ME da silagem.

Segundo JOBIM et al (2007), há várias formas de se avaliar a qualidade de um alimento conservado (olfato, análises químicas e microbiológicas, desempenho dos animais), e o aspecto físico, principalmente a ME da forragem e o tamanho médio de partículas devem ser priorizados nessa avaliação. Esses fatores podem ser críticos, especialmente no processo de ensilagem.

A ME e o teor de MS têm relação direta com a porosidade no silo, a qual estabelece a taxa de aeração da silagem e, posteriormente, o grau de deterioração na armazenagem e na utilização. Portanto, a maior compactação proporciona maior ME, permitindo melhor conservação dos açúcares solúveis, menor alteração dos carboidratos estruturais e menor proteólise na silagem, aspectos que favorecem a aceitabilidade e o consumo (VELHO et al., 2007).

Em revisão, Jobim et al (2007) citam que várias metodologias têm sido testadas para avaliação da massa específica (ME) de silagens, em sua maioria constituídas por pesagem da massa de forragem retirada de um volume conhecido do silo, sendo os valores expressos em kg de MS ou MV/m³.

A ME é fator determinante na qualidade final do volumoso e, entre vários fatores, é determinada pelo tamanho médio de corte aplicado na planta forrageira utilizada.

Silagens produzidas com baixa ME apresentam maior teor de ar residual na massa, acarretando maior período de respiração (liberação de CO₂ e perda de MS), maior consumo de carboidratos solúveis, redução na velocidade de produção de ácidos orgânicos e maior valor final de pH da silagem (McDONALD et al., 1991). Ainda, baixos valores de ME determinam maior porosidade e infiltração de ar no painel do silo aberto, menor estabilidade aeróbia e maiores perdas no período pós-abertura. Essas características, em conjunto, acarretam elevadas perdas de MS, redução no valor nutritivo da silagem e no consumo dos animais, com conseqüente elevação no custo da tonelada. Ao ensilar forragens, como milho ou sorgo, de alto teor de matéria seca (acima de 35%), esse quadro é agravado. Por outro lado, o material compactado excessivamente no silo está predisposto à maior produção de efluentes, o que acarreta perdas qualitativas e quantitativas, além de reduzir o “pool” de carboidratos solúveis essenciais à boa fermentação. Esse processo é mais crítico em volumosos úmidos, como as gramíneas tropicais.

Os fatores que afetam a compactação são peso do trator, tempo de compactação, teor de água das plantas, altura do silo e tamanho das partículas (MUCK & HOLMES, 2000).

Entretanto, em estudo de D'AMOURS & SAVOIE (2005), a percentagem de grãos na colheita foi o fator mais importante para aumentar a ME (base na MS) em silagem de milho. Nesse contexto, a colheita no estágio de maturação adequado é fundamental para obter alto teor de grãos e alta densidade de armazenamento.

CRAIG & ROTH (2005) citam que práticas de gestão como taxas de transporte do material a ser ensilado, teor de MS, profundidade (altura) da massa ensilada, peso médio do trator que está compactando, acondicionamento e espessura da camada e tempo de ensilagem têm influências consideráveis na ME da silagem.

Em todos os casos, a ME no topo do silo é mais baixa enquanto que a ME na base do silo é mais alta (D'AMOURS & SAVOIE, 2005). Esse efeito é corroborado por SILVA et al. (2011), que também encontraram menores valores de ME no estrato superior dos silos avaliados, encontrando valores para este estrato de 411,06 e 210,18 kg MV/m³. Os autores relatam que a maior ME nos estratos inferiores do silo se deve ao efeito da maior compactação exercida pelo peso da massa da forragem.

Este efeito é causado por “autocompactação” como o aumento da profundidade e peso adicional para aumentar a ME da silagem. A tendência mostra também que muito frequentemente a base do silo e a parte mediana apresentam ME adequada para o armazenamento, mas a ME no topo do silo não é adequada para a fermentação e armazenamento ideais. Infelizmente, o topo é a área da silagem que é mais provável de ser exposta ao ar e à umidade. Densidades mais baixas podem resultar em rápidas perdas de MS e de deterioração potencial nesta zona (CRAIG & ROTH, 2005).

A ME é também maior no centro em relação às proximidades das paredes do silo. D'AMOURS & SAVOIE (2005) observam que a ME no centro foi em média 7% mais elevada do que a ME próximo da parede. Isso reflete a tendência geral de rodas do trator rodando com mais frequência perto do centro do que perto das paredes do silo. Para obter a ME relativamente uniforme, o operador do trator pode precisar de mais atenção para o tempo gasto perto da parede em relação ao tempo gasto perto do centro do silo. Portanto, a ME mais baixa observada no topo e perto da parede do silo indicam as áreas em que a silagem pode ser de menor qualidade, pela oxidação. A análise também sugere práticas para melhorar o enchimento e descarga durante a ensilagem.

Uma ME elevada é desejável porque maior quantidade de MS é armazenada no mesmo volume e os custos fixos de armazenamento por unidade de massa de forragem serão reduzidos.

D'AMOURS & SAVOIE (2005) apresentam resultados de RUPPEL et al. (1995), que observaram que a perda durante o armazenamento foi inversamente proporcional à

ME. Ao longo de um período de armazenamento de seis meses, a perda de MS diminuiu de 20 a 10% quando a ME aumentou de 160 a 320 kg de MS / m³.

JOBIM et al. (2007) citam que embora não haja um valor considerado ideal para avaliação em um silo, recomenda-se ME superiores a 550 kg de MV/m³, e inferiores a 850 kg de MV/m³, sendo esse alto valor obtido apenas em condições bastante favoráveis; e que os benefícios da compactação adequada sobre as características fermentativas e perdas em silagens de milho são obtidos com valores mínimos de 225 kg de MS/m³. Contudo, dificilmente esses valores são observados em silagens de materiais mais úmidos, como gramíneas tropicais, embora a umidade auxilie na compactação.

Além disso, uma das principais razões de se ter conhecimento sobre a ME do silo é que para planejar um programa de alimentação, os produtores e técnicos também precisam saber a densidade média de silagem e a capacidade total do silo antes até mesmo de se efetuar o plantio (adaptado de D'AMOURS & SAVOIE, 2005).

A aplicação de métodos indiretos na avaliação da ME tem sido testada, visando facilitar operacionalmente a tomada desses dados em condições de campo (JOBIM et al., 2007). Para tanto, SILVA et al. (2011) correlacionaram valores de resistência oferecida pela massa ensilada (silagem de milho) ao penetrômetro com valores de ME obtidos com o uso do cilindro metálico por meio de regressão e então estimaram a ME da silagem por meio indireto, concluindo que o penetrômetro pode ser utilizado como método indireto na determinação da massa específica de silagens de milho. O que se deu pela alta relação positiva que houve entre a resistência à penetração do cone metálico e kg de silagem m⁻³, em um primeiro estudo, e entre a massa específica estimada e a massa específica observada, em um segundo estudo.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, R. C. **Estratégias de controle da deterioração aeróbia em silagem de milho e seu valor alimentício para vacas em lactação**. 2011. 175 f. Tese (Doutorado em Ciências)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- BARBOSA, L. A. et al. Estabilidade aeróbia de silagens de milho e soja exclusivas ou associadas. **Ars Veterinaria**, Jaboticabal, v. 27, n. 4, p. 255-262, 2011.
- BERNARDES, T. et al. Sealing strategies to control the top losses in horizontal silos. In: ZOPOLLATO, M. et al. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORAGE QUALITY AND CONSERVATION, 2004, Piracicaba. **Proceedings...** Piracicaba: Fealq, 2009. p. 209-224.
- BOLSEN, K. K.; BOLSEN, R. E. The silage triangle and important practices in managing bunker, trench, and driver-over pile silos. In: SOUTHEAST DAIRY HERD MANAGEMENT CONFERENCE, 2004, Macon. **Proceedings...** Macon: Georgia Farm Bureau Building, 2004. p. 1-7.
- BUXTON, D. R.; O’KIELY, P. Preharvest plant factors affecting ensiling. In: BUXTON, D. R. et al. (ed.) **Silage science and technology**. Madison: ASA Inc., 2003. p. 199-250.
- CAETANO, H. **Avaliação de onze cultivares de milho colhidos em duas alturas de corte para produção de silagem**. 2001. 178 f. Tese (Doutorado em Zootecnia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- CRAIG, P. H.; ROTH, G. **Penn State University bunker silo density study summary report 2004 – 2005**. Penn State: Department of Agriculture, and Pennsylvania Counties Cooperating, 2005. Disponível em: <http://cornandsoybeans.psu.edu/pdfs/bunker_silo_study.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2011.
- D’AMOURS, L.; SAVOIE, P. Density profile of corn silage in bunker silos. **Canadian Biosystems Engineering**, Saskatoon, v. 47, p. 2.21-2.28, 2005.

GIMENES, A. L. G. et al. Composição química e estabilidade aeróbia em silagens de milho preparadas com inoculantes bacteriano e/ou enzimático. **Acta Scientiarum, Maringá**, v. 28, n. 2, p. 153-158, 2006.

HUTJENS, M. **Selecting corn silage varieties**. 2000. Disponível em: <<http://www.livestocktrail.illinois.edu/dairynet/paperDisplay.cfm?ContentID=577>>. Acesso em: 24 fev. 2012.

JOBIM, C. C.; GONÇALVES, G. D. Microbiologia de forragens conservadas. In: **VOLUMOSOS na produção de ruminantes: valor alimentício de forragens**. 1. ed. Jaboticabal: Funep, 2003. v. 1, p. 1-26.

JOBIM, C. C. et al. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, p. 101-119, 2007.

JOBIM, C. C.; PEREIRA, J. R. A.; SANTOS, G. T. Sistemas de produção de leite com ênfase na utilização de volumosos conservados. In: REIS, R. A.; SIQUEIRA, G. R.; BERTIPAGLIA, L. M. A. (ed.). **Volumosos na produção de ruminantes**. Jaboticabal: Funep, 2005. p. 61-82.

KENNINGTON, L. R. et al. Effect of cutting height and genetics on composition, intake, and digestibility of corn silage by beef heifers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 83, n. 6, p. 1445-1454, 2005.

LAUER, J. **Corn silage and quality trade-offs when changing cutting height**. Agronomy Advice. 1998. Disponível em: <http://www.uwex.edu/ces/forage/wfc/proceedings2001/corn_silage_cutting_height.htm>. Acesso em: 24 fev. 2012.

MAHANNA, W. **Corn – management and breeding the TMR plant**. Pioneer Hi-Bred International. 1996. Disponível em: <[http://www.pioneer.com/usa/products and technology/nutrition](http://www.pioneer.com/usa/products_and_technology/nutrition)>. Acesso em: 15 fev. 2010.

McDONALD, P.; HENDERSON, A.R.; HERON, S. J. E. **The biochemistry of silage**. 2. ed. Marlow: Chalcombe Publication, 1991.

MUCK, R. E.; HOLMES, B. J. Factors affecting bunker silo densities. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 16, n. 6, p. 613-619, 2000.

MULLIGAN, F. J. et al. Intake, digestibility, milk production and kinetics of digestion and passage for diets based on maize or grass silage fed to late lactation dairy cows. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 74, p. 113-124, 2002.

NEUMANN, M. et al. Características da fermentação da silagem obtida em diferentes tipos de silos sob efeito do tamanho de partícula e da altura de colheita das plantas de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 847-854, 2007.

NEUMANN, M. et al. Comportamento ingestivo e de atividades de novilhos confinados com silagens de milho de diferentes tamanhos de partícula e alturas de colheita. **Ciência Animal Brasileira**, Goiania, v. 10, n. 2, p. 462-473, 2009.

- NEUMANN, M. et al. Aplicação de procedimentos técnicos na ensilagem do milho visando maior desempenho animal. In: IV SIMPÓSIO: PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 4., 2011, Maringá. **Anais...** Maringá: Sthampa, 2011. p. 95-130.
- NUSSIO, L. G. Milho e sorgo para produção de silagem. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. (ed.). **Volumosos para bovinos**. 2. ed. Piracicaba: Fealq, 1995. p. 75-177.
- NUSSIO, L. G.; CAMPOS, F. P.; DIAS, F. N. Importância da qualidade da porção vegetativa no valor alimentício da silagem de milho. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 1., 2001, Maringá. **Anais...** Maringá: Sthampa, 2001. p. 127-145.
- NUSSIO, L. G.; MANZANO, R. P. Silagem de milho. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS: ALIMENTAÇÃO SUPLEMENTAR, 7., 1999, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Esalq, 1999. p. 27-46.
- OLIVEIRA, F. C. L. et al. Produtividade e valor nutricional da silagem de híbridos de milho em diferentes alturas de colheita. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, n. 4, p. 720-727, 2011.
- OUDE ELFERINK, S. J. W. H.; DRIEHUIS, F.; GOTTSCHAL, J. C. Silage fermentation processes and their manipulation. In: FAO ELETRONIC CONFERENCE ON TROPICAL SILAGE, 1999, Rome. **Proceedings...** Rome: FAO, 2000. p. 17-30.
- PAZIANI, S. F. et al. Características agrônômicas e bromatológicas de híbridos de milho para produção de silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 411-417, 2009.
- SAENZ, E. A. C. Modelagem da redução do tamanho de partículas na alimentação de ruminantes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 886-893, 2005.
- SENGER, C. C. D. et al. Composição química e digestibilidade “in vitro” de silagem de milho com distintos teores de umidade e níveis de compactação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1393-1399, 2005.
- SILVA, M. S. et al. Determinação da massa específica de silagens de milho por método indireto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 9, p. 1622-1625, 2011.
- TAYLOR, C. C., KUNG JR., L. The effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 on the fermentation and aerobic stability of high moisture corn in laboratory silos. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 85, p. 1526-1532, 2002.
- VELHO, J. P. et al. Alterações bromatológicas nas silagens de milho submetidas a crescentes tempos de exposição ao ar após “desensilagem”. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 916-923, 2006.

VELHO, J. P. et al. Composição bromatológica de silagens de milho produzidas com diferentes densidades de compactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1532-1538, 2007.

ZOPOLLATTO, M. **Avaliação do efeito da maturidade de cultivares de milho (*Zea mays* L.) para silagem sobre a produtividade, composição morfológica e valor nutritivo da planta e seus componentes**. 2007. 210 f. Tese (Doutorado em Agronomia)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo, Piracicaba.

II – OBJETIVOS GERAIS

O presente estudo teve como objetivos:

- estimar a massa específica de silagens de milho por método indireto com uso de um penetrômetro digital, em que, hipoteticamente, há relação linear e positiva entre a resistência à penetração do cone metálico e kg de silagem/m³;
- determinar a massa específica de silagens de milho em propriedades rurais, estabelecendo correlações entre a massa específica e características físicas e químicas da silagem, adotando a hipótese de que a maior ME em silagens pode expressar melhor qualidade nutricional, pelo melhor padrão de fermentação.

III – Uso de método indireto para determinação da massa específica de silagens de milho em fazendas

Using the indirect method for determining corn silages density on farms

RESUMO

Várias metodologias são testadas para avaliação da massa específica (ME) de silagens. A aplicação de métodos indiretos na avaliação da ME são testados visando facilitar operacionalmente a tomada desses dados em condições de campo. Este estudo teve como objetivo estabelecer correlações entre o método direto e método indireto na determinação da ME de silagens de milho, consolidando uma ferramenta alternativa para uso em fazendas. Foram efetuadas mensurações da ME em 14 silos com silagem de milho com uso de um cilindro metálico acoplado à uma motosserra. Pelo volume do cilindro e o peso da massa retirada, foi determinada a ME para cada silo, avaliado em cinco pontos do painel. Para proceder à estimativa da ME com o método indireto utilizou-se um penetrômetro digital, sendo que os pontos onde se mensurou a resistência à penetração foram os mesmos perfurados com o cilindro metálico, e em cada orifício foram determinados dois pontos de resistência, totalizando dez pontos. Correlacionaram-se os valores de resistência ao penetrômetro (MPascal) com os valores de ME (kg.m^{-3}) por meio de regressão e então estimou-se a ME das silagens. Ocorreu relação positiva entre a ME da massa ensilada e a resistência à penetração tanto para material verde (MV) como para material seco (MS). A equação ajustada teve um coeficiente de determinação alto, explicando 57% das variações observadas para MEMV e 80% para MEMS, concluindo-se que o penetrômetro pode ser utilizado como método indireto para determinar a massa específica de silagens de milho.

Palavras-chave: massa específica, método indireto, penetrômetro, silagem de milho.

ABSTRACT

Several methodologies have been tested to evaluate silage density. The application of indirect methods to evaluate density has been tested operationally in order to facilitate the taking of such data under field conditions. This study aimed to establish correlations between the direct method and indirect method to determine corn silage density, consolidating an alternative tool for use on farms. Density measurements were done in 14 silos of corn silage using a metal cylinder attached to a chainsaw. Considering the cylinder volume and the weight of removed mass the density was determined for each silo, measured at five points on the panel. To make the density estimate with the indirect method it was used a digital penetrometer, also the points where it was measured the resistance to penetration, were the same perforated with metal cylinder, and in each well was determined two points of resistance, totaling 10 points. It was correlated the values of penetration resistance (MPascal) with the values of SD ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) through regression, and then it was estimated the SD.. There was a positive relationship between silage density and penetration resistance for both natural matter (NM) and for dry matter (DM). Since the fitted equation had a high coefficient of determination, explaining 57% of the variations observed for NM density and 80% for DM density, it was concluded that the penetrometer can be used as an indirect method to determine corn silage density.

Key words: corn silage, density, indirect method, penetrometer.

INTRODUÇÃO

A maior compactação da massa ensilada proporciona maior massa específica (ME), permitindo melhor conservação dos açúcares solúveis, menor alteração dos carboidratos estruturais e menor proteólise na silagem, aspectos que favorecem a aceitabilidade e o consumo da silagem (VELHO et al., 2007).

Em revisão, JOBIM et al. (2007) citam que várias metodologias são testadas para avaliação da ME de silagens, em sua maioria constituídas por pesagem da massa de forragem retirada de um volume conhecido do silo, sendo os valores expressos em kg de MS ou MV/m³. Os mesmos autores citam ainda que a aplicação de métodos indiretos na avaliação da ME é testada, visando facilitar operacionalmente a tomada desses dados em condições de campo, tais como sensores radiométricos que apresentam uma fonte emissora e receptora de radiação para ondas gama; método com base na ressonância em microondas; e o sistema de georadar, utilizado também para estimar a ME de solos (SCHMEL et al., 2006).

Contudo, os métodos indiretos ainda estão em desenvolvimento e dependem de rigorosa calibração para resultar em confiabilidade dos dados obtidos.

SILVA et al. (2011) correlacionaram valores de resistência oferecida pela massa ensilada (silagem de milho) ao penetrômetro com valores de ME obtidos com coletas com o uso do cilindro metálico de volume conhecido. A partir dos dados coletados estimaram a ME da silagem, indicando que com a estimativa da ME por método indireto, com uso de um penetrômetro, é possível se obter dados em condições de campo de forma rápida e de baixo custo.

Segundo SUN et al. (2010), entre os vários instrumentos invasivos para determinar ME em silagens, o penetrômetro tem vantagens específicas sobre outras técnicas, porque são simples de calibração e podem fornecer dados confiáveis. Acredita-se que essa técnica aplicada de forma correta tem o potencial de fornecer boas informações sobre as condições de armazenagem de silagens.

Objetivou-se com este estudo avaliar a ME de silagens de milho em propriedades rurais e estabelecer correlações entre o método direto (coleta de amostras no painel do silo) com o método indireto de mensuração (uso de penetrômetro), consolidando uma ferramenta alternativa para estimar o grau de compactação e possíveis alterações na qualidade da forragem armazenada.

MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente, foram efetuadas mensurações de massa específica (ME) com uso do método direto em 14 silos (tratamentos) com silagem de milho em propriedades rurais leiteiras na região dos Campos Gerais (PR), especificamente nos municípios de Castro, Carambeí, Arapoti, Piraí do Sul e Ponta Grossa no primeiro semestre do ano de 2010.

Para tanto, foi utilizada como base a metodologia descrita por HOLMES & MUCK (1999) e D'AMOURS & SAVOIE (2005). Utilizou-se um cilindro metálico com 10 cm de diâmetro x 20 cm de comprimento, com borda cortante serrilhada acoplado à uma motosserra, como em estudo de CRAIG & ROTH (2005). A introdução do cilindro no painel da massa ensilada se deu por meio da rotação exercida pela motosserra. A profundidade utilizada para o cálculo do volume de amostra retirada foi medida com uma régua no orifício deixado após a retirada do cilindro do painel do silo. Assim, considerando o volume do cilindro e o peso da massa retirada pode-se determinar a ME para cada ponto no painel do silo a ser avaliado.

As retiradas de massa ensilada com cilindro foram feitas em cinco pontos (tidos como repetições) no painel dos silos, sendo três locais na parte superior e dois locais na parte inferior, como uma orientação em forma de “W”. Antes do procedimento de amostragem, uma fatia da silagem no painel de cada silo era removida manualmente com intuito de retirar a silagem solta durante a operação de descarga, para então iniciar a amostragem na parte intacta. A ME foi calculada com base no volume, na massa retirada e também no conteúdo de matéria seca.

Para proceder às estimativas da ME, por meio do método indireto, utilizou-se um penetrômetro digital (penetrômetro de cone marca DLG Automação, do modelo PNT-2000), o qual segue a norma ASAE S313.3 que define a resistência de penetração como a pressão sobre a área de um cone com ângulo sólido de 30°. Este equipamento é o mesmo utilizado para determinar a resistência à penetração em estudos de compactação do solo. Os pontos onde se mensurou a resistência à penetração seguiram a mesma orientação na determinação da ME com o cilindro metálico, e em cada ponto no painel do silo foram determinados dois pontos de resistência, totalizando dez pontos em cada silo.

Para as medidas de resistência, o cone metálico do penetrômetro foi empurrado para dentro da massa ensilada, em posição horizontal ao painel do silo, com uma velocidade constante de aproximadamente 2 cm/s até a haste. A penetração do cone foi de aproximadamente 0,9 m na silagem.

Assim, correlacionaram-se os valores de resistência ao penetrômetro (MPascal) com os valores de ME ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) obtidos com uso do cilindro acoplado à motosserra por meio de estudo de regressão. Pelas equações obtidas foram calculados os valores da ME para matéria verde (MEMV) e para matéria seca (MEMS) em cada silo. Os dados obtidos não foram submetidos à análise estatística, por considerar que não há repetição (silo), haja vista que os silos avaliados foram em propriedades distintas e outros fatores que não o tipo de silo avaliado e a silagem (milho) podem apresentar características distintas. Assim sendo, os valores obtidos para a MEMV e MEMS são analisados de forma descritiva.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se na Tabela 1 que o teor médio de MS encontrado nas silagens avaliadas foi de 30,87%, variando de 27,38% (silo 6) a 39,07% (silo 11), estando coerente com o exposto por NUSSIO et al. (2001), ao recomendar que a planta de milho deva ser colhida nos intervalos de 30 a 35% de MS para produção de silagens. Neste caso, os teores de MS abaixo de 30% estariam relacionados com menor produção de MS, perdas de matéria seca por lixiviação, baixa qualidade da silagem e redução no consumo.

Tabela 1 – Teor de matéria seca, resistência da massa ensilada à penetração do cone metálico, massa específica observada e estimada com base na matéria seca e na matéria verde em silos de fazenda.

| Silo | MS (%) | Resistência (MPascal) | MEMVob (kg MV m^{-3}) | MEMVes (kg MV m^{-3}) | MEMSob (kg MS m^{-3}) | MEMSes (kg MS m^{-3}) |
|--------------|--------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 32,68 | 2,20 | 839,42 | 767,42 | 274,32 | 259,57 |
| 2 | 34,97 | 1,92 | 747,94 | 836,81 | 261,55 | 281,83 |
| 3 | 29,16 | 0,24 | 468,58 | 571,43 | 136,64 | 145,69 |
| 4 | 27,70 | 0,54 | 751,25 | 704,38 | 208,10 | 203,83 |
| 5 | 29,42 | 1,07 | 875,86 | 850,12 | 257,68 | 271,46 |
| 6 | 27,38 | 1,00 | 902,77 | 836,63 | 247,18 | 264,69 |
| 7 | 33,63 | 0,99 | 787,00 | 835,67 | 264,67 | 264,22 |
| 8 | 28,68 | 0,68 | 786,53 | 755,17 | 225,58 | 226,59 |
| 9 | 27,87 | 0,74 | 801,02 | 773,49 | 223,25 | 234,93 |
| 10 | 32,46 | 1,15 | 854,13 | 860,76 | 277,25 | 277,04 |
| 11 | 39,07 | 1,06 | 709,97 | 847,02 | 277,38 | 269,88 |
| 12 | 34,45 | 0,85 | 867,02 | 802,77 | 298,69 | 248,48 |
| 13 | 27,76 | 0,48 | 776,46 | 683,92 | 215,55 | 194,77 |
| 14 | 26,98 | 0,53 | 659,59 | 702,08 | 177,96 | 202,80 |
| Média | 30,87 | 0,96 | 773,40 | 773,40 | 238,98 | 238,98 |

MS – matéria seca; Resistência – resistência ao cone metálico; MEMVob – massa específica com base na massa verde observada; MEMVes – massa específica com base na massa verde estimada; MEMSob – massa específica com base na massa seca observada; MEMSes – massa específica com base na massa seca estimada.

A média de resistência à penetração nos silos foi de 0,96 MPascal, estando próxima da média encontrada por SILVA et al. (2011), os quais encontraram valor de 1,09 MPascal. Porém, a resistência da massa ensilada à penetração do cone metálico apresentou grande variação com valores entre 0,24 MPascal (silo 3) a 2,20 MPascal (silo 1). Isso evidencia que houve variação significativa no grau de compactação da massa de forragem nos silos, com consequentes diferenças na ME.

Os valores médios de ME observada (método direto) e estimada (método indireto), tanto para MS (MEMS) como para MV (MEMV), apresentados na Tabela 1, estão coerentes com os valores normalmente observados em silos de fazenda. Sendo encontrados valores médios de ME observada de 773,39 kg MV.m⁻³ e de 238,98 kg MS.m⁻³. Os valores para a MEMV observada variaram de 902,77 a 468,58 kg MV.m⁻³, enquanto a MEMV estimada variou de 860,76 a 571,43 kg MV.m⁻³. Já os valores de MEMS observado variaram de 298,69 a 136,64 kg MS.m⁻³, enquanto a MEMS estimada variou de 281,83 a 145,69 kg de MS.m⁻³. Constatou-se que houve maior magnitude de variação nos valores de ME observada em relação aos valores de ME estimados, tanto para MV como para MS.

De acordo com JOBIM et al. (2007), embora não haja um valor considerado ideal para avaliação em um silo, recomendam-se valores entre 550 e 850 kg de MV.m⁻³, sendo esse alto valor obtido apenas em condições bastante favoráveis. Normalmente, os benefícios da compactação adequada sobre as características fermentativas e perdas em silagens de milho são obtidos com valores mínimos de 225 kg de MS.m⁻³.

Ocorreu relação positiva entre a ME da massa ensilada e a resistência à penetração do cone metálico. Assim, à medida que aumentou a resistência à penetração do cone, maior foi a ME da silagem (Figuras 1 e 2). Este comportamento também foi observado por SILVA et al. (2011), que encontraram relação linear e positiva entre a ME da silagem de milho e a resistência à penetração do cone metálico em dois estudos. No entanto, no segundo estudo, a equação linear ajustada teve um coeficiente de determinação baixo, explicando apenas 33% das variações observadas. Este baixo coeficiente pode ser atribuído às conformações superficiais dos silos utilizados neste segundo experimento, por proporcionarem menor compactação do material ensilado, alterando a correlação física de massa volume que pode ter influenciado a relação ME/resistência à penetração do cone metálico.

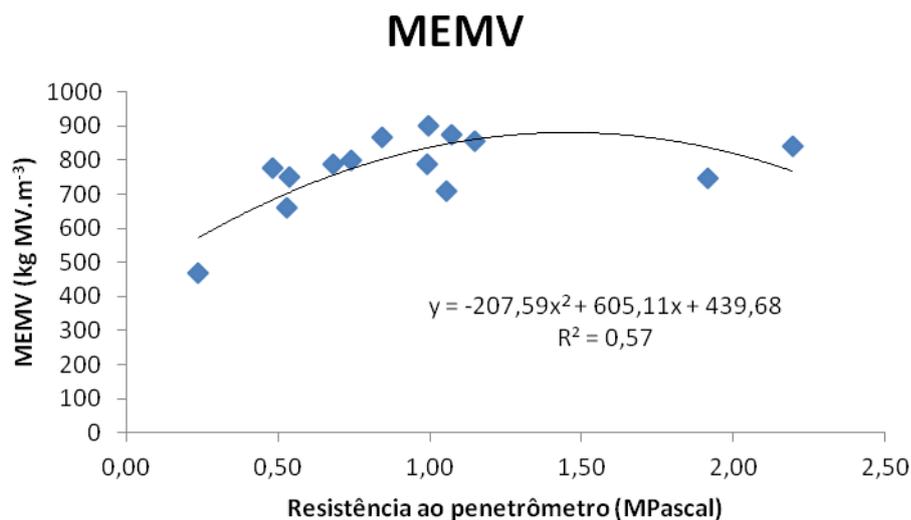


Figura 1 – Relação entre MEMV (massa específica da silagem com base na massa verde) expressa em kg/m³ e resistência à penetração do cone metálico (MPa).

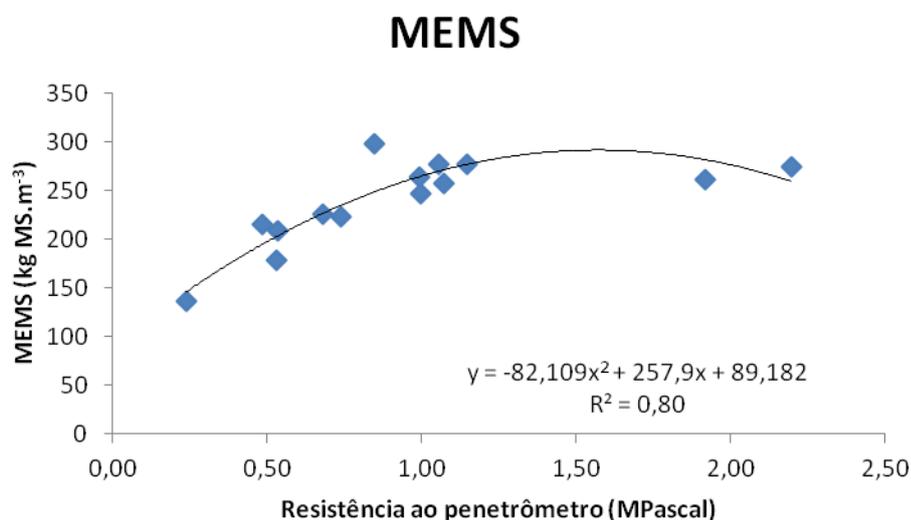


Figura 2 – Relação entre MEMS (massa específica da silagem com base na massa seca) expressa em kg/m³ e resistência à penetração do cone metálico (MPa).

No trabalho de SILVA (2009) constata-se que a estimativa da ME com uso do penetrômetro teve maior precisão quando expressa na matéria verde. Já no presente estudo, a estimativa da ME com método indireto apresentou maior precisão quando expresso na matéria seca, em que 80% da variação da ME das silagens foi explicada pela resistência à penetração, contra 57% expresso em matéria verde.

Percebe-se que à medida que aumentou a ME da silagem, maior foi a resistência oferecida à penetração do cone. Isto tanto para a ME calculada (estimada) para o material verde como para o material seco. A equação ajustada apresentou um

coeficiente de determinação alto, explicando 57% das variações observadas para MEMV e 80% para MEMS.

Em trabalho semelhante, em silagens de milho, SILVA et al. (2011) encontraram que a correlação obtida entre a ME observada e a ME estimada para o material verde foi de 0,86, indicando alta associação positiva entre essas variáveis. O grau de associação entre a ME observada e a ME estimada para o material seco também foi alto e positivo (0,82). Segundo os mesmos autores, o penetrômetro pode ser utilizado como método indireto na determinação da massa específica de silagens de milho.

Também VISSERS et al. (2007) concluíram que a resistência à penetração pode ser usada como um indicador da ME da massa ensilada, a maior resistência a penetração do cone indicou um maior grau de compactação e uma maior ME.

As variáveis (ME observada e estimada) estão direta e altamente relacionadas neste estudo, infere-se que é possível determinar a ME de silagens de milho utilizando os valores estimados (em MPascal) de ME nas equações de regressão $y = -82,109x^2 + 257,9x + 89,182$ com coeficiente de determinação de 0,80 com base na MS e $y = -207,59x^2 + 605,11x + 439,68$ com coeficiente de determinação 0,57 com base na MV.

CONCLUSÕES

O penetrômetro pode ser utilizado como uma ferramenta para determinar a massa específica de silagens de milho de forma indireta em condições de fazenda.

REFERÊNCIAS

CRAIG, P. H.; ROTH, G. **Penn State University bunker silo density study summary report 2004 – 2005**. Penn State: Department of Agriculture, and Pennsylvania Counties Cooperating, 2005. Disponível em: <http://cornandsoybeans.psu.edu/pdfs/bunker_silo_study.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2011.

D'AMOURS, L.; SAVOIE, P. Density profile of corn silage in bunker silos. **Canadian Biosystems Engineering**, Saskatoon, v. 47, p. 2.21-2.28, 2005. Disponível em: <<http://engrwww.usask.ca/oldsite/societies/csae/protectedpapers/c0435.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2012.

HOLMES, B. J.; MUCK, R. E. **Factors affecting bunker silo densities**. Madison: University of Wisconsin, 1999. Disponível em: <<http://www.uwex.edu/ces/crops/uwforage/BunkDens3.PDF>> Acesso em: 20 ago. 2010.

JOBIM, C. C. et al. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, p. 101-119, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v36s0/13.pdf>> Acesso em: 16 ago. 2010.

NUSSIO, L. G.; CAMPOS, F. P.; DIAS, F. N. Importância da qualidade da porção vegetativa no valor alimentício da silagem de milho. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 1., 2001, Maringá. **Anais...** Maringá: Sthampa, 2001. p. 127-145.

SCHEMEL, H. et al. Density measurement on silage. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM FORAGE CONSERVATION, 12., 2006, Brno. **Proceedings...** Brno: Veterinarni a Farmaceuticka Univerzita Brno, 2006. p. 186-188. Disponível em: <<http://www.isfc.eu/isfc12/pdf/celysbornikEN.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2012.

SILVA, M. S. **Avaliação da estabilidade aeróbia de silagens de milho**. 2009. 67 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)- Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá, 2009.

SILVA, M. S. et al. Determinação da massa específica de silagens de milho por método indireto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 9, p. 1622-1625, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v41n9/a9311cr3761.pdf>>. Acesso em: 23 fev. 2012.

SUN, Y. et al. An improved penetrometer technique for determining bale density. **Biosystems Engineering**, London, v. 105, n. 2, p. 273-277, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511009002888>>. Acesso em: 26 ago. 2010.

VELHO, J. P. et al. Composição bromatológica de silagens de milho produzidas com diferentes densidades de compactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1532-1538, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v36n5s0/a11v3650.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2012.

VISSERS, M. M. M. et al. Concentrations of butyric acid bacteria spores in silage and relationships with aerobic deterioration. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 90, n. 2, p. 928-936, 2007. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17235169>>. Acesso em: 23 maio 2012.

IV – Determinação da massa específica de silagens de milho e sua influência sobre o valor nutricional da forragem

Determination of the corn silage density and its effect on the forage nutritional value

RESUMO

Objetivou-se com este estudo a avaliação da massa específica (ME) de silagens de milho, em condições de fazenda, estabelecendo correlações entre a ME e características físicas e químicas da silagem, adotando a hipótese de que maior ME em silagens pode expressar melhor qualidade nutricional, pelo melhor padrão de fermentação. As medidas de ME foram feitas em 20 silos com silagem de milho em propriedades rurais leiteiras na região dos Campos Gerais (PR). Para as amostragens no painel dos silos utilizou-se um cilindro metálico com 10 cm de diâmetro x 20 cm de comprimento, com borda cortante serrilhada acoplado à uma motosserra. Constatou-se que houve relações negativas entre teores de MS e MEMV, FDA e FDN, comprovando que quanto mais alto o teor de MS, menor é o teor de fibra na silagem, explicando também materiais mais úmidos com maior facilidade de compactação. Porém, a ME com base na MV apresenta relação positiva com os teores de FDA, FDN, DIVMS e DIVFDN, indicando melhor qualidade da silagem diante da maior densidade de compactação. O mesmo comportamento ocorreu com MEMS, exceto para MS, FDA e FDN, deduzindo que quanto menores os teores da fração fibrosa da planta ensilada, melhores densidades de compactação são alcançadas. Quanto aos teores de FDA e FDN em relação à DIVMS e DIVFDN estes apresentaram relações negativas entre si, indicando mais uma vez que a menor participação fibrosa na planta indica melhor qualidade nutricional e melhor aproveitamento dos nutrientes pelo animal ruminante. Pode-se concluir que os maiores valores alcançados para ME tanto com base na MS quanto na MV expressam melhores condições de fermentação refletindo em melhor valor nutricional.

Palavras-chave: compactação, massa específica, qualidade de silagem, silagem de milho.

ABSTRACT

The objective of this study was evaluate corn silage density in farm conditions, establishing correlations between density and physical and chemical characteristics of silage, adopting the hypothesis that higher density silages (SD) can express in better quality nutrition due to better fermentation pattern. Density measures were made in 20 silos with corn silage on dairy farms in Campos Gerais (PR). For sampling panel of silos was used a metal cylinder, 10 cm diameter x 20 cm long with serrated cutting edge attached to a chainsaw. It was found that there were negative relationships between DM and SDNM, ADF and NDF, proving that as higher is DM content, it is lower the fiber content in silage, explaining also the wettest materials with more easily compaction. However, the SDNM has a relation with the levels of ADF, NDF, IVDMD and IVNDFD, indicating better quality silage face of higher packing density. The same behavior occurred with SDDM, except for DM, ADF and NDF, deducing that with the lower levels of the fiber plant silage, better packing densities are achieved. As for the ADF and NDF in relation to IVDMD and IVNDFD there was a a negative relationships with each other, indicating once again that the lowest participation of fibrous plant indicates better nutritional value and better utilization of nutrients by ruminant animal. It can be concluded that the highest values achieved for SD based both on DM as in the NM express better fermentation conditions reflecting better nutritional value.

Key words: compression, corn silages, density, silage quality.

INTRODUÇÃO

Um grande desafio para a produção de silagem de qualidade ocorre nas fases de ensilagem, armazenagem e descarga do silo. Nessas fases, ocorrem atividades de microrganismos que afetam o padrão de fermentação da forragem ensilada e em consequência a sua qualidade. Diante disso, é de grande importância o emprego de práticas de manejo, tais como teor de umidade na colheita, duração do período da colheita, exposição do material ao oxigênio e alta compactação, visando reduzir as perdas de qualidade da forragem ensilada. Dentre esses, um dos fatores de maior importância que influencia a qualidade da silagem é a massa específica (ME) da massa ensilada (CRAIG & ROTH, 2005), a qual, dentre vários fatores, é determinada em parte pelo tamanho médio de corte da planta forrageira.

Silagens produzidas com baixa ME apresentam maior teor de ar residual na massa, acarretando maior período de respiração (liberação de CO₂ e perda de MS), maior consumo de carboidratos solúveis, redução na velocidade de produção de ácidos orgânicos e maior valor final de pH da silagem (McDONALD et al., 1991). Ainda, baixos valores de ME determinam maior porosidade e infiltração de ar no painel do silo, menor estabilidade aeróbia e maiores perdas no período de utilização (JOBIM et al., 2007).

Quanto maior a porosidade da massa, mais facilmente o ar poderá penetrar no interior do silo, proporcionando condições favoráveis à atuação de microrganismos espoliadores, com consequente redução na qualidade da silagem. Assim, a redução da porosidade é de fundamental importância para conter a deterioração aeróbia da silagem (BERNARDES et al., 2009).

A deterioração aeróbia das silagens, além de reduzir o valor nutritivo, pode aumentar o risco de proliferação de microrganismos potencialmente patogênicos ou daqueles indesejáveis, afetando de forma significativa o desempenho dos animais alimentados com estas silagens (BARBOSA et al., 2011).

Portanto, a maior compactação proporciona maior ME, permitindo melhor conservação dos açúcares solúveis, menor alteração dos carboidratos estruturais e menor proteólise na silagem, aspectos que favorecem a aceitabilidade e o consumo da silagem (VELHO et al., 2007).

Objetivou-se com este estudo a determinação da ME de silagens de milho, em condições de fazenda, estabelecendo correlações entre a ME e características físicas e

químicas da silagem, adotando a hipótese de que maior ME em silagens pode expressar melhor qualidade nutricional, pelo melhor padrão de fermentação.

MATERIAL E MÉTODOS

As medidas de ME com uso do método direto foram feitas em 20 silos com silagem de milho em propriedades rurais leiteiras na região dos Campos Gerais, no Paraná, especificamente nos municípios de Castro, Carambeí, Arapoti, Piraí do Sul e Ponta Grossa, durante o final do primeiro e início do segundo semestre de 2011.

Para tanto, foi utilizada como base a metodologia descrita por HOLMES & MUCK (1999) e D'AMOURS & SAVOIE (2005). Para determinação da ME, por meio de amostragens no painel dos silos utilizou-se de um cilindro metálico com 10 cm de diâmetro x 20 cm de comprimento, com borda cortante serrilhada acoplado à uma motosserra (Figura 1), como em estudo de CRAIG & ROTH (2005).



Figura 1 – Processo de amostragem com utilização do cilindro metálico acoplado à uma motosserra.

A introdução do cilindro no painel da massa ensilada se deu por meio da rotação exercida pela motosserra. A profundidade utilizada para o cálculo do volume de amostra retirada foi medida com uma régua no orifício deixado após a retirada do cilindro do painel do silo. Assim, considerando o volume do cilindro e o peso da massa de silagem retirada determinou-se a ME para cada silo avaliado.

As retiradas de massa ensilada com cilindro foram feitas em cinco pontos (tidos como repetições) no painel dos silos, sendo três locais na parte superior e dois locais na parte inferior, como uma orientação em forma de “W”.

Antes do procedimento de amostragem, uma fatia da silagem no painel de cada silo era removida com intuito de retirar a silagem solta durante a operação de descarga, para então iniciar a amostragem na parte intacta.

Na Tabela 1 são apresentados os híbridos utilizados em cada um dos silos de fazenda.

Tabela 1 – Híbridos utilizados para silagem nos silos amostrados.

| Silo | Híbrido | Silo | Híbrido |
|-------------|----------------|-------------|----------------|
| 1 | DKB 330 | 11 | P 32R22H |
| 2 | P 32R22H | 12 | P 32R22H |
| 3 | P 30F53H | 13 | P 30F36 |
| 4 | DKB 240YG | 14 | P 30R50 |
| 5 | P 30F53 | 15 | P 32R22 |
| 6 | P 30R50H | 16 | DKB 245 |
| 7 | P 32R22H | 17 | P 30R50 |
| 8 | DOW 2A120 | 18 | AG 8025 |
| 9 | DOW 2A106 | 19 | P 30F36 |
| 10 | P 32R22 | 20 | P 32R22 |

Com as amostras retiradas com o cilindro metálico, foram determinadas variáveis para caracterização química e física das silagens. O tamanho médio de partículas (TMP) foi determinado com o uso do separador de partículas Penn State (HEINRICHS, 1996) em amostra composta das cinco repetições retiradas do painel do silo. As leituras de pH foram feitas com potenciômetro digital de acordo com CHERNEY & CHERNEY (2003). A medida da condutividade elétrica (CE) foi realizada pelo método eletrométrico, utilizando-se condutivímetro digital, proposto por KRAUS et al. (1997), descrito na revisão feita por JOBIM et al. (2007).

Para determinação das análises químicas das silagens, as amostras retiradas com o cilindro metálico foram mantidas congeladas a -10°C e o preparo delas para análises foi realizado por meio de secagem em estufa de ventilação forçada (55°C por 72h), processamento em moinho tipo Willey com peneira de 1 mm de crivo. As análises da composição químico-bromatológica foram realizadas no LANA (Laboratório de Análises de Alimentos e Nutrição Animal) da Universidade Estadual de Maringá, no Departamento de Zootecnia.

A determinação dos teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) e matéria mineral (MM) foram feitas segundo metodologia descrita por SILVA & QUEIROZ (2002). As determinações dos teores de amido foram realizadas segundo PEREIRA & ROSSI

(1995). A fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), celulose, hemicelulose e lignina (método do permanganato) foram feitas segundo metodologia descrita por VAN SOEST et al. (1991).

Na determinação dos carboidratos totais (CT), utilizou-se a equação $CT = 100 - (\%PB + \%EE + \%MM)$, o teor de carboidratos não-fibrosos (CNF) foi estimado pela diferença entre o teor de CT e o teor de FDN ($CNF = CT - FDN$) de acordo com o proposto por HALL (1997).

Para a determinação da digestibilidade “in vitro” da matéria seca (DIVMS) e da fibra em detergente neutro (DIVFDN) foi utilizado o método de TILLEY & TERRY (1963) adaptado ao fermentador artificial Daisy II (ANKOM® - Technology Corporation), conforme descrito em SANTOS et al. (2000).

A estimativa de nutrientes digestíveis totais (NDT) foi realizada por meio da equação $NDT = 87,84 - (0,70 \times FDA\%)$, segundo UNDERSANDER et al. (1993).

O delineamento experimental utilizado para as composições químicas foi o inteiramente casualizado, com 20 tratamentos (silos) e cinco repetições. As análises estatísticas foram realizadas segundo o modelo matemático: $Y_{ijk} = \mu + a_i + b_j + ab_{ij} + e_{ijk}$, em que: Y_{ijk} = variável resposta; μ = média geral; a_i = efeito dos diferentes silos; b_j = efeito ME sobre qualidades químicas e físicas; ab_{ij} = interação silos e ME; e_{ijk} = erro experimental.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises químicas das silagens amostradas em 20 silos são apresentados nas Tabelas 2 e 3. Percebe-se que o teor de MS variou de 29,06% a 45,71%, com média de 35,88%, sendo que esses valores estão de acordo com o pré-estabelecido para silagens de milho (OLIVEIRA et al., 2011). Teores de MS abaixo de 30% normalmente estão relacionados com menor produção de MS, perdas por lixiviação, baixa qualidade da silagem, resultando em elevação no custo de produção da silagem.

Por outro lado, quando se colhe tardiamente, o milho acumula maiores teores e rendimento de MS por hectare e melhor proporção de grãos na cultura. Entretanto, nessa situação pode não produzir boa silagem, porque há maiores perdas de material (principalmente de folhas) durante o corte e o transporte. Também a fermentação é prejudicada pela maior presença de ar na massa de forragem, como consequência da

baixa massa específica. Em determinadas situações quando o material é ensilado com alto teor de MS pode ocorrer redução na digestibilidade da silagem em virtude do aumento da fração fibrosa na estrutura da planta e da dificuldade para o processamento e consequente aproveitamento dos grãos (NEUMANN et al., 2011).

Tabela 2 – Teores de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), extrato etéreo (EE), proteína bruta (PB), amido (AMD) e nutrientes digestíveis totais (NDT) em silagens de milho (base na MS).

| Silo | MS (%) | MM (%) | EE (%) | PB (%) | AMD (%) | NDT (%) |
|----------------------|--------------------|-------------------|----------|---------|--------------|-------------------|
| 1 | 33,37efgh | 3,63ab | 3,26abc | 8,48a | 29,14fg | 71,42abcde |
| 2 | 40,56bc | 2,8cde | 2,72bcd | 6,36de | 36,26ab | 72,21abcde |
| 3 | 32,32fghi | 3,62ab | 3,27abc | 6,49de | 30,62cdefg | 69,9e |
| 4 | 31,4hi | 3,5abc | 3,25abc | 7,61abc | 31bcdefg | 71,38abcde |
| 5 | 32,86fgh | 3,75 ^a | 3,31abc | 6,84cde | 31bcdefg | 72,21abcde |
| 6 | 34,05efgh | 3,74 ^a | 3,66a | 7,74abc | 27,86g | 71,27abcde |
| 7 | 43,54ab | 2,63de | 2,72bcd | 7,16bcd | 36abc | 72,73abc |
| 8 | 32,07ghi | 2,87cde | 3,37ab | 7,2bcd | 30,16defg | 70,13de |
| 9 | 29,06i | 3,66ab | 3,22abc | 7,56abc | 28,32g | 70,62cde |
| 10 | 32,15ghi | 2,8cde | 3,01abcd | 7,57abc | 32,06abcdefg | 72,45abcd |
| 11 | 30,6hi | 2,98bcde | 2,8bcd | 8ab | 29,9efg | 70,31de |
| 12 | 38,36cd | 2,73de | 2,65cd | 7,75abc | 32,54abcdefg | 71bcde |
| 13 | 33,08fgh | 2,88cde | 2,8bcd | 5,9e | 32,45abcdefg | 71,88abcde |
| 14 | 35,82def | 3,34abcd | 3,33ab | 6,51de | 30,1defg | 70,46cde |
| 15 | 32,71fgh | 2,57e | 2,72bcd | 7,14bcd | 35,4abcde | 73,22ab |
| 16 | 45,71 ^a | 2,85cde | 2,84bcd | 7cd | 35,4abcd | 71,76abcde |
| 17 | 45,35 ^a | 2,87cde | 3,11abcd | 7,27bcd | 36,11abc | 73,6 ^a |
| 18 | 42,75ab | 2,8cde | 2,47d | 7,15bcd | 37,3a | 72,42abcd |
| 19 | 36,76de | 2,61e | 2,8bcd | 6,52de | 34abcdef | 71,12bcde |
| 20 | 35,07defg | 2,76de | 2,51d | 7bcd | 33,08abcdefg | 71,5abcde |
| Média | 35,88 | 3,06 | 2,99 | 7,16 | 32,43 | 71,58 |
| CV (%) | 4,33 | 10,09 | 9,26 | 5,84 | 7,31 | 1,40 |
| R² | 0,93 | 0,71 | 0,62 | 0,73 | 0,66 | 0,57 |
| DP (%) | 5,18 | 0,50 | 0,40 | 0,71 | 3,56 | 1,35 |

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. CV = coeficiente de variação; R² = coeficiente de determinação; DP = desvio-padrão.

Os valores médios de MM de 3,06% encontrados neste estudo estão abaixo dos encontrados por outros autores (POSSENTI et al., 2005; LALLO et al., 2003), indicando que o alto teor de MO pode ser atribuído ao alto conteúdo de grãos nas silagens, pois de acordo com ASHBELL (1995), o alto teor de cinza é indicativo de perdas, pois, quando há fermentação inadequada, ocorrem perdas de material orgânico, aumentando a participação relativa da cinza na MS.

O teor médio de EE observado foi de 2,99%, estando de acordo com os valores encontrados por Oliveira et al (2011) que são em média de 2,67% em silagens de milho, assim sendo, os valores encontrados neste estudo também indicam quantidade adequada de grãos na massa ensilada. O teor de EE nas silagens variou de 2,51 a 3,66%, com DP de 0,40, indicando que a presença de grãos na massa ensilada mostrou pouca variabilidade.

Os valores de PB também estão coerentes com outros autores (OLIVEIRA et al. (2011; POZZA et al., 2011), que encontraram valores de 7 a 8% de PB. Porém em alguns silos foram encontrados valores abaixo deste indicativo, resultando na média de 7,16%. Elevados teores de PB podem ser um ponto positivo para silagens de milho, podendo promover maior economia na utilização de fontes proteicas na formulação de dietas.

Os valores encontrados para o teor de amido são superiores aos encontrados por OLIVEIRA et al. (2011), que relataram média de 19% para esta variável, e também por VELHO et al. (2007), que encontraram valores de 12,80% em silagem de milho colhido com 30,83% de MS. O alto teor de amido nas silagens, com média de 32,43%, indica boa qualidade dos híbridos utilizados para confecção das silagens, provavelmente com alta quantidade de grãos.

Em todas as silagens avaliadas, os valores de NDT foram superiores aos referidos por NUSSIO et al. (2001) de 68% no ponto ideal de colheita (farináceo-duro), indicando a boa qualidade e grande participação de grãos nas silagens estudadas. Os altos teores de NDT encontrados neste estudo (média de 71,58%) podem também representar economia no momento da formulação de dietas para os ruminantes, por representar alta qualidade energética.

Os teores médio de CHOT, encontrados neste estudo (86,80%), estão de acordo com os encontrados por SANTOS et al. (2010) de 84%, e o teor médio de CNF (44,77%) está acima dos 30% encontrados por estes autores que trabalharam com silagens de milho (média de 30% de MS), avaliando qualidade nutricional de diferentes híbridos. Os altos valores encontrados para estas variáveis explicam em parte o alto valor energético das silagens estudadas.

Os valores de DIVMS encontrados variaram de 70,31% a 78,5%, estando estas variáveis de acordo com OLIVEIRA et al. (2011) que encontraram valores de 73,55% na DIVMS em silagens de milho, e superiores aos 55,6% encontrados por SENGER et al. (2005) em silagens de milho com média de 28% de MS, comprovando a alta

qualidade nutricional das silagens estudadas, pois quanto maior a digestibilidade, maior é o aproveitamento dos nutrientes pelo animal.

Quanto aos valores encontrados para DIVFDN, estes variaram de 34,84% a 47,53%, estando estes valores encontrados semelhantes aos encontrados por OLIVEIRA et al. (2011), os quais observaram valores de 45,74% para DIVFDN em silagem de milho, ressaltando a boa qualidade nutricional das silagens estudadas neste trabalho. Contudo, os teores de DIVFDN não mostraram diferença ($P < 0,05$) entre as silagens, evidenciando a pouca variabilidade dos híbridos de milho para esta característica.

Tabela 3 – Teores de carboidratos totais (CHOT), carboidratos não-fibrosos (CNF), digestibilidade “in vitro” da MS (DIVMS) e digestibilidade “in vitro” da FDN (DIVFDN) dos silos de fazenda (dados em base da MS).

| Silo | CHOT (%) | CNF (%) | DIVMS (%) | DIVFDN (%) |
|----------------------|--------------------|--------------------|-----------|--------------------|
| 1 | 84,61e | 42,85abcd | 73,37abc | 39,73 ^a |
| 2 | 88,11ab | 48,2 ^a | 75abc | 38,61 ^a |
| 3 | 87,18abcd | 42,54abcd | 75,2abc | 39,02 ^a |
| 4 | 85,64de | 44,47abcd | 78,5a | 38,61 ^a |
| 5 | 86,1cde | 44,4abcd | 75,27abc | 38,97 ^a |
| 6 | 84,85e | 41,53cd | 73,4abc | 45,76 ^a |
| 7 | 87,48abc | 48,16 ^a | 74,78abc | 47,23 ^a |
| 8 | 86,56bcd | 43,18abcd | 74,44abc | 42,24 ^a |
| 9 | 85,55de | 42bcd | 75,05abc | 38,05 ^a |
| 10 | 86,61bcd | 46,24abcd | 75,06abc | 37,52 ^a |
| 11 | 86,28cde | 41,48d | 72,7abc | 41,76 ^a |
| 12 | 86,86abcd | 41,33d | 70,48bc | 39,65 ^a |
| 13 | 88,42 ^a | 44,69abcd | 76abc | 36,77 ^a |
| 14 | 86,81abcd | 42,48abcd | 70,9bc | 39,61 ^a |
| 15 | 87,55abc | 48,31a | 75,86abc | 47,53 ^a |
| 16 | 87,36abc | 47,58abc | 75,77abc | 37,86 ^a |
| 17 | 86,74abcd | 48ab | 76,27ab | 42,80 ^a |
| 18 | 87,57abc | 47,14abcd | 70,31c | 36,40 ^a |
| 19 | 88,06ab | 45,2abcd | 70,72bc | 38,06 ^a |
| 20 | 87,74abc | 45,63abcd | 73,93abc | 34,84 ^a |
| Média | 86,80 | 44,77 | 74,15 | 40,17 |
| CV (%) | 0,84 | 5,84 | 3,40 | 6,67 |
| R² | 0,72 | 0,55 | 0,49 | 0,45 |
| DP (%) | 1,22 | 3,42 | 3,09 | 5,81 |

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. CV = coeficiente de variação; R² = coeficiente de determinação; DP = desvio-padrão.

Os valores encontrados neste estudo para FDN, média de 42,04% (Tabela 4), estão abaixo dos encontrados por SANTOS et al. (2010) e OLIVEIRA et al. (2011), de 47,6% e 48%, respectivamente. Também os valores de FDA (média 23,19%) são inferiores aos encontrados pelos mesmos autores, em que SANTOS et al. (2010) encontraram média de 28,5% e OLIVEIRA et al. (2011) encontraram 25% para a

variável FDA. Os valores considerados baixos dos teores de FDN e FDA, encontrados neste estudo, podem ser explicados pelo maior percentual de CHOT, CNF e amido, pela boa presença de grãos nas silagens, refletindo em maiores teores de NDT, que é um importante fator, uma vez que a energia e proteína são frequentemente os fatores mais limitantes para ruminantes.

Tabela 4 – Teores das frações dos componentes da parede celular de silagens de milho (dados com base na MS).

| Silo | FDN (%) | FDA (%) | CEL (%) | HEMI (%) | LIG (%) | NIDA (%) |
|----------------------|--------------------|--------------------|----------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 41,76abc | 23,45abcde | 21,43abc | 18,31ab | 3,41abcde | 4,73cd |
| 2 | 40abc | 22,32bcde | 19,57abcd | 17,6ab | 2,83cde | 4,27cd |
| 3 | 44,64ab | 25,63 ^a | 22,41a | 19,01ab | 3,42abcde | 4,82bcd |
| 4 | 41,16abc | 23,51abcd | 21,12abc | 17,65ab | 2,6e | 5,11bcd |
| 5 | 41,7abc | 22,32bcde | 20,2abcd | 19,36ab | 3,41abcde | 4,33cd |
| 6 | 43,32abc | 23,66abcd | 20,62abcd | 19,65ab | 3,9abc | 4,8bcd |
| 7 | 39,32bc | 21,57cde | 18,7abcd | 17,74ab | 3,24abcde | 4,62cd |
| 8 | 43,37abc | 24,9ab | 21,93abc | 18,08ab | 3,45abcde | 5,2bc |
| 9 | 43,61abc | 24,2abc | 21,71abc | 19,02ab | 3,08bcde | 5,1bcd |
| 10 | 40,37abc | 22bcde | 19,6abcd | 18,4ab | 3,26abcde | 3,88d |
| 11 | 44,8ab | 25,03ab | 22,25ab | 19,76ab | 4,36 ^a | 5,21bc |
| 12 | 45,52 ^a | 24,2abc | 20,26abcd | 21,33 ^a | 3,81abcd | 6,05ab |
| 13 | 43,73abc | 22,8abcde | 19,76abcd | 20,93 ^a | 3,4abcde | 4,85bcd |
| 14 | 44,32abc | 24,82ab | 21,24abc | 19,5ab | 3,46abcde | 5,12bcd |
| 15 | 39,24bc | 20,87de | 18,24bcd | 18,36ab | 2,77cde | 4,47cd |
| 16 | 39,78abc | 23abcde | 18,63abcd | 16,81b | 3,32abcde | 5,37bc |
| 17 | 38,81c | 20,34e | 17d | 18,47ab | 2,66de | 5bcd |
| 18 | 40,43abc | 22,02bcde | 16,85d | 18,4ab | 4,25ab | 6,71 ^a |
| 19 | 42,86abc | 23,88abcd | 18,15cd | 19ab | 3,62abcde | 5,02bcd |
| 20 | 42,11abc | 23,35abcde | 20,2abcd | 18,75ab | 3,27abcde | 5,26bc |
| Média | 42,04 | 23,19 | 19,99 | 18,80 | 3,37 | 4,99 |
| CV (%) | 5,90 | 5,82 | 8,64 | 8,55 | 15,41 | 11,28 |
| R² | 0,48 | 0,59 | 0,53 | 0,38 | 0,51 | 0,60 |
| DP (%) | 3,03 | 1,85 | 2,23 | 1,80 | 0,65 | 0,78 |

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. FDN = fibra em detergente neutro; FDA = fibra em detergente ácido; CEL = celulose; HEMI = hemicelulose; LIG = lignina; NIDA = nitrogênio insolúvel em detergente ácido. CV = coeficiente de variação; R² = coeficiente de determinação; DP = desvio-padrão.

Assim, os baixos valores para FDN apresentados neste estudo indicam alta qualidade nutricional das silagens estudadas, pois segundo SENGHER et al. (2005), o teor de FDN de uma planta forrageira consolidou-se como o componente bromatológico melhor relacionado com o seu potencial de ingestão pelo ruminante.

Os teores de FDN e de FDA são indicativos da quantidade de fibra da forragem, estando a FDN relacionada à quantidade de fibra que há no volumoso, enquanto a FDA à quantidade de fibra menos digestível. Desse modo, quanto menor os teores destes

componentes, melhor será a qualidade da silagem produzida e maior será o consumo de MS (SANTOS et al., 2010).

Segundo SENGER et al. (2005), silagens com maior teor MS e bem compactadas, preservam maior quantidade de açúcares que podem ser usados como fonte de energia pelos microrganismos ruminais. Além disso, silagens com maior teor de MS apresentam menor relação FDN/CNF e são mais digestíveis.

Os teores médios de celulose encontrados neste estudo (19,99%) são menores que aqueles observados por POSSENTI et al. (2005) e VIANA et al. (2012), em torno de 28%. Quanto aos valores encontrados para hemicelulose, média de 18,80% encontrados neste estudo, foram menores do que os encontrados por SENGER et al. (2005), os quais encontraram para esta variável média de 23,60% em silagem de milho com 28% de MS e menores também que os encontrados por VIANA et al. (2012) de 25,6%. E os valores médios de lignina observados (3,37%) estão de acordo com os encontrados por POSSENTI et al. (2005) e VIANA et al. (2012), em torno de 3,7%. O exposto representa a menor participação de componentes da parede celular, refletida pelos baixos teores de FDN e FDA e maiores valores de amido, CHOT e CNF.

Os teores de NIDA (média de 4,99%) estão muito abaixo dos encontrados por VELHO et al. (2007), que encontraram média de 13,49% para esta variável. Considerando que, segundo VELHO et al. (2007), o aumento dos teores de NIDA contribui para incrementar a porção indigestível do nitrogênio, esta porção indigestível está abaixo da média nas silagens estudadas, o que aponta para o melhor valor nutricional destas.

Os valores de MEMV (Tabela 5) variaram de 557,78 kg.m⁻³ a 869,93 kg.m⁻³. Enquanto os valores de MEMS variaram de 189,27 kg.m⁻³ a 298,51 kg.m⁻³. Segundo JOBIM et al (2007), mesmo não havendo um valor considerado ideal para avaliação em um silo, recomenda-se ME entre 550 e 850 kg de MV.m⁻³, sendo esse alto valor obtido apenas em condições bastante favoráveis. Já HOLMES & MUCK (1999) citaram o limite mínimo de 225 kg MS.m⁻³ para que a densidade não seja fator de restrição na obtenção de silagem de qualidade satisfatória.

Tabela 5 – Avaliações físicas de massa específica com base na matéria verde (MEMV), massa específica com base na matéria seca (MEMS), pH e condutividade elétrica (CE).

| Silo | MEMV (Kg MV.m ⁻³) | MEMS (Kg MS.m ⁻³) | pH | CE (µS/cm) |
|----------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------|---------------|
| 1 | 708,52bcd | 236,81bcd | 4,04bc | 815,57a |
| 2 | 699,44bcd | 283,97ab | 4,04bc | 657,31bc |
| 3 | 732,71abc | 236,38bcd | 4bcdef | 507,4ghi |
| 4 | 726,7abc | 228,57bcd | 4,02bcdef | 543,63efgh |
| 5 | 665,19bcd | 217,53cd | 4bcdef | 593,33cdef |
| 6 | 656,74bcd | 223,08cd | 4,1ab | 588,71cdefg |
| 7 | 685,29bcd | 298,51 ^a | 4,21 ^a | 572,38defg |
| 8 | 763,8ab | 244,75abcd | 4bcdef | 472,8hi |
| 9 | 766,75ab | 222,79cd | 3,92defg | 483,21hi |
| 10 | 769,34ab | 246,38abc | 3,95cdefg | 621,36cde |
| 11 | 869,93 ^a | 266,28abc | 3,9fg | 554,22defgh |
| 12 | 648,95bcd | 247,5abc | 4,07bc | 668,4bc |
| 13 | 675,62bcd | 223,32cd | 3,86g | 456,27i |
| 14 | 557,78d | 189,27d | 4,03bcd | 621,46cde |
| 15 | 717,6abc | 234,38bcd | 3,92defg | 536,52fghi |
| 16 | 592,52cd | 271,36abc | 4,05bc | 628,16cd |
| 17 | 620,83bcd | 280,62ab | 4,07b | 728b |
| 18 | 608,32cd | 259,91abc | 4,02bcde | 730,84b |
| 19 | 593,93cd | 218,37cd | 4,05bc | 453,82i |
| 20 | 671,03bcd | 235,16bcd | 3,91efg | 587,42cdefg |
| Média | 686,54 | 243,24 | 4,00 | 591,04 |
| CV | 9,74 | 9,82 | 1,25 | 6,03 |
| R ² | 0,63 | 0,63 | 0,77 | 0,90 |
| DP | 96,56 | 34,9 | 0,09 | 100,89 |

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. CV = coeficiente de variação; R² = coeficiente de determinação; DP = desvio-padrão.

Sendo assim, as silagens estudadas apresentaram adequada compactação, o que proporciona melhores condições de fermentação, pois de acordo com VELHO et al. (2007), a ME e o teor de MS têm relação direta com a porosidade no silo, a qual estabelece a taxa de aeração da silagem e, posteriormente, o grau de deterioração na armazenagem e na utilização. Portanto, a maior compactação proporciona maior ME, permitindo melhor conservação dos açúcares solúveis, menor alteração dos carboidratos estruturais e menor proteólise na silagem, aspectos que favorecem a aceitabilidade e o consumo animal.

Os valores obtidos para pH (Tabela 5) estão dentro da faixa considerada ideal para promover uma eficiente conservação da massa ensilada, a qual, segundo McDONALD et al. (1991), é de 3,6 a 4,2. O pH está entre os parâmetros que determinam a qualidade da fermentação, associado ao teor de matéria seca (SANTOS et al., 2010). Ainda de acordo com estes autores, os valores de pH estão relacionados às concentrações de carboidratos solúveis na forragem a ser ensilada, pois estes contribuem para a produção

de ácidos orgânicos, principalmente ácido láctico, que são importantes para obtenção de boa silagem. A acidez atua diminuindo a atividade proteolítica ocasionada por enzimas da própria planta e, ainda, controla ou inibe o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis e também da própria atividade das bactérias produtoras de ácido láctico.

Em estudo de SENGER et al. (2005), o pH foi significativamente influenciado pela compactação em silagens com teores de MS entre 20 e 26%, sendo que os valores de pH foram mais elevados nos materiais mal compactados. Assim sendo, pode-se inferir que os baixos valores de pH obtidos nas silagens estudadas são resultado dos teores de MS, de CHOT e de CNF no momento da colheita e dos altos valores alcançados para ME.

Os valores para condutividade elétrica (CE) encontrados neste estudo (Tabela 5) são inferiores aos encontrados por CASTRO et al. (2006), os quais encontraram média de 964,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para silagem de capim tifton-85 emurhecido.

Segundo JOBIM et al. (2007), a medida da condutividade elétrica em silagens tem sido realizada com certa frequência em estudos no Brasil. Condutividade elétrica é definida como a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Este parâmetro está relacionado à presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente. Assim, quanto maior a quantidade de íons dissolvidos, maior será a CE. Em silagens, a CE não expressa especificamente quais os íons que estão presentes em determinada amostra, mas pode contribuir para a mensuração das perdas de conteúdo intracelular oriundos do processamento na ensilagem. Porém, ainda de acordo com JOBIM et al. (2007), os efeitos dos produtos da fermentação sobre a CE ainda não estão devidamente esclarecidos e os valores encontrados para CE neste estudo podem inferir sobre adequados tamanhos de partícula alcançados no processo de ensilagem.

Na Tabela 6 são apresentados os tamanhos médios de partículas observados nas silagens estudadas. AMARAL et al. (2007) relatam que a mensuração do tamanho de partícula da forragem a ser ensilada é importante, pois constitui fator que influencia diretamente na compactação durante a ensilagem e, conseqüentemente, no processo fermentativo.

Tabela 6 – Distribuição e tamanho médio de partículas (TMP) de silagens de milho observados em silos de fazenda.

| Silo | P1 (%) 19 mm | P2 (%) 8 mm | P3 (%) Fundo | TMP (mm) |
|--------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|
| 1 | 4,6 | 72,9 | 21,7 | 9,6 |
| 2 | 14,1 | 58,6 | 25,2 | 9,7 |
| 3 | 13,9 | 67,9 | 17,5 | 11,1 |
| 4 | 5,3 | 72,6 | 21,3 | 9,8 |
| 5 | 7,6 | 72,3 | 19,3 | 10,2 |
| 6 | 7,0 | 71,1 | 21,3 | 9,9 |
| 7 | 6,6 | 65,8 | 25,1 | 9,0 |
| 8 | 12,7 | 71,9 | 14,5 | 11,3 |
| 9 | 9,9 | 77,0 | 13,0 | 11,4 |
| 10 | 4,2 | 50,9 | 44,1 | 7,3 |
| 11 | 1,9 | 64,5 | 32,7 | 8,2 |
| 12 | 5,3 | 58,4 | 34,0 | 8,0 |
| 13 | 5,8 | 59,7 | 33,5 | 8,4 |
| 14 | 5,9 | 73,4 | 19,7 | 9,9 |
| 15 | 19,6 | 64,9 | 14,8 | 12,0 |
| 16 | 10,2 | 66,7 | 21,0 | 9,9 |
| 17 | 5,8 | 63,3 | 27,9 | 8,5 |
| 18 | 4,7 | 57,1 | 34,0 | 7,6 |
| 19 | 8,1 | 62,2 | 28,3 | 9,0 |
| 20 | 10,4 | 56,8 | 31,3 | 8,9 |
| Média | 8,18 | 65,4 | 25,01 | 9,48 |

P1 = % de partículas retidas na peneira 1; P2 = % de partículas retidas da peneira 2; P3 = % de partículas retidas na peneira 3; TMP = tamanho médio de partículas.

NEUMANN et al. (2011) recomendam que a qualidade física da silagem de milho (tamanho de partícula) seja monitorada visando ajustes na regulagem da ensiladeira para que se obtenha, com base no peso “in natura”, de 3% a 8% das partículas retidas na peneira superior, sendo a porcentagem de partículas retidas na primeira peneira nos silos estudados estão na média de 8,18%. Ainda de acordo com os autores, o ideal é obter de 45% a 65% na peneira mediana, indicando que a média dos valores de 65,40% encontrados neste estudo estão muito próximos da faixa desejada; e os 25,01% de partículas observadas no fundo (última peneira), indicam proximidade à faixa ideal de 30% a 40% na peneira inferior.

Com isso, haverá melhor condição de compactação da massa ensilada, pela melhor acomodação das partículas no silo e conseqüente melhora do perfil de fermentação na conservação. E no caso do milho, recomenda-se picar a forragem de forma mais homogênea possível, visando tamanho médio de partículas entre 5 e 10 mm, inferindo-se o adequado processamento das silagens estudadas, onde se alcançou a média de TMP de 9,48 mm, o que é confirmado por altos valores de ME alcançados para adequadas fermentações.

Observou-se para este estudo (Tabela 7) que ocorreram correlações negativas entre os teores de MS e MEMV e entre teores de FDA e de FDN, comprovando que quanto mais alto o teor de MS, menores os teores destes nutrientes.

Tabela 7 – Correlações entre as variáveis MS, MEMV, MEMS, FDA, FDN e DIVMS observadas em silagens de milho.

| | MS | MEMV | MEMS | FDA | FDN | DIVMS |
|--------------|-----------|-------------|-------------|------------|------------|--------------|
| MS | 1,00 | -0,51 | 0,49 | -0,40 | -0,42 | -0,04 |
| MEMV | -0,51 | 1,00 | 0,46 | 0,04 | 0,005 | 0,23 |
| MEMS | 0,49 | 0,46 | 1,00 | -0,40 | -0,46 | 0,22 |
| FDA | -0,40 | 0,04 | -0,40 | 1,00 | 0,81 | -0,43 |
| FDN | -0,42 | 0,005 | -0,46 | 0,81 | 1,00 | -0,44 |
| DIVMS | -0,04 | 0,23 | 0,22 | -0,43 | -0,44 | 1,00 |

MS = matéria seca; MEMV = massa específica com base na matéria verde; MEMS = massa específica com base na matéria seca; FDA = fibra em detergente ácido; FDN = fibra em detergente neutro; DIVMS = digestibilidade “in vitro” da matéria seca.

No estudo de SENGER et al. (2005), os teores de FDN em silagens de milho diminuíram significativamente do nível mais alto de umidade em relação aos demais, o que ocorreu pelo aumento nos teores de amido, indicados pelos valores de CNF, o mesmo ocorreu com os valores de FDA, que diminuíram significativamente com o aumento da MS das silagens.

Os valores de MEMV tem relação negativa com teor de MS, o que explica o fato de materiais mais úmidos ter maior facilidade de compactação. Esta variável apresentou baixa correlação com variáveis como FDA, FDN e DIVMS, indicando que em princípio não houve efeito da compactação sobre estas variáveis. Já no trabalho de AMARAL et al. (2007) com capim Marandu, a DIVMS foi maior nas silagens com maior densidade, indicando, portanto, efeito significativo das pressões de compactação, em que possivelmente os maiores valores de ME obtidos foram ocasionados pela menor concentração de FDN e FDA nessas silagens.

A MEMS apresentou correlação negativa com os teores de FDN e de FDA, deduzindo que quanto menores os teores da fração fibrosa da planta ensilada, melhores densidades de compactação são alcançadas. Este fato é corroborado por AMARAL et al. (2007), que afirmam que houve efeito das pressões de compactação sobre o teor de FDN, em que os menores valores foram obtidos na maior pressão de compactação. As pressões de compactação tiveram efeito nos teores de FDA, que foram menores na maior pressão de compactação, possivelmente porque, na maior pressão de compactação, a atividade de enzimas que degradam a celulose ocasionou maior redução no teor de FDA.

Ainda de acordo com estes autores, a elevação da densidade da massa no silo propicia processo fermentativo favorável, por promover a redução no pH e aumentar a taxa de recuperação de MS da silagem. As silagens de maior densidade apresentam melhor conservação, representada por maiores coeficientes de DIVMS. VELHO et al. (2007) afirmam que pequenas diferenças de compactação ocasionam mudanças consideráveis na qualidade da silagem em parâmetros que podem interferir na aceitabilidade e no consumo animal.

A DIVMS apresentou correlações negativas com os teores de FDN e de FDA das silagens, indicando mais uma vez que a menor participação fibrosa na planta indica melhor qualidade nutricional e melhor aproveitamento dos nutrientes pelo animal ruminante.

CONCLUSÕES

Com o exposto, pode-se concluir que os maiores valores alcançados para massa específica nos silos expressam melhor qualidade nutricional pelos melhores padrões de fermentação atingidos.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, R. C. et al. Características fermentativas e químicas de silagens de capim-marandu produzidas com quatro pressões de compactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 532-539, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v36n3/a03v36n3.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2012.
- ASHBELL, G. **Basic principles of preservation of forage, by-products and residues as silage or hay**. Bet Dagan: Agricultural Research Organization. The Volcani Center, 1995. (n. 1664-E).
- BARBOSA, L.A. et al. Estabilidade aeróbia de silagens de milho e soja exclusivas ou associadas. **Ars Veterinaria**, Jaboticabal, v. 27, n. 4, p. 255-262, 2011. Disponível em: <<http://www.arsveterinaria.org.br/index.php/ars/article/viewFile/393/377>>. Acesso em: 14 abr. 2012.
- BERNARDES, T. et al. Sealing strategies to control the top losses in horizontal silos. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORAGE QUALITY AND CONSERVATION, 2004, Piracicaba. **Proceedings...** Piracicaba: Fealq, 2009. p. 209-224.

CASTRO, F. G. F. Perfil microbiológico, parâmetros físicos e estabilidade aeróbia de silagens de capim-tifton 85 (*Cynodon* sp.) confeccionadas com distintas concentrações de matéria seca e aplicação de aditivos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 358-371, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982006000200005>. Acesso em: 10 fev. 2011.

CHERNEY, J. H.; CHERNEY, D. J. R. Assessing silage quality. In: BUXTON, D.R. et al. **Silage science and technology**. Madison: [s.n.], 2003. p. 141-198.

CRAIG, P. H.; ROTH, G. **Penn State University bunker silo density study summary report 2004 – 2005**. Penn State: Department of Agriculture, and Pennsylvania Counties Cooperating, 2005. Disponível em: <http://cornandsoybeans.psu.edu/pdfs/bunker_silo_study.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2011.

D'AMOURS, L.; SAVOIE, P. Density profile of corn silage in bunker silos. **Canadian Biosystems Engineering**, Saskatoon, v. 47, p. 2.21-2.28, 2005.

HALL, M. B. Calculation of non- structural carbohydrate content of feeds that contain non-protein nitrogen. **Feedstuffs**, Minnetonka, v. 69, n. 37, p. 12-14, 1997.

HEINRICHS, J. Evaluating particle size of forages and TMRs using the Penn State particle size separator. **Dairy and Animal Science**, Pennsylvania, v. 20, p. 1-9, 1996.

HOLMES, B. J.; MUCK, R. E. **Factors affecting bunker silo densities**. Madison: University of Wisconsin, 1999. Disponível em: <<http://www.uwex.edu/ces/crops/uwforage/BunkDens3.PDF>> Acesso em: 20 ago. 2010.

JOBIM, C. C. et al. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, p. 101-119, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbz/v36s0/13.pdf> > Acesso em: 16 ago. 2010.

LALLO, F. H. et al. Níveis de substituição da silagem de milho pela silagem de resíduos industriais de abacaxi sobre a degradabilidade ruminal em bovinos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 719-726, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982003000300024>. Acesso em: 17 jun. 2012.

McDONALD, P.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. J. E. **The biochemistry of silage**. 2. ed. Marlow: Chalcombe Publication, 1991.

NEUMANN, M. et al. Comportamento ingestivo e de atividades de novilhos confinados com silagens de milho de diferentes tamanhos de partícula e alturas de colheita. **Ciência Animal Brasileira**, Goiania, v. 10, n. 2, p. 462-473, 2009. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/vet/article/view/2987>>. Acesso em: 14 set. 2011.

NEUMANN, M. et al. Aplicação de procedimentos técnicos na ensilagem do milho visando maior desempenho animal. In: IV SIMPÓSIO: PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 4., 2011, Maringá. **Anais...** Maringá: Sthampa, 2011. p. 95-130.

NUSSIO, L. G.; CAMPOS, F. P.; DIAS, F. N. Importância da qualidade da porção vegetativa no valor alimentício da silagem de milho. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 1., 2001, Maringá. **Anais...** Maringá: Sthampa, 2001. p. 127-145

OLIVEIRA, F. C. L. et al. Produtividade e valor nutricional da silagem de híbridos de milho em diferentes alturas de colheita. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, n. 4, p. 720-727, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v40n4/04.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2012.

OLIVEIRA, M. R. et al. Resposta econômica na terminação de novilhos confinados com silagens de milho (*Zea mays* L.), em diferentes estádios de maturação, associadas a dois níveis de concentrado na dieta. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 10, n. 2, p. 87-95, 2011. Disponível em: <http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0C CIQFjAA&url=http%3A%2F%2Frbms.cnpms.embrapa.br%2Findex.php%2Fojs%2Farticle%2Fdownload%2F93%2F447&ei=S9yUMikEIqY9QSepIDoDg&usg=AFQjCNHY7NQ_nYfanq_adXa15tHrULP1FQ>. Acesso em: 18 jan. 2012.

PEREIRA, J. R. A.; ROSSI JR., P. Manual prático de avaliação nutricional de alimentos. Piracicaba: Fealq, 1995.

POSSENTI, R. A. et al. Parâmetros bromatológicos e fermentativos das silagens de milho e girassol. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 1185-1189, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v35n5/a31v35n5.pdf>>. Acesso em: 02 ago. 2012.

POZZA, M. S. dos S. et al. Populações microbianas e composição química de silagem de milho. **Scientia Agraria Paranaensis**, Acrelandia, v. 10, n. 1, p. 91-99, 2011. Disponível em: <http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0C CIQFjAA&url=http%3A%2F%2Frevista.unioeste.br%2Findex.php%2Fscientiaagraria%2Farticle%2Fdownload%2F5287%2F3942&ei=ozByUNGdLY6E9QSFkIDwBQ&usg=AFQjCNFKg__coUIWL1C9gUy vjz8Pi6SyEg>. Acesso em: 19 out. 2011.

SANTOS, G. T. et al. Determinação da digestibilidade *in vitro* de gramíneas do gênero *Cynodon* com uso de diferentes metodologias. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 22, n. 3, p. 761-764, 2000. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAnimSci/article/view/3187/2240>>. Acesso em: 02 dez. 2011.

SANTOS, R. D. et al. Características de fermentação da silagem de seis variedades de milho indicadas para a região semiárida brasileira. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária, Belo Horizonte**, v. 62, n. 6, p. 1423-1429, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/abmvz/v62n6/v62n6a19.pdf>>. Acesso em: 28 mai. 2012.

SENGER, C. C. D. et al. Composição química e digestibilidade 'in vitro' de silagens de milho com distintos teores de umidade e níveis de compactação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1393-1399, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v35n6/a26v35n6.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2011.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análises de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2002.

UNDERSANDER, D. J. et al. Milk per acre spreadsheet for combining yield and quality into a single term. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 6, n. 2, p. 231-235, 1993. Disponível em: <<http://agris.fao.org/agris-search/search/display.do?f=1994%2FUS%2FUS94050.xml%3BUS9423553>>. Acesso em: 22 ago. 2011.

VAN SOEST, P. J. et al. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal Dairy Science**, Champaign, v. 74, n. 10, p. 3583-3597, 1991. Disponível em: <<http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS0022030291785512.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2011.

VELHO, J. P. et al. Composição bromatológica de silagens de milho produzidas com diferentes densidades de compactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1532-1538, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v36n5s0/a11v3650.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2012.

VIANA, P. T. et al. Fracionamento de carboidratos e de proteína das silagens de diferentes forrageiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 41, n. 2, p. 292-297, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-35982012000200009&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 12 nov. 2011.