Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

**Maturidade e tamanho de corte da forragem como estratégias de ensilagem de
híbridos de milho**

Jéssica Mariane Silveira

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de Concentração: Ciência
Animal e Pastagens

**Piracicaba
2019**

Jéssica Mariane Silveira
Zootecnista

Maturidade e tamanho de corte da forragem como estratégias de ensilagem de híbridos de milho

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **LUIZ GUSTAVO NUSSIO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de Concentração: Ciência
Animal e Pastagens

Piracicaba
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Silveira, Jéssica Mariane

Maturidade e tamanho de corte da forragem como estratégias de ensilagem de híbridos de milho / Jéssica Mariane Silveira. -- versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. -- Piracicaba, 2019.

67 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Silagem de milho 2. Colheita 3. Degradabilidade 4. Processamento I.
Título

Aos meus pais, Nelsiléia e João, e a minha irmã, Jeane, por todo amor, educação, carinho e apoio.

Ao Ramon pelo incentivo, apoio e amor.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), especialmente ao Departamento de Zootecnia – Setor de Ruminantes pela oportunidade de realizar o mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pela concessão da bolsa de estudos (Processo 2017/01179-5). À CAPES, pela bolsa de estudos. À CNPq, pelo apoio financeiro.

Ao professor Dr. Luiz Gustavo Nussio, pela orientação durante a minha formação. Obrigada pela oportunidade e confiança.

Ao Dr. Carlos Guilherme Silveira Pedreira e a Dra. Solidete de Fátima Paziani, que fizeram parte do meu comitê de orientação, e por suas contribuições ao meu projeto.

À banca examinadora da minha dissertação, por estar disponível para fazer parte do conselho, por suas valiosas sugestões e contribuições ao projeto.

Aos amigos e companheiros profissionais do grupo de Qualidade e Conservação de Forragens (QCF), Viviane (Vivi), Késia (Kesinha), Gustavo, Willian (Tchuthola), Pedro (Maurão), Bruno (Grelô), Dannylo, Gabriel (Boy), Larissa ((Fiu)2), Lorena (Robin), Mário (Atraiz) e Guilherme (Disjuntor), e aos estagiários que passaram pelo grupo, pela ajuda no campo, no laboratório e pela amizade.

A todos os professores do curso de pós-graduação em Ciência Animal e Pastagens do Departamento de Zootecnia pelos ensinamentos.

A professora Dra. Sônia pelo auxílio com as análises estatísticas.

A todos os funcionários do Departamento de Zootecnia que me ajudaram de alguma forma.

Aos funcionários do ESALQ LAB (Laboratório de Bromatologia do Departamento de Zootecnia), César, Laerte, Amanda e Ana, pela amizade e colaboração durante as análises laboratoriais e no decorrer do curso.

Ao Rodrigo Menezes representante da LIMAGRAIN, pela doação das sementes dos híbridos LG 6030 e LG 6036.

As secretárias da Diretoria, Sandra, Carmen, Fabiana e Eveline, por toda ajuda e pela amizade.

Aos colegas da pós graduação, pelo apoio e pela amizade. Em especial, a Ludmila, uma grande amiga do Mestrado que vou levar para a vida.

As novas amigas encontradas em Piracicaba que participaram da rotina diária tanto nas horas felizes como das tristes, em especial a Thais, Siméia e Joana.

A Chanel (cadela) minha filha, companheira e que alegrava os meus dias.

Ao meu noivo Ramon pelo companheirismo, incentivo e carinho.

Agradeço à minha família (vó, vô, pai, mãe, irmã, tios e primos). O amor e o apoio de vocês me sustentam!

Agradeço todos que contribuíram direta ou indiretamente para que esse trabalho fosse realizado.

Agradeço a Deus, por permitir que eu chegasse até aqui.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUÇÃO GERAL	9
1.1. OBJETIVO.....	10
REFERÊNCIAS	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1. HÍBRIDOS DE MILHO.....	13
2.2. MATURIDADE FISIOLÓGICA.....	14
2.3. PROCESSAMENTO.....	16
2.4. SILAGENS DE MILHO PLANTA INTEIRA.....	18
REFERÊNCIAS	19
3. MATURIDADE E TAMANHO DE CORTE DA FORRAGEM COMO ESTRATÉGIAS DE ENSILAGEM DE HÍBRIDOS DE MILHO	23
RESUMO	23
ABSTRACT	23
3.1. INTRODUÇÃO	24
3.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.2.1. Local, confecção das silagens e tratamentos	25
3.2.2. Perda total de matéria seca durante o armazenamento	26
3.2.3. Coleta de amostras na ensilagem, na abertura dos silos experimentais e análises físicas.....	26
3.2.4. Análises químico-bromatológicas e microbiológicas.....	27
3.2.5. Ensaio de estabilidade aeróbia.....	28
3.2.6. Ensaio de degradabilidade in situ	28
3.2.7. Análises estatísticas	32
3.3. RESULTADOS	33
3.4. DISCUSSÃO	55
3.5. CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS	61

RESUMO

Maturidade e tamanho de corte da forragem como estratégias de ensilagem de híbridos de milho

Com o avanço da maturidade fisiológica, ocorre enchimento dos grãos, aumento do teor de matéria seca (MS) e assim mudanças na composição bromatológica da planta de milho. Desta forma é importante o estudo do tamanho de corte da forragem que preserve as características da planta fresca, permitindo adequada fermentação da massa e consequentemente a produção de uma silagem de qualidade. O objetivo deste estudo foi avaliar o processo de produção de silagens de milho planta inteira, com foco em avaliar o impacto sobre a fermentação e o pós-abertura de silagens produzidas à partir de híbridos distintos, colhidos em diferentes estágios de maturação e processados mecanicamente sob gradiente de tamanho de corte. E definir a melhor estratégia de configuração de tamanho de corte para a colheita em diferentes estágios de maturação. A ensilagem da cultura de milho foi realizada em silos experimentais com capacidade de 20 L, os híbridos foram colhidos com a colhedora JF AT 1600 (sem processador de grãos). Os tratamentos foram constituídos por teores de matéria seca das plantas (300 e 370 g/kg de MS), diferentes híbridos (LG 6030, LG 6036 e AG1051) e três tamanhos teóricos de corte (TTC) de acordo com a regulação da colhedora (3, 5 e 7 mm), sendo utilizadas quatro repetições por tratamento e armazenadas por 90 dias. Foram avaliados: composição química-bromatológica, ácido láctico, pH, microbiologia, perda de matéria seca (PMS), estabilidade aeróbia (EA), *kernel processing score* (KPS), características físicas das partículas e dos grãos, degradabilidade *in situ* da MS, FDN e Amido, e amido degradável. Houve interação entre híbrido, maturidade e TTC e esses fatores tiveram efeito sobre o valor nutritivo, características físicas, estabilidade aeróbia, degradabilidade *in situ* da MS, FDN e amido das silagens de milho neste estudo. Os teores de MS e amido da silagem aumentaram com o avanço da maturidade e como efeito deste aumento, as concentrações de FDN e FDA diminuíram. Os tratamentos com 300 g/kg de MS apresentaram maiores contagens de leveduras, maiores PMS e menor EA. As silagens de milho colhidas a um TTC menor (3 mm), como esperado, tiveram menos partículas maiores que 19 mm, mais partículas entre 1.18 - 8 mm, e um menor TMP comparado com as silagens de milho colhidas com 5 e 7 mm. A degradabilidade *in situ* de MS, FDN e Amido foi afetada principalmente pelo tipo de híbrido e maturidade. O desaparecimento da MS foi maior para os híbridos AG 1051 e LG 6036, de FDN foi maior para o híbrido LG 6036 e do amido foi maior para a híbrido AG 1051. O desaparecimento da MS, FDN e Amido foi maior quando foi incubada amostras com teor de MS de 300 g/kg de MS do que para silagem de milho com 370 g/kg MS. Reduzir o TTC (de 7 mm para 5 ou 3 mm), é eficaz quando a planta é colhida com 300 g/kg de MS mas não é efetivo com 370 g/kg de MS. No entanto o melhor resultado para colheita em maturidade mais avançada foi potencializado pelo uso do híbrido AG 1051 caracterizado pela empresa responsável como macio e pelo LG 6036 caracterizado pela empresa responsável como duro. Contudo se o milho passar de 370 g/kg de MS e utilizar colhedora acoplada ao trator sem processador de grãos, reduzir TTC não irá melhorar o processamento dos grãos. A colheita com 300 g/kg de MS foi mais eficiente com redução do TTC para 3 ou 5 mm e para o híbrido LG 6030 e a colheita com 370 g/kg de MS independente do TTC foi mais eficiente para os híbridos AG 1051 e LG 6036. O TTC e a maturidade na colheita constituem estratégias efetivas em refinar as recomendações para ensilagem de híbridos de milho diferentes.

Palavras-chaves: Silagem de milho; Colheita; Degradabilidade; Processamento

ABSTRACT

Forage maturity and length of cut as strategies of ensilage corn hybrids

With the advent of physiological maturity, grain growth, increased dry matter content (DM) and assimilation in the bromatology of the corn plant. In this way it is important to study the cut of weight to preserve the characteristics of the fresh plant, allowing the fermentation of the mass and, consequently, the production of a quality silage. The objective of this study was to evaluate the whole plant of corn silage production process, with a focus to evaluating the impact of the fermentation and the aerobic stability of silages produced from different hybrids harvested at different stages of maturation and mechanically processed under gradient of length of cut. And define the best strategy of setting the cut size for harvest at different stages of maturation. Corn silage ensiling was performed in experimental silos with a capacity of 20 L, the hybrids were harvested with the JF AT 1600 harvester (without grain processor). The treatments were constituted by dry matter contents of the plants (300 and 370 g/kg DM), different hybrids (LG 6030, LG 6036 and AG1051) and three theoretical lengths of cut (TLOC) according to the harvester adjustment (3, 5 and 7 mm), using four replicates per treatment and stored for 90 days. The following parameters were evaluated: chemical composition, lactic acid, pH, microbiology, dry matter loss (DML), aerobic stability (EA), *kernel processing score* (KPS), particle and grain physical characteristics, *in situ* DM degradability, NDF and Starch, and degradable starch. There was interaction between hybrid, maturity and TLOC, and these factors had effect on the nutritive value, physical characteristics, aerobic stability, *in situ* degradability of DM, NDF and corn silage starch in this study. The content of DM and starch of the silage increased with the advancement of maturity and as a result of this increase, the concentrations of NDF and ADF decreased. Treatments with 300 g/kg DM showed higher yeast counts, higher DML and lower EA. Maize silages harvested at a lower TLOC (3 mm), as expected, had fewer particles larger than 19 mm, more particles between 1.18 - 8 mm, and lower TMP compared to maize silages harvested at 5 and 7 mm. The *in situ* degradability of DM, NDF and Starch was mainly affected by hybrid type and maturity. The disappearance of MS was higher for the AG 1051 and LG 6036 hybrids, where as the NDF disappearance was higher for the LG 6036 hybrid and the starch was higher for the AG 1051 hybrid. The disappearance of DM, NDF and Starch was higher when samples were incubated with DM content of 300 g/kg DM than for corn silage at 370 g/kg MS. Reducing TLOC (from 7 mm to 5 or 3 mm) is effective when the plant is harvested at 300 g/kg DM but is not effective at 370 g/kg DM. However the best result for harvesting in more advanced maturity was potentialized by the use of hybrid AG 1051 characterized by the company responsible as soft and by the LG 6036 characterized by the company responsible as hard. However, if maize exceeds 370 g/kg DM and uses harvester coupled to the tractor without a grain processor, reducing TLOC will not improve grain processing. Harvesting with 300 g/kg DM was more efficient with TLOC reduction for 3 or 5 mm and for the LG 6030 hybrid, and harvesting with 370 g/kg DM independent of TLOC was more efficient for hybrids AG 1051 and LG 6036. TLOC and maturity at harvest constitute effective strategies to better fine tuning ensiling recommendations for different corn hybrids.

Keywords: Corn silage; Harvest; Degradability; Processing

1. INTRODUÇÃO GERAL

A silagem de milho é a principal fonte de forragem utilizada no Brasil, segundo Bernardes e Rêgo (2014), duzentos e quinze entrevistados (82,7%) relataram que usavam milho sozinho ou em combinação como fonte exclusiva dietas de vacas leiteiras. Nos Estados Unidos é a fonte predominante nos sistemas intensivos de produção de leite (Ferraretto et al., 2018). A silagem de milho tem alta densidade energética (>64% de nutrientes digestíveis totais - NDT), com teores moderados de proteína bruta (PB) (6 a 9%) sem a necessidade de uso de aditivos (Factori, 2008). A qualidade da silagem pode variar em função de fatores externos, como a confecção do silo, clima e microbiota epifítica; e internos à planta, como teor de matéria seca (MS) e carboidratos solúveis (CHOs), poder tampão, presença de nitratos e outras substâncias nitrogenadas (Morais, 1989).

O milho é a espécie padrão, sendo a mais utilizada para a produção de silagem (Bezerra et al., 1993), por apresentar características desejáveis de uma planta para ensilagem, e vem sendo cultivado em diferentes lugares do mundo e em extensas áreas (Factori, 2008). Segundo Nussio et al. (2001) o milho apresenta adaptabilidade ao clima tropical, alta produtividade, teor adequado de MS, bom valor nutritivo, alto consumo pelos animais, baixo poder tampão e níveis adequados de CHOs para a fermentação e sua consequente conservação.

A avaliação de silagens evoluiu recentemente, passando a considerar, além dos aspectos fermentativos, a resistência das forragens à deterioração aeróbia. Entretanto, existem lacunas no conhecimento em relação à qualidade e disponibilidade do amido dos grãos para vacas leiteiras. Deve-se considerar que o acúmulo de amido com o enchimento dos grãos é o principal fator agregador de MS às silagens e determinante do valor nutritivo deste volumoso. Por tratar-se de uma cultura de alto risco, a viabilidade do uso de dietas a base de silagens de milho frente a outras opções volumosas combinadas ao milho grão pode ser balizada pela quantidade e custo do NDT para cada uma dessas opções. Desse modo, a avaliação qualitativa de silagens de milho deve contemplar aspectos da conservação da forragem aliados ao valor nutritivo do alimento.

Outro aspecto a ser considerado é a possibilidade de interação entre diversos fatores que afetam a qualidade da silagem de milho de planta inteira. A maturidade fisiológica corresponde ao enchimento dos grãos, essa evolução acompanha a elevação do teor médio de MS na planta e nos grãos. O estágio de maturação em que as forrageiras são colhidas e ensiladas influenciam na qualidade e no valor nutritivo da silagem (Pereira, 2013). À medida que avança o estágio de maturação das plantas ocorre aumento do teor de MS (Rodrigues et al., 1996). O teor de MS da cultura ensilada, assim como tipo de silo, grau de compactação e processamento físico da forragem, influenciam a produção de efluente (Pereira, 2013). Perdas por efluente são maiores à medida que a forragem aumenta o teor de umidade. No corte precoce (menor que 300 g/kg de MS), as plantas não possuem os grãos devidamente formados ou cheios, porque a porcentagem de água ainda é alta, resultando em perdas por efluente (Factori, 2008). Em forragens ensiladas com aproximadamente 300 g/kg de MS, a produção de efluente pode ser pouco significativa (Haigh, 1999). Já em estágios mais tardios (420 g/kg de MS) a silagem pode resultar em menor valor nutritivo, com prejuízo no processamento dos grãos e na compactação havendo elevação potencial das perdas de MS (Factori, 2008).

Com isso, o processamento da massa de forragem na ensilagem visa melhorar a qualidade do material por meio de procedimentos mecânicos durante a colheita aplicados ao milho planta inteira. Segundo (Moron et al., 2000), o sucesso destes procedimentos físicos em grãos sobre parâmetros ruminais foi mostrado em pesquisas no qual o processamento de grãos de milho promoveu aumentos na degradabilidade e na fração rapidamente degradada do amido no rúmen.

O endosperma de híbridos tradicionais é composto por duas frações que possuem diferentes texturas, sendo uma porção farinácea e outra vítrea. A diferença entre essas frações é resultado da maior ou menor presença de uma matriz protéica envolvendo os grânulos de amido (Kotarski et al., 1992). A matriz protéica que envolve os grânulos de amido é vista como barreira físico-química para a digestão, sendo atribuído às zeínas a dificuldade de acesso ao amido pelos microrganismos ruminais (Owens et al., 1986; Giuberti et al., 2012). As zeínas são proteínas hidrofóbicas presentes na matriz e compreendem de 50 a 60% da proteína total no grão de milho (Hamaker et al., 1995). Tais proteínas são insolúveis em água ou fluido ruminal (Philippeau e Michalet-Doreau, 1997; Larson e Hoffman, 2008), mas são solúveis em álcool e, durante a fermentação, as zeínas podem sofrer solubilização e/ou a ação de proteases microbianas (Baron et al., 1986; Lawton, 2002; Hoffman et al., 2011), aumentando a disponibilidade do amido, o que resulta em melhora do valor nutricional do milho. No estudo de Junges et al. (2017), avaliando a contribuição das bactérias, fungos, e produtos finais da fermentação (ácidos principais e etanol) à solubilização de proteínas durante a fermentação de silagem de milho reconstituído, verificaram que as bactérias tiveram a maior contribuição para a proteólise e diante do fato de que a maior parte da proteína nos grãos de milho está na matriz ao redor do amido, deduziram que as bactérias epifíticas e inoculadas são os principais determinantes da degradação da matriz protéica dos grânulos de amido em grãos de milho e sua digestibilidade de amido.

O benefício da ensilagem como método de processamento foi sumarizado por Owens e Basalan (2012) em que a digestibilidade ruminal do amido medida em vacas leiteiras foi aumentada de 48,8 para 76,3%, em comparação ao milho laminado seco. Essa estratégia pode ser bastante promissora para materiais de milho duros, todavia aspectos fermentativos do processo de ensilagem e a viabilidade desse alimento após a abertura dos silos devem ser analisados de forma conjunta aos dados de metabolismo e desempenho animal para caracterização mais efetiva desse ingrediente.

Sobre o aspecto fermentativo, como a produção de silagens é reflexo da comunidade de microrganismos presentes neste nicho, o estudo da diversidade microbiana torna-se essencial. Em decorrência de a biomassa microbiana ser diretamente influenciada pelas condições do meio, as escolhas dos híbridos a serem cultivados, a maturidade fisiológica da planta no momento da colheita e o tamanho médio das partículas podem ser determinantes da presença de comunidades distintas e mais favoráveis ou não à conservação adequada da massa ensilada (Allen et al., 2003; Hoffman et al., 2011; Kung et al., 2018). Da mesma forma, o tamanho médio das partículas, os diferentes pontos de maturação, a textura do grão e o tempo de armazenamento podem afetar sobremaneira a qualidade das silagens (Correa et al., 2002; Pereira et al., 2004; Hoffman et al., 2011; Der Bedrosian et al., 2012; Ferraretto et al., 2018; Kung et al., 2018).

1.1. Objetivo

O objetivo do atual experimento foi avaliar o processo de produção de silagens de milho planta inteira, com foco em avaliar a influência do híbrido, estágio de maturidade da planta e o tamanho médio de corte sobre a qualidade fermentativa, estabilidade aeróbica e degradabilidade dos nutrientes, buscando uma recomendação mais específica para se obter silagem de qualidade de acordo com mudanças que possam ocorrer no campo.

Sendo assim foi realizada a redação da dissertação em forma de capítulos, sendo:

- Capítulo I com o título: **Revisão de literatura** tem como objetivo situar o atual estudo dentro da grande área de pesquisa.

- Capítulo II com o título: **Maturidade e tamanho de corte da forragem como estratégias de ensilagem de híbridos de milho**, tem como objetivo avaliar o impacto sobre a fermentação e o pós-abertura de

silagens produzidas à partir de híbridos distintos, colhidos em diferentes estágios de maturação e processados mecanicamente sob gradiente de tamanho de corte. E definir a melhor estratégia de configuração de tamanho de corte para a colheita em diferentes estágios de maturação. Sendo que a hipótese era de que híbrido, o tamanho teórico de corte (TTC) e a maturidade fisiológica teriam interações, ou seja, teria para cada híbrido uma maturidade fisiológica ideal para a colheita e um TTC adequado, assim, por exemplo, utilizar um híbrido macio permitiria a colheita mais tardia e com a redução do TTC conseguiria quebrar os grãos de milho e aumentar a degradação ruminal do amido. Ou no caso de utilizar um híbrido duro, a colheita deveria ser feita mais cedo e nesse caso reduzir o TTC conseguiria quebrar os grãos de milho e aumentar a degradação ruminal do amido, mas no caso de colher o híbrido duro mais tardio a redução do TTC não teria efeito.

Referências

- Allen, M.S., J.G. Coors, e G.W. Roth. 2003. Corn silage. Pages 547-608 in *Silage Science and Technology*. Buxton, D. R., Muck, R. E. and Harrison, H. J. ed. ASA, CSA, and SSSA, Madison, WI.
- Baron, V.S., K.R. Stevenson, e J.G. Buchanan-Smith. 1986. Proteolysis and fermentation of grain corn ensiled at several moisture levels and under several simulated storage methods. *Journal of Animal Science* 66:451–461.
- Der Bedrosian, M.C., K.E. Nestor, e L. Kung. 2012. The effects of hybrid, maturity, and length of storage on the composition and nutritive value of corn silage. *Journal of Dairy Science* 95:5115–5126. doi:10.3168/jds.2011-4833.
- Bernardes, T.F., e A.C. do Rêgo. 2014. Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. *Journal of Dairy Science* 97:1852–1861. doi:10.3168/jds.2013-7181.
- Bezerra, E.S., I.M.E.V. Von Tiesenhausen, e A.I.G. Oliveira. 1993. Valor nutricional das silagens de milho, milho associado com sorgo e rebrotas de sorgo. *Revista Brasileira de Zootecnia* 22:1045–1054.
- Correa, C.E.S., R.D. Shaver, M.N. Pereira, J.G. Lauer, e K. Kohn. 2002. Relationship between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability. *Journal of Dairy Science* 85:3008–3012. doi:10.3168/jds.S0022-0302(02)74386-5.
- Factori, M.A. 2008. Degradabilidade ruminal de híbridos de milho em função do estágio de colheita e processamento na ensilagem. 40 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu - SP.
- Ferraretto, L.F., R.D. Shaver, e B.D. Luck. 2018. Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. *Journal of Dairy Science* 101:3937–3951. doi:10.3168/jds.2017-13728.
- Giuberti, G., A. Gallo, e F. Masoero. 2012. Technical note: Quantification of zeins from corn, high-moisture corn, and corn silage using a turbidimetric method: Comparative efficiencies of isopropyl and tert-butyl alcohols. *Journal of Dairy Science* 95:3384–3389. doi:10.3168/jds.2011-4995.
- Haigh, P.M. 1999. Effluent production from grass silages treated with additives and made in large-scale bunker silos. *Grass and Forage Science* 54:208–218. doi:10.1046/j.1365-2494.1999.00172.x.
- Hamarker, B.R., A.A. Mohamed, J.E. Habben, C.P. Huang, e B.A. Larkins. 1995. Efficient procedure for extracting maize and sorghum kernel proteins reveals higher prolamin contents than the conventional method. *Cereal Chemistry* 72:583–588.

- Hoffman, P.C., N.M. Esser, R.D. Shaver, W.K. Coblenz, M.P. Scott, A.L. Bodnar, R.J. Schmidt, e R.C. Charley. 2011. Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch-protein matrix in high-moisture corn. *Journal of Dairy Science*, 94:2465–2474. doi:10.3168/jds.2010-3562.
- Junges, D., G. Morais, M. H. F. Spoto, P. S. Santos, A. T. Adesogan, L. G. Nussio, and J. L. P. Daniel. 2017. Short communication: Influence of various proteolytic sources during fermentation of reconstituted corn grain silages. *Journal of Dairy Science*, 100:9048–9051. doi.org/10.3168/jds.2017-12943.
- Kotarski, F., R.D. Waniska, e K.K. Thurn. 1992. Starch hydrolysis by the ruminal microflora. Symposium: starch digestion. 178–190.
- Kung, L., R.D. Shaver, R.J. Grant, e R.J. Schmidt. 2018. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science* 101:4020–4033. doi:10.3168/jds.2017-13909.
- Larson, J., e P.C. Hoffman. 2008. Technical note: a method to quantify prolamin proteins in corn that are negatively related to starch digestibility in ruminants. *Journal of dairy science* 91:4834–4839. doi:10.3168/jds.2008-1378.
- Lawton, J.W. 2002. Zein: A history of processing and use. *Cereal Chemistry* 79:1–18. doi:10.1094/CCEM.2002.79.1.1.
- Morais, J.P.G. 1989. Avaliação do efeito de inoculantes bacterianos sobre a qualidade de silagem e desempenho animal. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens), Universidade de São Paulo/Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba - SP.
- Moron, I.R., J.C. Teixeira, A.I.G. Oliveira, J.R. Perez, e J.S. Oliveira. 2000. Cinética da digestão ruminal do amido dos grãos de milho e sorgo submetidos a diferentes formas de processamento. *Ciência Agrotécnica* 24:208–212.
- Nussio, L.G., F.P. De Campos, e F.N. Dias. 2001. Importância da qualidade da porção vegetativa no valor alimentício da silagem de milho. *Simpósio Sobre Produção e Utilização de Forragens Conservadas* 1–17.
- Owens, F.N., e M. Basalan. 2012. Limits to ruminal and post ruminal starch digestion and energetic efficiency. *Proceedings of International Congress on Beef Cattle*.
- Owens, F.N., R.A. Zinn, e Y.K. Kim. 1986. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *Journal of animal science* 63:1634–1648. doi:10.2527/jas1986.6351634x.
- Pereira, B.M. 2013. Avaliação da qualidade da silagem de híbridos de milho (*Zea mays* L.) cultivados no Distrito Federal. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, 28 f. monografia.
- Pereira, M.N., R.G. Von Pinho, R.G. da S. Bruno, e G.A. Calestine. 2004. Ruminal degradability of hard or soft texture corn grain at three maturity stages. *Scientia Agricola* 61:358–363. doi:10.1590/S0103-90162004000400002.
- Philippeau, C., e B. Michalet-Doreau. 1997. Influence of maize genotype on rate of ruminal starch degradation. *Animal Feed Science and Technology* 68:25–35. doi:10.1051/animres:199505159.
- Rodrigues, J.A., F.E. Silva, e L.C. Gonçalves. 1996. Silagem de diferentes cultivares de sorgo forrageiro colhidos em diversos estágios de desenvolvimento. *Congresso Nacional de Milho e Sorgo* 269.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Híbridos de milho

Com o avanço do melhoramento genético, é possível encontrar hoje no mercado variedades, híbridos duplos, triplos e simples (Factori et al., 2008). No entanto, não existe uma cultivar de milho que seja recomendada apenas para a produção de silagem. Assim, uma lavoura implantada para a 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 (Paziani et al., 2009). É possível utilizar a mesma cultivar para diferentes fins, porém deve-se procurar escolher aqueles com maior produção de MS digestível (Paziani et al., 2009). Contudo a produção de MS e matéria verde (MV) e a produção de grãos, tanto no ponto de ensilagem como na maturidade, são os fatores que mais afetam a produção de MS digestível.

Antigamente, os produtores buscavam cultivares de milho que apresentassem elevada produção de MV, sem se preocupar com a percentagem de grãos na massa ensilada, por isso este era o principal fator da baixa qualidade da silagem produzida (Nussio, 1991). Na escolha de um híbrido de milho para produção de silagem deve-se optar pela alta percentagem de grãos (Factori et al., 2008). Assim, atualmente os híbridos com maior produção de grãos são também recomendados para a produção de silagem (Gomes et al., 2004). Porém, nem sempre os melhores híbridos para a produção de grãos são os mais indicados para a produção de silagem, pois é necessário avaliar também os teores de fibra (FDN) e a digestibilidade desta fração (Reis et al., 2014). Visto que é importante o valor nutritivo da porção colmo, bainha-folhas e a digestibilidade da MS para determinação do valor nutritivo da silagem (Nussio et al., 2001).

As cultivares de milho podem ser agrupadas de acordo com a textura dos grãos, classificando as em: dentado (dent), grão duro ou cristalino (flint) e grãos semi dentados ou semiduros (apresentam características intermediárias) (Harrelson et al., 2009). No Brasil, verifica-se uma predominância de grãos semiduros e duros no mercado, constituindo 93% do volume de grãos comercializados. No estudo de Philippeau e Michalet-doreau (1997), a vitreosidade de grãos em estágio maduro correspondeu a 73% para o tipo duro e 48% para o dentado e, do ponto de vista nutricional, quanto maior a proporção de endosperma vítreo menor será a digestibilidade do amido (Philippeau e Michalet-Doreau, 1998; Correa et al., 2002; Corona et al., 2006). A vitreosidade é definida como a proporção de endosperma vítreo (duro) em relação ao endosperma total.

Endosperma farináceo é uma característica desejada e freqüente em materiais para produção de milho verde e silagem, pois os resultados de digestibilidade da massa seca são mais elevados para estes genótipos. Este melhor desempenho é atribuído em maior magnitude à qualidade do componente grão (Rosa et al., 2004; Ngonyamo-Majee et al., 2008).

O endosperma de híbridos tradicionais é composto por duas frações que possuem diferentes texturas, sendo uma porção farinácea e outra vítrea. A diferença entre essas frações é resultado da maior ou menor presença de uma matriz protéica envolvendo os grânulos de amido (Kotarski et al., 1992). O grupo genético dent é caracterizado pela presença de endosperma vítreo nas laterais do grão, e o centro do grão que se estende à coroa apresenta textura farinácea (Nussio et al., 2001). Ao desidratar, a parte central do grão se endurece para formar uma distinta conformação dentada. O milho flint tem endosperma vítreo com baixa proporção de endosperma farinácea, apresenta núcleo arredondado, grãos lisos e não dentados (Nussio et al., 2001) com aparência dura e vítrea. A avaliação da vitreosidade é uma forma de medir com maior precisão a textura dos grãos e está relacionada com a

quantidade de endosperma vítreo e farináceo presente neste. Sendo que a vitreosidade é a proporção de endosperma vítreo com relação a proporção de endosperma total (Correa et al., 2002).

As principais proteínas presentes nos grãos de todos os cereais são as prolamínas, e no milho são as zeínas. Assim, a matriz protéica que envolve os grânulos de amido é vista como barreira físico-química para a digestão sendo atribuído às zeínas a dificuldade de acesso ao amido pelos microrganismos ruminais (Giubert et al., 2012; Momany et al., 2006; Owens et al., 1986). As zeínas são proteínas hidrofóbicas presentes na matriz e compreendem de 50 a 60% da proteína total no grão de milho (Hamaker et al., 1995). Tais proteínas são insolúveis em água ou fluido ruminal (Larson e Hoffman, 2008), mas são solúveis em álcool e, durante a fermentação, as zeínas podem sofrer solubilização e/ou ação de proteases microbianas (Baron et al., 1986; Lawton, 2002; Hoffman et al., 2011), aumentando a disponibilidade do amido, o que resulta em melhora do valor nutricional do milho.

Os grânulos de amido dentro das células se apresentam envoltos por uma matriz protéica que possui diferentes localizações no grão. Dessa forma, a matriz protéica na região vítrea é densa e bem desenvolvida, enquanto que no endosperma farináceo tem distribuição espalhada e fragmentada. Assim, propicia um maior ataque enzimático, o que facilita a degradação do amido (Correa et al., 2002). Contudo, a interação do amido com a proteína pode reduzir a hidrólise enzimática, reduzindo sua digestibilidade e, ainda, proporcionar maior dureza e assim maior dificuldade de trituração ou demandar maior potência nas colhedoras de forragem.

Contudo a vitreosidade do grão depende do híbrido e da maturidade (Philippeau e Michalet-Doreau, 1997) e correlaciona-se negativamente com o desaparecimento *in situ* do amido ruminal em híbridos (Philippeau et al., 1999a). O endosperma duro reduziu a digestibilidade ruminal do amido em 26 unidades percentuais (34,8 vs. 60,8, $P < 0,001$) comparado com novilhos alimentados com híbrido de endosperma dentado. No entanto, a digestibilidade no trato total do amido não foi significativa (81,7 vs. 84,2, $P > 0,1$) entre híbridos de endosperma macio e duro, assim a porcentagem de amido do híbrido de endosperma duro que não foi digerido no rúmen, foi compensado pelo intestino (Philippeau et al. 1999b). A vitreosidade aumenta com o aumento da maturidade fisiológica (Philippeau e Michalet-Doreau, 1997), reduzindo a digestibilidade ruminal do amido, desta forma, sendo o estágio de colheita um fator importante neste aproveitamento.

2.2. Maturidade fisiológica

O estágio de maturação em que as forrageiras são colhidas e ensiladas influenciam na qualidade e no valor nutritivo da silagem (Buxton e O'Kiely, 2003). À medida que avança o estágio de maturação das plantas, a maioria das mudanças está associada ao desenvolvimento do grão, que provoca aumento do teor de MS, assim como redução do teor de PB, cinzas e redução da porção fibrosa (Johnson et al., 1999; Allen et al., 2003; Buxton e O'Kiely, 2003; Ferraretto et al., 2018). Segundo Arriola et al. (2017), a partir de 40% de MS o teor de FDN volta a aumentar, isso acontece porque a deposição de amido cessa. Durante a maturação da planta de milho, os açúcares nos grãos são convertidos em amido e o conteúdo de MS nos núcleos aumentam (Allen et al., 2003). Portanto, a maturação tardia na colheita foi sugerida como uma ferramenta de gestão para aumentar os rendimentos de MS e amido por hectare (Owens e Basalan, 2012). Porém o atraso na colheita, com maturação avançada pode prejudicar a digestibilidade da silagem de planta inteira de milho (Johnson et al., 1999; Allen et al., 2003; Ferraretto e Shaver, 2012a). No entanto, Ferraretto e Shaver (2012a) relataram tendência ($P = 0,08$) a maior digestibilidade da FDN quando o milho foi colhido acima de 40% de MS, sendo que classificaram na meta-análise teores de MS do trato total (menor ou igual a 28%, 28,1 – 32%, 32,1 a 36%, 36,1 a 40% e maior que 40%), com digestibilidade de FDN (42,4, 42,5, 44,6, 44,4 e 48,9) e

número de estudos (5, 19, 35, 30 e 16), respectivamente. Porém outras pesquisas mostram que a digestibilidade ruminal *in situ* e *in vitro* de FDN em milho diminui com aumento da maturidade (Lewis et al., 2004; Row et al., 2016; Arriola et al., 2017). Este atraso na colheita também pode prejudicar a utilização da fração de amido do grão pelo animal, que está relacionado com o aumento na proporção de endosperma vítreo no núcleo (Correa et al., 2002; Ferraretto et al., 2018). Ngonyamo-Majee et al. (2009) relatou baixa digestibilidade ruminal *in vitro* do amido quando o milho foi colhido em intervalos entre a metade da linha do leite e a linha negra e isto foi relacionado ao aumento da proporção de endosperma vítreo em grãos de milho com maturidade avançada.

O teor de MS também influencia nos processos biológicos que ocorrem no silo e afeta a densidade da massa e as subseqüentes perdas por efluentes e deteriorização que são influenciadas pela densidade (Muck et al., 2003). A densidade é um fator importante para a fermentação, pois é a exclusão do oxigênio que promove o meio anaeróbico essencial para fermentação favorável. O teor de MS da cultura ensilada, assim como tipo de silo, grau de compactação e processamento físico da forragem, influenciam a produção de efluente (Bal et al., 2000). Perdas por efluente são maiores à medida que a forragem aumenta o teor de umidade. No corte precoce (menor que 30% MS), as plantas não possuem os grãos devidamente formados ou cheios, porque a porcentagem de água ainda é alta, resultando em perdas por efluente (Factori et al., 2008). Em forragens ensiladas com aproximadamente 30% de MS, a produção de efluente pode ser pouco significativa (Haigh, 1999). Já em estágios mais tardios (42%MS) a silagem tem menor valor nutritivo, prejudica o processamento dos grãos e prejudica a compactação havendo maiores perdas de MS (Factori et al., 2008).

O estágio ótimo de colheita do milho relatado na literatura é quando a quantidade de MS/ha é máxima e isto ocorre quando o grão atinge seu estágio farináceo duro com teor de MS, variando de 33 a 35 % (linha do leite entre 1/3 e 2/3) (Nussio, 1991; Zeoula et al., 2003). Neste contexto, uma boa silagem de milho deve apresentar 65 a 70% de umidade. O estágio ideal de colheita corresponde aquele em que a planta apresenta maior produção de massa seca digestível por unidade de área e teor de umidade que propicie a ocorrência de um processo de fermentação satisfatório na faixa de 63 a 67% (Nussio et al., 2001). Com esse teor de MS, são obtidas boas condições de fermentação e conservação da silagem, correspondendo a uma ingestão máxima de forragem pelos bovinos (Zeoula et al., 2003).

A linha do leite do grão pode ser um indicativo para determinação da umidade, visto que (Sulc et al., 1996) concluíram que o teor de MS na planta inteira está positivamente correlacionado com o estágio de linha do leite do grão. Porém essa teoria na prática pode não funcionar sob condições de veranico e/ou déficit hídrico (Factori et al., 2008), pois nestas condições, pode-se aumentar a duração do período de enchimento dos grãos e reduzir a taxa de crescimento deste, sendo assim o certo é o uso da MS. Sendo o ponto ideal de MS para colheita em torno de 33 a 37% (Nussio, 1991). Allen et al. (2003) sugeriram que o ponto ótimo de colheita estaria na faixa de 32 a 35% de MS, mas observou que seria necessário mais estudos sobre as interações entre maturidade na colheita, tipos de híbridos e estratégias de formulação de dieta. Ferraretto e Shaver (2012a) relataram um declínio na produção de leite real e corrigida para gordura a 4% (2,0 e 2,7 kg / vaca por dia, em média, respectivamente), quando a planta de milho foi colhida acima de 40%. Portanto, colher com 35% de MS é recomendado para otimizar o valor nutritivo da silagem e o desempenho da lactação por vacas leiteiras (Ferraretto et al., 2018). Devido a essas controvérsias, pode ser que haja diferença quanto ao ponto de colheita para híbridos com textura diferente, além de ter influência pela forma de condução da cultura.

2.3. Processamento

O processamento tem sido proposto para melhorar o valor nutritivo da silagem de milho, mantendo adequado o tamanho das partículas da fração vegetativa e o máximo processamento da fração grãos (Dias Junior et al., 2016). Bal et al. (2000) mostraram que o processamento de silagem de milho melhorou a ingestão de matéria seca (IMS) (a IMS foi 0,6 kg maior ($P < 0,01$) para dietas processadas versus controle), a digestibilidade total do amido do trato aumentou em 4,2 unidades percentuais, em média, para as dietas processadas versus controle ($P < 0,001$) e a produção de leite foi 1,2 l/d ($P < 0,02$) superior para dietas processadas vs controle. O corte da forragem e outros danos físicos, tais como maceração, melhoram a disponibilidade de substrato para bactérias ácido lácticas, contribuem para a compactação e remoção mais efetiva de oxigênio, além de expor os CHO's e, assim, facilitar a ação dos micro-organismos fermentadores. O adequado processamento da fração grãos da silagem de milho afeta positivamente a digestibilidade do amido. O endosperma do grão de milho é protegido pelo pericarpo, que é altamente resistente a fixação microbiana e digestão enzimática (McAllister et al., 1994); portanto, a quebra dos grãos de milho é necessária para que possibilite o acesso das bactérias e assim melhore a digestibilidade do amido (Ferraretto et al., 2018). A digestibilidade desse amido é influenciada pela maturidade da planta no momento da colheita, pelo tipo de colhedora e o tamanho teórico de corte. Além disso, o processamento pode quebrar espigas e talos, que também estão sujeitos a uma diminuição na qualidade com maturidade mais avançada (Johnson et al., 1999).

Rolos de processamento são utilizados para quebrar os grãos de milho a um menor tamanho de partícula para garantir que o endosperma do amido seja exposto (Ferraretto et al., 2018). O processamento da massa de forragem na ensilagem visa melhorar a qualidade do material, por meio de procedimentos mecânicos durante a colheita, aplicados à planta inteira de milho. O sucesso deste procedimento físico nos grãos sobre parâmetros ruminais foi mostrado em pesquisas no qual o processamento de grãos de milho promoveu aumentos na degradabilidade e na fração rapidamente degradável do amido no rúmen (Moron et al., 2000). No entanto a eficiência do processamento de grãos é variável e pode ser influenciada por vários fatores, como a maturidade fisiológica no momento da colheita, textura dos grãos, regulação do equipamento visando tamanho de partícula ideal, e tipo e ajuste dos processadores (Shinners et al., 2000; Ferraretto e Shaver, 2012a).

A maturidade dos grãos é um dos fatores que pode afetar a quebra dos grãos durante a colheita e na ensilagem. O corte da planta de milho com teor de MS menor que 30% causa perdas por efluentes, pois o teor de umidade é alto e neste momento os grãos ainda não possuem quantidades relevantes de amido. E a colheita tardia, que seria acima de 40% de MS ocorre maiores perdas, pois há baixa capacidade fermentativa da massa e dificuldade de compactação, além de menor digestibilidade da MS. Na meta-análise de Ferraretto e Shaver (2012a), avaliaram efeito das silagens de planta inteira com diferentes teores de MS no desempenho de vacas leiteiras. Sendo as categorias de teor de MS das silagens: menor que 28%, entre 28 e 32%, entre 32 e 36%, entre 36 e 40% e maior que 40% de MS. A produção de leite diminuiu 2 kg/d quando o teor de MS foi maior que 40% e a produção de leite corrigida para 4% de gordura também diminuiu. Houve interação MS $\times$ processamento do grão ($P=0.001$) para digestibilidade de amido do trato total. A digestibilidade do amido do trato total foi aumentada ($P < 0,05$) quando plantas de milho entre 32 e 40 %, foram processados mecanicamente. A proporção do endosperma vítreo do grão aumenta com o aumento do teor de MS da planta de milho (Philippeau e Michalet-Doreau, 1997). Assim, os grãos em plantas de milho com teores de MS menor que 28% e entre 28 e 32% MS são provavelmente mais suscetíveis à quebra durante a colheita sem processamento de grãos.

Atualmente existem colhedoras simples acopladas ao trator (1, 2 ou 3 linhas de corte) e as máquinas automotrizes (4 a 12 linhas de corte) (Dias Junior et al., 2016). Segundo Bernardes e Rêgo (2014) a maioria das colhedoras utilizadas no Brasil são do tipo tracionadas acopladas por trator (90,4%), seguido por colhedoras autopropelidas (9,6%). A predominância das colhedoras tracionadas deve-se em parte ao menor custo em relação as auto propelidas. Neste tipo de colhedora, a quebra dos grãos é normalmente obtida por redução no tamanho teórico de corte (TTC) durante a colheita (Dias Junior et al., 2016). Quanto menor o TTC, maior é o potencial de quebra dos grãos e assim maior o acesso microbiano e enzimático ao amido no rúmen (Hoffman et al., 2012; Dias Junior et al., 2016). Entretanto neste caso a redução no TTC visando a quebra dos grãos pode afetar negativamente a função ruminal e aumentar a propensão de acidose ruminal (Dias Junior et al., 2016). Por outro lado o uso de colhedoras tracionadas pode resultar em silagens com baixa uniformidade de tamanho de partícula e uma predominância de partículas longas (Bernardes et al., 2012a); portanto, esse padrão de corte pode resultar em deterioração da silagem porque partículas maiores impedem a compactação da massa e aumentam penetração de oxigênio por maior porosidade (Muck et al., 2003). Para minimizar esses problemas ao utilizar colhedoras tracionadas, cuidados especiais devem ser tomados no ajuste da máquina, especialmente ajustes relacionados à afiação de facas e regulagem entre a cabeça de corte e barra de cisalhamento (Bernardes e do Rêgo, 2014), é importante também usar uma regulagem do TTC adequado de acordo com a maturidade da cultura, para que possa ter principalmente uma melhor quebra dos grãos e assim permitir que microrganismos tenham acesso aos grânulos de amido e assim não prejudique a digestibilidade deste.

Ferraretto e Shaver (2012a) observaram uma interação de processamento do grão e tamanho teórico das partículas (TTP; $P = 0,001$) para digestibilidade de amido do trato total. O processamento do grão aumentou a digestibilidade de amido do trato total quando o TTP foi de 0,93 a 2,86 cm ($P < 0,05$). É possível que um TTC mais curto permita maior quebra dos grãos pelas facas (Johnson et al., 1999), o que minimiza o efeito do processamento na digestibilidade de amido no trato total. Além disso, em TTC mais longos, as partículas longas causam um efeito de acamamento podendo inibir a quebra dos grãos durante a passagem através dos rolos, reduzindo assim o efeito do processamento na digestibilidade do amido no trato total. Shinnars et al. (2000) mostraram que aumentando o TTC de 9,5 para 19mm sem adição de rolos para processamento de grãos, reduziu em 10% a quebra dos grãos em silagens de planta inteira de milho, quando colhidas entre um terço a três quartos da linha do leite do grão de milho. Quando colhida com TTC de 19 mm usando rolos para processamento dos grãos (distância entre os rolos de 1 a 3 mm) quebrou mais de 90% do total de grãos da massa (Shinnars et al., 2000).

O TTC da colheita afeta as propriedades do material da silagem em compressão e, portanto, afetam a densidade da silagem armazenada. Assim, o aumento na densidade está parcialmente relacionado a uma redução no tamanho das partículas. Uma maior densidade, normalmente, resulta em melhor conservação devido a menor quantidade de ar inicialmente presente e a menor infiltração de ar subsequente, reduzindo assim a oxidação e a perda de nutrientes (Muck e Holmes, 2000). Boa qualidade microbiológica em toda a massa do silo pode ser obtida aumentando a densidade da silagem através da compactação adequada (Muck e Holmes, 2000); por vedação e cobertura adequada do silo para minimizar a penetração de oxigênio durante a fase de conservação (Bernardes et al., 2012b; Borreani et al., 2018).

2.4. Silagens de milho planta inteira

A silagem é um produto que se baseia na conservação de forragens úmidas por meio da fermentação em ambiente anaeróbio. É a forragem conservada mais utilizada na bovinocultura leiteira brasileira (Bernardes e Rêgo, 2014) e nos EUA (Ferraretto et al., 2018). A silagem é uma forragem utilizada como uma das estratégias para alimentação de animais no período de escassez de alimento, como forragem complementar ao manejo de verão (Nussio, 1991) e ao uso durante todo ano em sistemas intensivos de produção de leite.

O milho é a espécie padrão, sendo a mais utilizada para a produção de silagem (Bezerra et al., 1993), por apresentar características desejáveis de uma planta para ensilagem, e vem sendo cultivado em diferentes lugares do mundo e em extensas áreas (Factori et al., 2008). O milho apresenta adaptabilidade ao clima tropical, alta produtividade, teor adequado de matéria seca (MS), bom valor nutritivo, alto consumo pelos animais, baixo poder tampão e níveis adequados de carboidratos solúveis para a fermentação e sua consequente conservação (Nussio et al., 2001). A silagem de milho é considerada um alimento volumoso nutricionalmente completo com alta densidade energética (>64% de nutrientes digestíveis totais -NDT), com teores moderados de proteína bruta(PB) (6 a 9%) sem a necessidade de uso de aditivos (Factori et al., 2008).

A silagem de milho planta inteira é uma importante fonte de energia e FDN fisicamente efetiva (peFDN) em dietas de ruminantes (Allen et al., 2003; Ferraretto e Shaver, 2012a; b). Aproximadamente 50% da energia da silagem de milho planta inteira é derivada do amido (calculado NRC, 2001). Assim melhorando o aproveitamento do amido pode melhorar o desempenho animal (Ferraretto e Shaver, 2012a). A digestibilidade do amido em dietas à base de silagem de milho é influenciado pela maturidade da colheita da planta de milho, tamanho teórico de corte e processamento do grão (Johnson et al., 1999; Allen et al., 2003). A fibra desempenha um papel importante nas dietas de gado leiteiro e a peFDN está positivamente associada com a mastigação, pH ruminal e teor de gordura do leite (Mertens, 1997). Maior peFDN pode ser alcançado aumentando o tamanho teórico das partículas da silagem de milho planta inteira (Ferraretto e Shaver, 2012b).

No momento da ensilagem, os teores de matéria seca dos seus componentes estruturais influenciam nos teores de matéria seca da planta. No ponto de ensilagem, colmo e grãos são os componentes de maior participação na composição da planta (Zopollatto et al., 2009). A fração fibrosa da planta, constituída de colmo, folhas e brácteas, pode representar mais de 50% da matéria seca da planta, portanto, influencia a produção de MS e o valor nutritivo da planta inteira (Wolf et al., 1993).

O benefício da ensilagem como método de processamento foi sumarizado por Owens e Basalan (2012) em que a digestibilidade ruminal do amido medida em vacas leiteiras foi aumentada de 49 para 74%, em comparação ao milho laminado seco. Essa estratégia pode ser bastante promissora para materiais de milho duros, todavia aspectos fermentativos do processo de ensilagem e a viabilidade desse alimento após a abertura dos silos devem ser analisados de forma conjunta aos dados de metabolismo e desempenho animal para caracterização mais efetiva desse ingrediente.

A resposta produtiva de uma lavoura de milho é o resultado das condições de plantio (solo, adubação e clima), do potencial genético das sementes, bem como do manejo da cultura (Factori et al., 2008). Sendo que em média, 50% desse rendimento final, é devido a cultivar. Assim, o sucesso da cultura, pode ser em razão da escolha correta das sementes (híbridos ou cultivares, com sua respectiva textura) (Harrelson et al., 2009). Na escolha de um híbrido de milho para produção de silagem deve-se almejar alta porcentagem de grãos, devendo-se ainda levar em

consideração o valor nutritivo da porção haste - folhas e a digestibilidade do material, para ter uma silagem de qualidade (Nussio et al., 2001). Sendo estes influenciados pela escolha correta da textura dos materiais utilizados.

Outro aspecto a ser considerado é a possibilidade de interação entre o ponto de colheita da cultura, o processamento de grãos, tempo de abertura e tamanho de partículas da silagem de milho de planta inteira. Quando o corte das plantas de milho ocorre no estágio dente, 75% dos grãos e 85% do potencial de produção de MS da planta estariam efetivados, ao passo que se a colheita ocorrer na fase de ½ linha de leite, 95% da produção potencial dos grãos e a totalidade da MS da planta estariam concluídos. Essa evolução acompanha a elevação do teor médio de MS na planta (300-350 g/kg de MS) e nos grãos (500-600 g/kg de MS) e, como as concentrações de água, açúcares solúveis, amido e FDN são alteradas com o avanço da maturação, o perfil fermentativo e o aproveitamento das silagens devem ser conjugados na busca por um tamanho médio de partícula que resulte em maiores ganhos produtivos para os animais. Portanto, o estudo dessas interações torna-se necessário, permitindo avaliar se essas diferenças influenciam o processo de ensilagem e a qualidade nutricional deste alimento para ruminantes.

Referências

- Allen, M.S., J.G. Coors, e G.W. Roth. 2003. Com silage. Pages 547-608 in *Silage Science and Technology*. Buxton, D. R., Muck, R. E. and Harrison, H. J. ed. ASA, CSA, and SSSA, Madison, WI.
- Arriola, K.G., R.M. Martins, T.F. Bernardes, L. Leyton, Z.X. Ma, e I.M. Ogunade. 2017. Effects of maturity at harvest on the nutritional value, yield and milk production potential of corn hybrids planted under tropical/subtropical conditions. *Journal of Dairy Science* (abstract) 1.
- Bal, M.A., R.D. Shaver, K.J. Shinnors, J.G. Coors, J.G. Lauer, R.J. Straub, e R.G. Koegel. 2000. Stage of maturity, processing, and hybrid effects on ruminal *in situ* disappearance of whole-plant corn silage. *Animal Feed Science and Technology* 86:83–94. doi:10.1016/S0377-8401(00)00163-2.
- Baron, V.S.; Stevensonk, R.; Buchanan-Smith, J.G. 1986. Proteolysis and fermentation of corn-grain ensiled at several moisture levels and under several simulated storage methods. *Canadian Journal Animal Science* 66: 451–461.
- Bernardes, T.F., e A.C. do Rêgo. 2014. Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. *Journal of Dairy Science* 97:1852–1861. doi:10.3168/jds.2013-7181.
- Bernardes, T.F., I.Q. Carvalho, e A.C. Silva. 2012a. A snaps hot of maize silage quality on dairy farms in South Brazil. *Proc. 16th Int. Silage Conf. MTT Agrifood Research Finland and University of Helsinki, Hämeenlinna, Finland* 322–323.
- Bernardes, T. F., L. G. Nussio, and R. C. Amaral. 2012b. Top spoilage losses in maize silage sealed with plastic films with different permeabilities to oxygen. *Grass Forage Sci.* 67:34–42.
- Bezerra, E.S., I.M.E.V. Von Tiesenhausen, e A.I.G. Oliveira. 1993. Valor nutricional das silagens de milho, milho associado com sorgo e rebrotas de sorgo. *Revista Brasileira de Zootecnia* 22:1045–1054.
- Borreani, G., E. Tabacco, R.J. Schmidt, B.J. Holmes, and R.E. Muck. 2018. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science.* 101:3952-3979.
- Buxton, D.R., e P. O’Kiely. 2003. Preharvest plant factors affecting ensiling. *Silage Science and Technology* 199–250. doi:10.2134/agronmonogr42.c5.
- Corona, L.; Owens, F.N.; Zinn, R.A. 2006. Impact of corn vitreousness and processing on site and extent of digestion by feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 84: 3020- 3031

- Correa, C.E.S., R.D. Shaver, M.N. Pereira, J.G. Lauer, e K. Kohn. 2002. Relationship between corn vitreousness and ruminal *in situ* starch degradability. *Journal of Dairy Science* 85:3008–3012. doi:10.3168/jds.S0022-0302(02)74386-5.
- Dias Junior, G.S., L.F. Ferraretto, G.G.S. Salvati, L.C. de Resende, P.C. Hoffman, M.N. Pereira, e R.D. Shaver. 2016. Relationship between processing score and kernel-fraction particle size in whole-plant corn silage. *Journal of Dairy Science* 99:2719–2729. doi:10.3168/jds.2015-10411.
- Factori, M.A., C. Costa, P.R. de L. Meirelles, K. Oliveira, L.A. Rosales, G.J. Moraes, e H.C. Gonçalves. 2008. Degradabilidade ruminal de híbridos de milho em função do estágio de colheita e processamento na ensilagem. *Boletim de Indústria Animal* 65:259–273.
- Ferraretto, L.F., e R.D. Shaver. 2012a. Meta-analysis: Effect of corn silage harvest practices on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *The Professional Animal Scientist* 28:141–149. doi:10.15232/S1080-7446(15)30334-X.
- Ferraretto, L.F., e R.D. Shaver. 2012b. Effect of corn shredlage on lactation performance and total tract starch digestibility by dairy cows. *The Professional Animal Scientist* 28:639–647. doi:10.15232/S1080-7446(15)30423-X.
- Ferraretto, L.F., R.D. Shaver, e B.D. Luck. 2018. Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. *Journal of Dairy Science* 101:3937–3951. doi:10.3168/jds.2017-13728.
- Giubert, G.; A. Gall.; F. Masoero. 2012. Technical note: quantification of zeins from corn, high-moisture corn, and corn silage using a turbidimetric method: comparative efficiencies of isopropyl and tert-butyl alcohols. *Journal of Dairy Science*. 95: 3384-3389.
- Gomes, M.S.; R.G. Pinho; M.A.P. Ramalho; et al. 2004. Variabilidade genética em linhagens de milho nas características relacionadas com a produtividade de silagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.9, p. 879-885.
- Haigh, P.M. 1999. Effluent production from grass silages treated with additives and made in large-scale bunker silos. *Grass and Forage Science* 54:208–218. doi:10.1046/j.1365-2494.1999.00172.x.
- Hamaker, B.R.; Mohamed, A.A.; Habben, J.E.; Huang, C.P.; Larkins, B.A. 1995. Efficient procedure for extracting maize and sorghum kernel proteins reveals higher prolamin contents than the conventional method. *Cereal Chemistry*. 72: 583–588.
- Harrelson, F.W., M.K. Luebke, N.F. Meyer, G.E. Erickson, T.J. Klopfenstein, D.S. Jackson, e W.A. Fithian. 2009. Influence of corn hybrid and processing method on nutrient digestibility, finishing performance, and carcass characteristics. *Journal of Animal Science* 87:2323–2332. doi:10.2527/jas.2008-1527.
- Hoffman, P.C., D.R. Mertens, J. Larson, W.K. Coblenz, e R.D. Shaver. 2012. A query for effective mean particle size in dry and high-moisture corns. *Journal of Dairy Science* 95:3467–3477. doi:10.3168/jds.2011-5126.
- Hoffman, P.C.; Esser, N.M.; Shaver, R.D.; Coblenz, W.H.; Scott, M.P.; Bodnar, A.L.; Schmidt, R.J.; Charley, R.C. 2011. Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch protein matrix in high-moisture corn. *Journal of Dairy Science*. 94: 2465–2474.
- Johnson, L., J.H. Harrison, C. Hunt, K. Shinnars, C.G. Doggett, e D. Sapienza. 1999. Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing: a contemporary review. *Journal of Dairy Science* 82:2813–2825. doi:10.3168/jds.S0022-0302(99)75540-2.

- Kotarski, S.F.; Wanisha, R.D., Thur, K.K. 1992. Starch hydrolysis by ruminal microflora. *Journal of nutrition* 122: 178-190.
- Larson, J.; Hoffman, P.C. 2008. Technical note: a method to quantify prolamin proteins in corn that are negatively related to starch digestibility in ruminants. *Journal of Dairy Science* 91: 4834-4839.
- Lawton, J.W. 2002. Zein: a history of processing and use. *Cereal Chemistry* 79: 1-18.
- Lewis, A.L., W.J. Cox, e J.H. Cherney. 2004. Hybrid, maturity, and cutting height interactions on corn forage yield and quality. *Agronomy Journal* 96:267–274.
- Mcallister, T.A., H.D. Bae, G.A. Jones, e K. Cheng. 1994. Microbial attachment and feed digestion in the rumen. *Journal of animal science* 72:3004–3018.
- Mertens, D.R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 80:1463–1481. doi:10.3168/jds.S0022-0302(97)76075-2.
- Momany, F.A.; Sessa, D.J.; Lawton, J.W.; Selling, G.W.; Hamaker, S.A.H.; Willett, J.L. 2006. Structural characterization of alpha-zein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Washington, v.54, n.2.
- Moron, I.R., J.C. Teixeira, A.I.G. Oliveira, J.R. Perez, e J.S. Oliveira. 2000. Cinética da digestão ruminal do amido dos grãos de milho e sorgo submetidos a diferentes formas de processamento. *Ciência Agrotécnica* 24:208–212.
- Muck, R. E., e B. J. Holmes. 2000. Factors affecting bunker silo densities. *Appl. Eng. Agric.* 16:613–619.
- Muck, R.E., L.E. Moser, e R.E. Pitt. 2003. Postharvest factors affecting ensiling. *Silage science and technology* 251–304. doi:10.2134/agronmonogr42.c6.
- National Research Council (NRC). 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. Seventh revised edition.
- Ngonyamo-Majee, D., R.D. Shaver, J.G. Coors, D. Sapienza, e J.G. Lauer. 2008. Relationships between kernel vitreousness and dry matter degradability for diverse corn germplasm. II. Ruminal and post-ruminal degradabilities. *Animal Feed Science and Technology* 142:259–274. doi:10.1016/j.anifeedsci.2007.09.001.
- Nussio, L.G. 1991. Cultura de milho para produção de silagem de alto valor alimentício. *Simpósio sobre Nutrição de bovinos*. 4 ed. FEALQ, Piracicaba, SP, Brasil v.4:P.59-168.
- Nussio, L.G., F.P. De Campos, e F.N. Dias. 2001. Importância da qualidade da porção vegetativa no valor alimentício da silagem de milho. *Simpósio Sobre Produção e Utilização de Forragens Conservadas* 1–17.
- Owens, F.N., e M. Basalan. 2012. Limits to ruminal and post ruminal starch digestion and energetic efficiency. *Proceedings of International Congress on Beef Cattle*.
- Owens, F.N.; Zinn, R.A.; Kim, Y.K. 1986. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *Journal of Animal Science*. 63: 1634-1648.
- Paziani, S.F.; Duarte, A.P.; Nussio, L.G.; Gallo, P.B.; Bittar, C.M.M.; Zopollatto, M.; Reco, P.C. 2009. Agronomic and nutritional characteristics of the corn hybrids for silage production [Editorial]. *Revista Brasileira de Zootecnia* 38:411-417. (in Portuguese, with abstract in English).
- Philippeau, C., e B. Michalet-Doreau. 1997. Influence of maize genotype on rate of ruminal starch degradation. *Animal Feed Science and Technology* 68:25–35. doi:10.1051/animres:199505159.
- Philippeau, C.; Michalet-Doreau B. 1997. Influence of genotype and stage of maturity on rate of ruminal starch degradation. *Animal Feed Science Technology* 68: 25-35.
- Philippeau, C.; Michalet-Doreau, B. 1998. Influence of genotype and ensiling of corn grain on *in situ* degradation of starch in the rumen. *Journal of Dairy Science* 81: 2178-2184.

- Philippeau, C., F. Le Deschault De Monredon, e B. Michalet-Doreau. 1999a. Relationship between ruminal starch degradation and the physical characteristics of corn grain. *Journal of Animal Science* 77:238–243. doi:10.2527/1999.771238x.
- Philippeau, C., C. Martin, e B. Michalet-Doreau. 1999b. Influence of grain source on ruminal characteristics and rate, site, and extent of digestion in beef steers. *Journal of Animal Science* 77:1587–1596. doi:10.2527/1999.7761587x.
- Reis, R.A.; T.F. Bernardes; G.R. Siqueira. 2014. *Forragicultura: Ciência, Tecnologia e gestão de recursos forrageiros*. Jaboticabal: FUNEP. 714p.
- Rosa, J.R.P., J.H.S. Da Silva, J. Restle, L.L. Pascoal, I.L. Brondani, D.C. Alves Filho, e A.K. De Freitas. 2004. Avaliação do comportamento agrônomo da planta e valor nutritivo da silagem de diferentes híbridos de milho (*Zea mays*, L.). *Revista Brasileira de Zootecnia* 33:302–312. doi:10.1590/S1516-35982004000200005.
- Row, C.A., R.G. Bondurant, A.K. Watson, J. Harding, e J.C. McDonald. 2016. Effect of corn plant maturity on yield and nutrient quality of corn plants. *Nebraska Beef Cattle Report* 56–58.
- Shinners, K.J., A.G. Jirovec, R.D. Shaver, e M.A. Bal. 2000. Processing whole-plant corn silage with crop processing rolls on a pull-type forage harvester. *Applied Engineering in Agriculture* 16:323–331.
- Sulc, R.M., P.R. Thomison, e W.P. Weiss. 1996. Reliability of the kernel milkline method for timing corn silage harvest in Ohio. *Journal of Production Agriculture Ohio, Columbus* 9:376–381.
- Wolf, D.P., J.G. Coors, K.A. Albrecht, D.J. Undersander, e P.R. Carter. 1993. Forage quality of maize genotypes selected for extreme fiber concentrations. *Crop Science* 33:1353–1359. doi:10.2135/cropsci1993.0011183X003300060046x.
- Zeoula, L.M., J.R.F. Beleze, U. Cecato, C.C. Jobim, L.J.V. Geron, E.M. Maeda, e A.J.D.S. Falcão. 2003. Avaliação de cinco híbridos de milho (*Zea mays*, L.) em diferentes estágios de maturação. 3. Composição químico-bromatológica. *Revista Brasileira de Zootecnia* 32:556–566. doi:10.1590/S1516-35982003000300007.
- Zopollatto, M., L.G. Nussio, L.J. Mari, P. Schmidt, A. Pereira, e G.B. Mourão. 2009. Alterações na composição morfológica em função do estágio de maturação em cultivares de milho para produção de silagem Changes in morphological composition according to the maturity stage in corn cultivars for silage produc. *Revista Brasileira de Zootecnia* 38:452–461.
- Allen, M. S., J. G. Coors, And G. W. Roth. 2003. Corn silage. Pages 547–608 in *Silage Science and Technology*. D. R. Buxton, R. E. Muck, and H. J. Harrison, ed. ASA, CSA, and SSSA, Madison, WI.

3. MATURIDADE E TAMANHO DE CORTE DA FORRAGEM COMO ESTRATÉGIAS DE ENSILAGEM DE HÍBRIDOS DE MILHO

Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar o processo de produção de silagens de milho planta inteira, com foco em avaliar o impacto sobre a fermentação e o pós-abertura de silagens produzidas a partir de híbridos distintos, colhidos em diferentes estágios de maturação e processados mecanicamente sob gradiente de tamanho de corte. E definir a melhor estratégia de configuração de tamanho de corte para a colheita em diferentes estágios de maturação. A ensilagem da cultura de milho foi realizada em silos experimentais com capacidade de 20 L, os híbridos foram colhidos com a colhedora JF AT 1600 (sem processador de grãos). Os tratamentos foram constituídos por teores de matéria seca das plantas (300 e 370 g/kg de MS), diferentes híbridos (LG 6030, LG 6036 e AG1051) e três tamanhos teóricos de corte (TTC) de acordo com a regulagem da colhedora (3, 5 e 7 mm), sendo utilizadas quatro repetições por tratamento e armazenadas por 90 dias. Foram avaliados: composição química-bromatológica, ácido láctico, pH, microbiologia, perda de matéria seca (PMS), estabilidade aeróbia (EA), *kernel processing score* (KPS), características físicas das partículas e dos grãos, degradabilidade *in situ* da MS, FDN e Amido, e amido degradável. Houve interação entre híbrido, maturidade e TTC e esses fatores tiveram efeito sobre o valor nutritivo, características físicas, estabilidade aeróbia, degradabilidade *in situ* da MS, FDN e amido das silagens de milho neste estudo. Os teores de MS e amido da silagem aumentaram com o avanço da maturidade e como efeito deste aumento, as concentrações de FDN e FDA diminuíram. Os tratamentos com 300 g/kg de MS apresentaram maiores contagens de leveduras, maiores PMS e menor EA. As silagens de milho colhidas a um TTC menor (3 mm), como esperado, tiveram menos partículas maiores que 19 mm, mais partículas entre 1.18 - 8 mm, e um menor TMP comparado com as silagens de milho colhidas com 5 e 7 mm. A degradabilidade *in situ* de MS, FDN e Amido foi afetada principalmente pelo tipo de híbrido e maturidade. O desaparecimento da MS foi maior para os híbridos AG 1051 e LG 6036, de FDN foi maior para o híbrido LG 6036 e do amido foi maior para a híbrido AG 1051. O desaparecimento da MS, FDN e Amido foi maior quando foi incubada amostras com teor de MS de 300 g/kg de MS do que para silagem de milho com 370 g/kg MS. Reduzir o TTC (de 7 mm para 5 ou 3 mm), é eficaz quando a planta é colhida com 300 g/kg de MS mas não é efetivo com 370 g/kg de MS. No entanto o melhor resultado para colheita em maturidade mais avançada foi potencializado pelo uso do híbrido AG 1051 caracterizado pela empresa responsável como macio e pelo LG 6036 caracterizado pela empresa responsável como duro. Contudo se o milho passar de 370 g/kg de MS e utilizar colhedora acoplada ao trator sem processador de grãos, reduzir TTC não irá melhorar o processamento dos grãos. A colheita com 300 g/kg de MS foi mais eficiente com redução do TTC para 3 ou 5 mm e para o híbrido LG 6030 e a colheita com 370 g/kg de MS independente do TTC foi mais eficiente para os híbridos AG 1051 e LG 6036. O TTC e a maturidade na colheita constituem estratégias efetivas em refinar as recomendações para ensilagem de híbridos de milho diferentes.

Palavras-chaves: Silagem de milho; Colheita; Degradabilidade; Processamento

Abstract

The objective of this study was to evaluate the whole plant of corn silage production process, with a focus to evaluating the impact of the fermentation and the aerobic stability of silages produced from different hybrids harvested at different stages of maturation and mechanically processed under gradient of length of cut. And define the best strategy of setting the cut size for harvest at different stages of maturation. Corn silage ensiling was performed in experimental silos with a capacity of 20 L, the hybrids were harvested with the JF AT 1600 harvester (without grain processor). The treatments were constituted by dry matter contents of the plants (300 and 370 g/kg DM), different hybrids (LG 6030, LG 6036 and AG1051) and three theoretical lengths of cut (TLOC) according to the harvester adjustment (3, 5 and 7 mm), using four replicates per treatment and stored

for 90 days. The following parameters were evaluated: chemical composition, lactic acid, pH, microbiology, dry matter loss (DML), aerobic stability (EA), *kernel processing score* (KPS), particle and grain physical characteristics, *in situ* DM degradability, NDF and Starch, and degradable starch. There was interaction between hybrid, maturity and TLOC, and these factors had effect on the nutritive value, physical characteristics, aerobic stability, *in situ* degradability of DM, NDF and corn silage starch in this study. The content of DM and starch of the silage increased with the advancement of maturity and as a result of this increase, the concentrations of NDF and ADF decreased. Treatments with 300 g/kg DM showed higher yeast counts, higher DML and lower EA. Maize silages harvested at a lower TLOC (3 mm), as expected, had fewer particles larger than 19 mm, more particles between 1.18 - 8 mm, and lower TMP compared to maize silages harvested at 5 and 7 mm. The *in situ* degradability of DM, NDF and Starch was mainly affected by hybrid type and maturity. The disappearance of MS was higher for the AG 1051 and LG 6036 hybrids, where as the NDF disappearance was higher for the LG 6036 hybrid and the starch was higher for the AG 1051 hybrid. The disappearance of DM, NDF and Starch was higher when samples were incubated with DM content of 300 g/kg DM than for corn silage at 370 g/kg MS. Reducing TLOC (from 7 mm to 5 or 3 mm) is effective when the plant is harvested at 300 g/kg DM but is not effective at 370 g/kg DM. However the best result for harvesting in more advanced maturity was potentialized by the use of hybrid AG 1051 characterized by the company responsible as soft and by the LG 6036 characterized by the company responsible as hard. However, if maize exceeds 370 g/kg DM and uses harvester coupled to the tractor without a grain processor, reducing TLOC will not improve grain processing. Harvesting with 300 g/kg DM was more efficient with TLOC reduction for 3 or 5 mm and for the LG 6030 hybrid, and harvesting with 370 g/kg DM independent of TLOC was more efficient for hybrids AG 1051 and LG 6036. TLOC and maturity at harvest constitute effective strategies to better fine tuning ensiling recommendations for different corn hybrids.

Keywords: Corn silage; Harvest; Degradability; Processing

3.1. Introdução

O estágio de maturação em que as forragens são colhidas e ensiladas assim como tipo de silo, grau de compactação e processamento físico da forragem, influenciam na qualidade, no valor nutritivo da silagem e na produção de efluente (Pereira, 2013). A planta de milho colhida com menos de 300 g/kg de matéria seca (MS) resulta em excessiva fermentação que produz alta concentração de ácidos e resulta em perda de nutrientes (Kung, 2008). Em contraste, na planta de milho colhida com mais de 380 g/kg de MS, a baixa umidade restringe a fermentação, prejudica a picagem e este material é de difícil compactação o que reduz a estabilidade aeróbia (Kung, 2008).

A picagem e outros danos físicos, tais como maceração, melhoram a disponibilidade de substrato para bactérias ácido lácticas, contribuem para a compactação e remoção mais efetiva de oxigênio, além de expor os carboidratos solúveis (CHOs) e, assim, facilitar a ação dos micro-organismos fermentadores (Factori et al., 2008). O adequado processamento da fração grãos da silagem de milho afeta positivamente a digestibilidade do amido (Bal et al., 2000b).

No entanto, com o uso de colhedoras tracionadas, as silagens podem ter uma baixa uniformidade de tamanho de partícula e uma maior quantidade de partículas longas (Bernardes et al., 2012), prejudicando a compactação da massa e aumentando a penetração de oxigênio devido a maior porosidade (Muck et al., 2003). Mesmo assim, segundo levantamento realizado por Bernardes e Rêgo (2014), a maioria dos produtores brasileiros utiliza as colhedoras tracionadas por trator (90,4%), e o restante as autopropelidas (9,6%). Então, para minimizar esses problemas ao utilizar colhedoras tracionadas, alguns cuidados especiais devem ser tomados no ajuste dos equipamentos como, por exemplo, a afiação de facas e o ajuste entre a faca e a contra-faca. Entretanto, a digestibilidade do amido além de ser influenciada pelo tipo de colhedora e tamanho teórico de corte, é também

influenciada pela maturidade da planta no momento da colheita (Johnson et al., 1999; Shinnars et al., 2000; Allen et al., 2003; Shinnars, 2003).

Assim o objetivo deste estudo foi avaliar o processo de produção de silagens de milho planta inteira, com foco em avaliar o impacto sobre a fermentação e o pós-abertura de silagens produzidas à partir de híbridos distintos, colhidos em diferentes estágios de maturação e processados mecanicamente sob gradiente de tamanho de corte. E definir a melhor estratégia de configuração de tamanho de corte para a colheita em diferentes estágios de maturação.

3.2. Material e Métodos

3.2.1. Local, confecção das silagens e tratamentos

O experimento foi conduzido no Departamento de Zootecnia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo (USP/ESALQ), no município de Piracicaba, São Paulo.

Foi realizada a semeadura dos híbridos de milho entre os dias 15 e 18 de novembro de 2016, sendo que os híbridos utilizados foram: Agrocere AG 1051 (convencional, híbrido duplo, semiprecoce e caracterizado pela empresa como dentado o tipo de grão), Limagrain LG 6030 (transgênico VT PRO YieldGard e VT PRO 2, híbrido simples, precoce e caracterizado pela empresa como semidentado o tipo de grão) e Limagrain LG6036 (transgênico VT PRO YieldGard e VT PRO 2, híbrido simples, precoce e caracterizado pela empresa como duro o tipo de grão), pelo sistema de plantio direto, com 70 cm de espaçamento entre linhas visando população de 60.000 plantas por hectare. Os tratos culturais foram realizados seguindo as recomendações de adubação e calagem do boletim 100 para a cultura do milho.

A partir de 90 dias do dia da semeadura, foi realizado semanalmente análise do teor de MS das plantas de milho, até atingir a maturidade desejada e assim dar início a colheita. O 1º corte das plantas de milho realizou-se no dia 24 de fevereiro de 2017 (plantas com 300 g/kg MS) e o 2º corte no dia 08 de março de 2017 (plantas com 370 g/kg MS), e foram colhidos com a colhedora JF AT 1600 na regulagem de 3, 5 e 7 mm (sem dispositivo processador de grãos). A ensilagem da cultura de milho foi realizada em silos experimentais com capacidade de 20 L. Os baldes plásticos eram providos de tampas para a vedação adequada. Os tratamentos foram constituídos por dois teores de umidade das plantas na ocasião dos cortes (300 e 370 g/kg de MS), diferentes híbridos (AG 1051, LG 6030 e LG 6036) e três tamanhos teóricos de corte (TTC) de acordo com a colhedora (3, 5 e 7 mm), sendo utilizadas quatro repetições por tratamento.

A densidade dos silos experimentais foi calculada considerando a área do balde e o peso deste antes da abertura. Foi realizada a pesagem dos silos antes do enchimento (balde+tampa) e depois de cheios foram vedados e novamente pesados para a avaliação da perda total de matéria seca por diferença gravimétrica, conforme descrito por Jobim et al. (2007). Após a ensilagem as tampas foram seladas com fitas adesivas e mantidos em local coberto em temperatura ambiente até completarem 90 dias de armazenamento (Junges, 2014). A vitreosidade dos híbridos foi determinada por dissecação manual dos grãos de acordo com Correa et al. (2002). E foi realizada para os híbridos nas duas maturidades fisiológicas (300 e 370 g/kg MS).

3.2.2. Perda total de matéria seca durante o armazenamento

A perda total de matéria seca foi calculada pela equação a seguir (Jobim et al., 2007):

$$PMS = \frac{[(PCen - Pen) * MSen] - [(PCab - Pab) * MSab]}{[(PCen - Pen) * MSen]} \times 100$$

Sendo:

PMS = Perda total de matéria seca (g/kg MS);

PCen = Peso do balde cheio na ensilagem (kg);

Pen = Peso do conjunto (balde + tampa) na ensilagem (kg);

MSen = Teor de matéria seca da forragem na ensilagem (g/kg MS);

PCab = Peso do balde cheio na abertura (kg);

Pab = Peso do conjunto (balde + tampa) na abertura (kg);

MSab = Teor de matéria seca da forragem na abertura (g/kg MS);

3.2.3. Coleta de amostras na ensilagem, na abertura dos silos experimentais e análises físicas

Amostras da planta fresca picada foram pesadas e secas em estufa de circulação forçada de ar a 55° por 72 horas para determinação da composição bromatológica antes da ensilagem. Na tabela 1 está apresentada a composição bromatológica da planta inteira de milho antes da ensilagem. Após 90 dias de armazenamento realizou-se a abertura dos silos. A camada superficial de cada silo (aproximadamente 15 cm) foi descartada, abaixo dessa camada, toda a silagem foi recolhida e colocada em sacos plásticos e homogeneizada. Na sequência uma amostra de 350g foi coletada em sacos de papel para a secagem na estufa de circulação forçada de ar a 55° por 72 horas. Após secagem, o material foi processado em moinho de facas tipo Willey com peneira de malha de 1 mm e armazenado em potes plásticos devidamente vedados pra análise da composição bromatológica.

Outra amostra de 500 g foi coletada em sacos de papel para a secagem na estufa de circulação forçada de ar a 55° por 72 horas. Após secagem, o *corn score processing score* (CSPS) foi determinado em duplicata, como descrito por Ferreira e Mertens (2005), também chamado de *kernel processing score* (KPS). Outra amostra de 1 kg foi coletada em bandeja de alumínio para a secagem na estufa de circulação forçada de ar a 55° por 72 horas. Após secagem, as frações grãos, caules e folhas foram separadas por um procedimento de separação hidrodinâmica (Savoie et al., 2004). Este método é baseado nas diferenças de flutuação entre os grãos, folhas e caules. Cada amostra de cerca de 400 g de MS foi colocada em um recipiente de 10 L contendo 7 L de água. Cada amostra seca foi suavemente agitada manualmente durante 2 minutos de modo a que toda a amostra estivesse imersa em água. Após 2 minutos, a fração fibrosa (folhas + caule) que flutuou devido a sua densidade mais baixa do que a água, foi removida suavemente, utilizando uma pequena peneira de 1,17 mm (Savoie et al., 2004). Subsequentemente, a água foi removida para fora do recipiente e a fração de grãos, a qual possui uma densidade superior à da água foi separada (Savoie et al., 2004). Após a separação, a fração de grãos foi seca a 60 °C durante 48 h em estufa de ventilação forçada e posteriormente agitada usando um Tyler Ro-TapShaker (modelo RX-29, Tyler, Mentor, OH) com um conjunto de 9 peneiras com

malhas de 9,50, 6,70, 4,75, 3,35, 2,36, 1,70, 1,18, 0,59 mm e fundo; o tamanho geométrico médio do grão - TMG (uM) e área superficial (cm²/g) foram calculados utilizando uma distribuição normal logarítmica (Baker e Herrman, 2002).

Uma amostra de 500g da silagem fresca foi utilizada para determinação do tamanho médio de partícula (TMP) de cada tratamento, que foi verificado pelo método descrito por (Kononoff et al., 2003). Outra amostra de 100g foi utilizada para determinação imediata do pH, alíquota adicional de 100g foi coletada e utilizada para preparo do extrato aquoso e determinação do perfil microbiológico da silagem. Uma parte desse extrato foi coletado e armazenado em congelador a temperatura -20°C para análise de produtos de fermentação. Então, foi coletado 3 Kg de silagem de cada unidade experimental e colocado em baldes plásticos para ensaio de estabilidade aeróbia.

3.2.4. Análises químico-bromatológicas e microbiológicas

A determinação do teor absoluto de matéria seca (MS) foi realizada por secagem em estufa a 105°C durante 16 h (AOAC, 2000). As cinzas (MM) foram obtidas por combustão das amostras a 600°C durante 4 h (AOAC, 1997). A análise de proteína bruta (PB) foi realizada pelo método de combustão de Dumas (Leco 2000, Leco Instruments Inc). O extrato etéreo (EE) foi determinado pelo método de extração Soxhlet segundo AOAC (1997). A fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foram determinadas conforme o método de Van Soest et al. (1991) utilizando sulfito de sódio e α -amilase com base no método sequencial proposto pela ANKON Fiber Analyser e descrito por Holden (1999). A análise de carboidratos solúveis totais (CHOtt) foi realizada conforme metodologia descrita por Dubois et al. (1956). O teor de carboidratos não fibrosos (CNF) foi calculado como: $CNF = 100 - (FDN + PB + EE + Cinzas)$.

O teor de amido foi analisado pelo método químico no Dairy One Forage Laboratory, sendo que as amostras foram pré-extraídas para açúcar por incubação em banho-maria a 40°C e filtração em papel filtro Whatman 41. Os resíduos foram solubilizados termicamente usando uma autoclave, depois incubados com enzima glicoamilase para hidrolisar o amido para produzir dextrose (glicose). Amostras preparadas injetadas na câmara de amostras do YSI Analyzer, onde a dextrose se difunde para uma membrana contendo glicose oxidase. A dextrose foi imediatamente oxidada em peróxido de hidrogênio e D-glucono-4-lactona. O peróxido de hidrogênio foi detectado amperometricamente na superfície do eletrodo de platina. O fluxo de corrente no eletrodo foi diretamente proporcional à concentração de peróxido de hidrogênio e, portanto, à concentração de dextrose. O amido foi determinado pela multiplicação da dextrose por 0,9.

Outra sub-amostra foi congelada em freezer para posterior preparo do extrato aquoso e determinações do nitrogênio amoniacal (N-NH₃) conforme método colorimétrico descrito por Chaney e Marbach (1962), adaptado para uso em placas de microtúbulos e mensuração em colorímetro – Elisa Reader (absorbância de 550 nanômetros). A concentração de ácido láctico foi analisado por espectrometria com leitura em 565 nm de acordo com metodologia adaptada de Pryce (1969).

A partir de uma sub-amostra fresca de silagem foi preparado extrato aquoso por meio da adição de 225 g de água destilada estéril em 25 g de amostra fresca, que foi homogeneizada durante 4 minutos em homogeneizador de alimentos (Lab-Blender Stomacher®). Após agitação o extrato foi filtrado em compressa de gaze de algodão e realizadas diluições decimais sequenciais (10⁻¹ a 10⁻⁶) para quantificação de microrganismos por meio de plaqueamentos pour plate, em triplicata. A partir desse extrato foi feita a leitura de pH em potenciômetro digital. A contagem de bactérias do ácido láctico (BAL) foi realizada em meio de cultura MRS suplementado com antifúngico

natamicina (0,25 g/L), após incubação das placas sob anaerobiose a 32°C (estufa de incubação Biochemical Oxygen Demand (BOD) TE – 391 TECNAL) por 48 h. A contagem de leveduras (LEV) e fungos (FUNG) filamentosos foi obtida a partir do plaqueamento em ágar Malte acrescido de ácido lático na concentração de 0,5%, com incubação das placas em estufa de BOD a 28°C, por 48 h para leitura de leveduras e por 5 a 7 dias para leitura de fungos filamentosos. Após os respectivos tempos de incubação, realizou-se a contagem de microrganismos nas placas contendo mais de 10 e menos de 300 unidades formadoras de colônia (ufc) e expresso como logaritmo na base 10.

3.2.5. Ensaio de estabilidade aeróbia

A estabilidade aeróbia (EA) das silagens foi avaliada pelo controle de temperatura das silagens expostas ao ar conforme (Kung et al., 2000). Amostras de 3 kg das silagens de cada unidade experimental foram colocadas sem compactação em baldes plásticos sem tampa e mantidos em sala com dispositivo programado para manter a temperatura média de $25 \pm 1^\circ\text{C}$ por 240 horas. As temperaturas foram mensuradas a cada 30 minutos com o uso de sistema eletrônico de aquisição de dados modelo Novus Tag Temp inseridos no centro geométrico da massa em cada balde.

As variáveis analisadas a partir deste ensaio foram: estabilidade aeróbia, definida como o tempo que a silagem leva para atingir temperatura da massa superior a 2°C acima da temperatura ambiente; temperatura máxima (T_{max}) alcançada pela massa, em $^\circ\text{C}$; tempo em horas para atingir a temperatura máxima (HT_{max}); acúmulo de temperatura em 5 ($\Sigma 5\text{d}$) e 10 ($\Sigma 10\text{d}$) dias de exposição aeróbia.

3.2.6. Ensaio de degradabilidade *in situ*

Foi conduzido ensaio de degradabilidade *in situ* da MS, FDN e amido, a qual foi avaliada utilizando-se sacos de tecido náilon com poros de aproximadamente 50 μm , com medidas de 20 x 40 cm (macro-bag). Foram incubadas aproximadamente 50 g das amostras de silagem de milho (aproximadamente 20 g de MS) os quais foram acondicionados *in natura*, ou seja, sem prévia moagem ou secagem (Huntington e Givens, 1995).

Os sacos tiveram massa vazia (tara) anotada e a pesagem das amostras ocorreu um dia antes das incubações, em balança analítica, com precisão de duas casas decimais. Após a pesagem, os sacos foram fechados e amarrados com uma borracha elástica. Os sacos com as amostras frescas foram congelados e retirados duas horas antes do horário de incubação, para as amostras se estabilizarem com a temperatura ambiente.

No dia da incubação os sacos com anilha de metal, foram colocados em mosquetões, e estes foram fixados aos elos de uma corrente, de forma sequencial, sendo assim colocados no rúmen e a corrente fixada ao lado externo da cânula. As amostras foram colocadas e retiradas nos animais em dois tempos diferentes, devido quantidade de sacos, visando avaliar a degradabilidade *in situ* do amido e da FDN, com 12 e 30 h de incubação, respectivamente.

As amostras foram incubadas em duas vacas não lactantes (vacas secas), canuladas, com peso médio de 460 kg, para determinação da degradabilidade. Os animais foram alojados em um confinamento tipo freestall, com cama de areia, bebedouro e cochos individuais. As vacas receberam ração contendo silagem de milho, farelo de soja, milho moído e suplemento vitamínico-mineral. As rações eram fornecidas duas vezes ao dia (7:00 e 17:00 horas) em quantidade que permitisse 10% de sobras.

Foram incubados 72 sacos (macro-bag) por animal (3 híbridos x 2 estágios de maturidade x 3 tamanhos teóricos de corte x 4 repetições). Após a remoção do rúmen, os sacos foram imediatamente submersos em água com gelo (0°C) e, a seguir, lavados por cinco ciclos em máquina de lavar roupas. O excesso de água foi retirado manualmente por meio de compressão leve dos sacos, que foram secos em estufa de ventilação forçada a 55°C por 72 h. Após esse período foi realizada a pesagem dos sacos, a fim de determinar, por diferença, o desaparecimento percentual de MS das amostras em cada tempo de incubação.

A degradabilidade *in situ* da matéria seca (DEG_MS) foi calculada como:

$$DEG_MS (\%) = \frac{[MS_{inicial}(g) - MS_{residual}(g)]}{MS_{inicial}(g)} \times 100$$

Sendo:

DEG_MS = Degradabilidade *in situ* da matéria seca;

MS inicial = massa seca da amostra (g);

MS residual = massa seca residual (g).

Os resíduos obtidos das duplicatas (dois animais) foram moídos em moinho tipo Willey provido com peneira de 1 mm de diâmetro para as determinações químico-bromatológicas. Foram determinados os teores de FDN do resíduo conforme o método de Van Soest et al. (1991) utilizando sulfito de sódio e α -amilase com base no método sequencial proposto pela ANKON Fiber Analyser e descrito por Holden (1999). O teor de amido nos resíduos foi analisado no Dairy One Forage Laboratory, pelo método químico. Os resultados das determinações bromatológicas dos resíduos de FDN e amido foram utilizados para posterior cálculo de degradabilidade *in situ* do FDN (DEG_FDN) e degradabilidade *in situ* do amido (DEG_amido), conforme cálculos abaixo:

$$DEG_FDN (\%) = \frac{[FDN_{inicial}(g) - FDN_{residual}(g)]}{FDN_{inicial}(g)} \times 100$$

Sendo:

DEG_FDN = Degradabilidade *in situ* da fibra em detergente neutro;

FDN inicial = fibra em detergente neutro da amostra (g);

FDN residual = fibra em detergente neutro residual (g).

$$DEG_amido (\%) = \frac{[amido\ inicial(g) - amido\ residual(g)]}{amido\ inicial(g)} \times 100$$

Sendo:

DEG_amido = Degradabilidade *in situ* do amido;

amido inicial = amido da amostra (g);

amido residual = amido residual (g).

Após realizadas as análises de teor de amido das amostras de silagem e calculado a DEG_amido foi calculado o teor de amido degradável pela equação:

$$\text{Amido degradável} = \text{Teor de Amido} \times \text{Degradabilidade do Amido}$$

Tabela 1. Composição bromatológica da planta de milho na ensilagem (em g/kg de MS)

Item	Tratamentos																	
	AG 1051						LG 6030						LG 6036					
	1º corte			2º corte			1º corte			2º corte			1º corte			2º corte		
	3	5	7	3	5	7	3	5	7	3	5	7	3	5	7	3	5	7
MS	305	299	295	375	377	371	308	320	317	381	392	395	297	315	303	370	369	368
PB	90	101	95	93	90	87	76	76	72	84	90	80	89	86	98	87	86	84
FDN	475	496	511	400	437	488	481	469	470	464	426	424	467	464	508	426	452	443
FDA	272	273	301	220	256	290	260	252	245	257	232	239	271	270	310	249	269	267
EE	22	20	17	30	26	24	27	27	28	25	25	30	21	21	17	25	17	24
MM	34	37	36	29	32	32	31	32	30	28	30	30	36	39	40	34	29	32
CHOs	88	85	84	73	70	71	87	85	87	75	72	71	93	87	107	74	71	78
CNF	398	366	359	471	432	386	441	452	468	414	489	483	403	406	357	442	432	434
Amido	251	225	209	355	311	298	298	316	314	302	356	315	254	256	265	303	278	288
BAL, log ufc/g	8,8	8,8	8,8	9,0	9,0	9,0	9,1	9,1	9,1	8,6	8,6	8,6	9,0	9,0	9,0	9,1	9,1	9,1
LEV, log ufc/g	7,6	7,6	7,6	8,0	8,0	8,0	7,3	7,3	7,3	7,8	7,8	7,8	7,3	7,3	7,3	7,1	7,1	7,1

MS = matéria Seca; PB = proteína bruta; FDN = fibra em detergente neutro; FDA = fibra em detergente ácido; EE = extrato etéreo; MM = matéria mineral; CHOs = carboidrato solúvel; CNF = carboidrato não fibroso; BAL = bactéria ácido láctica; LEV = levedura; Híbridos (AG 1051, LG 6030, LG 6036); Maturidade (300 e 370 g/kg de MS); Tamanho teórico de corte (3 mm, 5 mm e 7 mm).

3.2.7. Análises estatísticas

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado e os dados analisados em esquema fatorial $3 \times 2 \times 3$ (3 híbridos de milho, 2 teores de MS das plantas ao corte e 3 tamanhos teóricos de corte) e 4 repetições. Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizados o PROC MIXED do SAS (2013) e as diferenças foram reportadas como significantes quando $P < 0,05$ e como tendência quando $P > 0,05$ e $P < 0,10$. As interações são apresentadas na tabela 5 e as médias foram representadas graficamente para as variáveis consideradas mais relevantes. O modelo estatístico foi:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + \delta_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

Sendo:

Y_{ijk} = observação Y em nível i do fator HÍBRIDO (H), nível j do fator MATURIDADE (M) e nível k do fator TAMANHO TEÓRICO DE CORTE (TTC)

μ = constante inerente a todas as parcelas

α_i = efeito do nível i do fator H

β_j = efeito do nível j do fator M

γ_k = efeito do nível k do fator TTC

$(\alpha\beta)_{ij}$ = efeito da interação entre fator H e M

$(\alpha\gamma)_{ik}$ = efeito da interação entre fator H e TTC

$(\beta\gamma)_{jk}$ = efeito da interação entre fator M e TTC

δ_{ijk} = efeito da interação entre fator H, M e TTC

ε_{ijk} = erro experimental

Para o ensaio de degradabilidade *in situ*, o delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, considerando os animais como os blocos e os dados analisados em esquema fatorial $3 \times 2 \times 3$ (3 híbridos de milho, 2 teores de MS das plantas ao corte e 3 tamanhos teóricos de corte). Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizados o PROC MIXED do SAS (2013) e as diferenças foram reportadas como significantes quando $p < 0,05$. O modelo estatístico foi:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + H_j + M_k + T_l + (HM)_{jk} + (HT)_{jl} + (MT)_{kl} + (HMT)_{jkl} + \varepsilon_{ijkl}$$

Sendo:

Y_{ijk} = observação Y em nível i do fator H, nível j do fator M e nível k do fator TTC

μ = média geral

B_i = efeito aleatório do bloco (i = 1 e 2)

H_j = efeito do nível i do fator H

M_k = efeito do nível j do fator M

T_l = efeito do nível k do fator TTC

$(HM)_{jk}$ = efeito da interação entre fator H e M

$(HT)_{jl}$ = efeito da interação entre fator H e TTC

$(MT)_{kl}$ = efeito da interação entre fator M e TTC

$(HMT)_{jkl}$ = efeito da interação entre fator H, M e TTC

ε_{ijkl} = erro experimental

3.3. Resultados

Na tabela 1, está apresentada a composição químico bromatológica da planta de milho de acordo com o híbrido, a maturidade e o TTC no momento da ensilagem. Como esperado o teor de MS dos híbridos aumentou com o avançar da maturidade da cultura, corroborando com Ferraretto et al. (2015). No entanto, o teor de matéria seca da planta fresca foi em média 306 e 377 g/kg para os tratamentos com 300 e 370 g/kg de MS. Os teores de MS e de amido na planta inteira aumentaram 0,53 pontos percentuais ao dia, assim como descrito pela literatura. A composição da forragem fresca esteve condizente com o teor de MS e apresentou concentrações adequadas de FDN, FDA e PB. A concentração média de amido de 254 e 308 g/kg da MS foi relativamente alta para as condições tropicais, mas condizente com o teor de MS e com o histórico agrônômico da cultura. No presente estudo o teor de CHOs diminuiu e o teor de amido aumentou com o avanço da maturidade. No entanto apresentaram valor de CHOs médio de 82 g/kg de MS, variando entre 70 e 107 g/kg de MS. Segundo Woolford (1984), os teores mínimos de CHOs indicados para uma boa fermentação devem estar na faixa de 80 a 100 g/kg de MS. Assim o teor de CHOs esteve dentro do recomendado. As contagens de BAL e LEV na planta fresca estão apresentadas na tabela 1, e apresentaram-se em média de 9,0 e 7,5 log ufc/g, respectivamente. A população de BAL é muito variável, podendo variar de 1 a 7 log ufc/g na planta fresca de milho. No entanto, contagens mais altas podem ser encontradas em clima quente (Pahlow et al., 2003).

Os *P*-valores das interações são apresentados na tabela 2. Os valores médios das variáveis no qual tiveram efeito e foram consideradas de maior importância, são apresentados em figuras. Nas tabelas 3, 4 e 5 são apresentados os efeitos isolados de híbridos, maturidade e TTC, respectivamente. Interação híbrido e maturidade foi observado ($P<0,01$; tabela 2) para os teores de MS, EE, MM, FDN, FDA, PB, N-NH₃, CNF e amido. Como esperado, o teor de MS das silagens aumentou ($P=0,02$) com o avanço da maturidade (figura 1). Anteriormente, a meta era silagens com 300 g/kg de MS e com 400 g/kg de MS, no entanto o obtido foi silagens de 303 g/kg de MS e de 367 g/kg de MS, respectivamente. A considerar a evolução de cerca de 0,5% pontos percentuais ao dia, e com o objetivo de alcançar 400 g/kg de MS, no caso da maturidade mais avançada a colheita poderia ter ocorrido 6 a 8 dias mais tarde em relação ao ocorrido. A composição da silagem de milho do atual experimento corrobora com experimento realizado por Pinho et al. (2016), no qual analisaram 1796 amostras comerciais de silagens de milho do Brasil e 25806 amostras comerciais de silagens de milho dos EUA, e encontraram valores médios de 500 g/kg de MS de FDN, 250 g/kg de MS de Amido, 69 g/kg de MS de PB, 34 g/kg de MS de EE e 33g/kg de MS de MM para silagens brasileiras e de 440 g/kg de MS de FDN, 320 g/kg de MS de Amido, 76 g/kg de MS de PB, 22 g/kg de MS de EE e 38g/kg de MS de MM para silagens americanas.

Figura 1. Interação entre maturidade e híbrido para teores de MS ($P=0,02$) das silagens. AG 1051, LG 6030, LG 6036 (Híbridos); 300 e 400 g/kg (teor de MS); EPM: erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

O avanço da maturidade (tabela 4) resultou em aumento do teor de EE ($P<0,01$), PB ($P<0,01$), N-NH₃ ($P<0,01$), amido ($P<0,01$); e diminuição o teor de FDN ($P=0,01$) e FDA ($P<0,01$). No entanto, não houve efeito de TTC (tabela 5) para amido ($P=0,55$), FDN ($P=0,26$), FDA ($P=0,66$), CHOtt ($P=0,52$).

Interações entre três fatores foram observadas para MM ($P<0,01$; dados não foram apresentados em figuras). O teor de MM variou entre 33 e 48 g/kg MS. Corroborando com Rosa et al. (2004) que encontraram teores de MM em torno de 36 g/kg de MS e com Berto et al. (1998) que encontraram valores similares, avaliando silagens de 34 unidades de produção leiteira no Rio Grande do Sul, que apresentaram teor médio de 35 g/kg de MS de MM. Não houve diferença para MM entre maturidade fisiológica ($P=0,98$; tabela 4).

Para a variável EE não houve interação entre TTC e tipo de híbrido ou maturidade (tabela 2). Interação híbrido e maturidade ($P<0,01$; dados não foram apresentados em figuras) ocorreu para EE, assim os híbridos LG 6036, LG 6030, e AG 1051 com 370 g/kg MS foram os que apresentaram maiores concentrações de EE, que os demais tratamentos.

Para a variável CHOtt, não houve interação entre os fatores como mostra a tabela 2, no entanto houve efeito isolado de híbrido ($P<0,01$). O teor de CHOtt variou entre 136 a 211 g/kg MS. Sendo que o híbrido LG 6036 apresentou em média menor teor de CHOtt (138 g/kg) que os demais. Os híbridos AG 1051 (193 g/kg) e LG 6030 (182g/kg) apresentaram em média teores estatisticamente iguais (EPM = 0,62; tabela 3).

Interação híbrido e maturidade ($P<0,01$) ocorreu para a variável CNF (tabela 2). O tratamento AG 1051 com 370 g/kg MS apresentou maior concentração de CNF do que os demais, exceto que o LG 6030 com 300 g/kg MS, que apresentaram mesmo teor de CNF. O AG 1051 com 300 g/kg MS apresentou a mesma concentração de CNF que o LG 6030 com 370 g/kg MS e o LG 6036 com 370 g/kg MS. O LG 6030 com 370 g/kg MS apresentou o mesmo teor de CNF que o LG 6030 com 300 g/kg MS e o AG 1051 com 300 g/kg MS. O LG 6036 com 370 g/kg MS apresentou a mesma concentração de CNF que o AG 1051 com 300 g/kg MS e o LG 6036 com 300 g/kg MS (figura 2).

Figura 2. Interação entre maturidade e híbrido para teor de CNF ($P<0,01$) das silagens. AG 1051, LG 6030, LG 6036 (Híbridos); 300 e 370 g/kg (teor de MS); EPM: erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 2. Análise estatística (*P*-valor) das interações entre híbrido (H), maturidade (M) e tamanho teórico de corte (TTC), na composição química, perfil microbiano, perfil fermentativo, estabilidade aeróbia, características físicas e degradabilidade *in situ* das silagens de milho planta inteira

Item	H x M	H x TTC	M x TTC	H x M x TTC
Composição química				
MS, g/kg MS	0,02	0,14	0,98	0,52
MM, g/kg MS	<0,01	0,46	0,70	<0,01
EE, g/kg MS	<0,01	0,60	0,48	0,12
PB, g/kg MS	<0,01	0,02	0,03	0,08
FDN, g/kg MS	<0,01	0,22	0,55	0,11
FDA, g/kg MS	<0,01	0,79	0,89	0,26
N-NH ₃ , g/kg N	0,02	<0,01	0,08	0,01
CNF, g/kg MS	<0,01	0,21	0,71	0,17
Amido, g/kg MS	<0,01	0,19	0,01	0,01
CHOtt, g/kg MS	0,24	0,76	0,19	0,81
PMS, g/kg MS	0,01	0,01	0,01	0,01
Perfil microbiano				
BAL, log ufc/g	0,01	0,02	0,05	0,09
LEV, log ufc/g	<0,01	<0,01	0,72	<0,01
Fungos, log ufc/g	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Perfil fermentativo				
Ácido láctico, % MS	0,01	0,41	0,11	0,34
pH	0,01	0,26	0,53	0,24
Estabilidade aeróbia				
EA, h	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Σ5d, °C	<0,01	0,16	<0,01	0,03
Σ10d, °C	0,82	0,77	0,04	0,91
Tmax, °C	<0,01	0,06	0,21	0,28
Htmax, h	<0,01	0,25	0,02	0,04
Partículas (Penn State), g/kg MS				
> 19 mm,	0,01	0,19	0,62	0,23
8 - 19 mm,	0,01	0,06	0,07	<0,01
1,18 - 8 mm,	0,03	0,66	<0,01	0,06
< 1,18 mm,	0,02	0,43	0,14	<0,01
TMP, mm	0,01	0,46	0,16	0,67
TMG, µm	0,16	<0,01	<0,01	0,02
KPS, g/kg	0,01	0,82	0,21	0,01
Grãos < 4,75, g/kg MS	0,01	<0,01	<0,01	0,01
Densidade Kg MO m ⁻³	<0,01	0,91	0,35	0,03
Degradabilidade <i>in situ</i>				
DEG12 - MS, %	0,73	0,01	0,05	0,01
DEG30 - MS, %	0,01	0,01	0,02	0,01
DEG30 - FDN, %	<0,01	0,49	0,04	0,01
DEG12 - Amido, %	0,71	0,05	0,02	0,66
Amido degradável, %	<0,01	0,01	<0,01	0,01

MS = matéria seca; PB = proteína bruta; N-NH₃ = Nitrogênio amoniacal; FDN = fibra em detergente neutro; FDA = fibra em detergente ácido; EE = extrato etéreo; MM = matéria mineral; CHOtt = carboidrato solúvel total; CNF = carboidrato não fibroso; BAL = bactéria ácido láctica; LEV = levedura; EA – estabilidade aeróbia; Σ5d – Acúmulo de temperatura durante cinco dias de exposição aeróbia; Σ10d – Acúmulo de temperatura durante dez dias de exposição aeróbia; Tmax– Temperatura máxima; HTmax– Horas para atingir a temperatura máxima; TMP = tamanho médio das partículas; TMG = tamanho médio dos grãos; KPS = *kernel processing score*; EPM = erro padrão da média.

Tabela 3. Efeito de híbrido na composição química, no perfil microbiano, perfil fermentativo, estabilidade aeróbia, características físicas e degradabilidade *in situ* nas silagens de milho planta inteira

Item	AG 1051	LG 6030	LG 6036	EPM	P-valor
Composição química					
MS, g/kg MS	318 ^b	336 ^a	318 ^b	3,94	0,01
MM, g/kg MS	36 ^c	40 ^b	46 ^a	0,58	<0,01
EE, g/kg MS	29	29	28	0,73	0,58
PB, g/kg MS	76 ^a	59 ^c	68 ^b	0,61	<0,01
FDN, g/kg MS	452 ^b	459 ^b	513 ^a	10,8	<0,01
FDA, g/kg MS	255 ^b	245 ^c	285 ^a	6,89	<0,01
N-NH ₃ , g/kg N	25 ^a	17 ^c	20 ^b	0,49	<0,01
CNF, g/kg MS	407 ^a	410 ^a	343 ^b	7,81	<0,01
Amido, g/kg MS	245 ^b	293 ^a	213 ^c	6,14	<0,01
CHOtt, g/kg MS	193 ^a	182 ^a	138 ^b	6,20	<0,01
PMS, g/kg MS	40 ^a	32 ^b	33 ^b	1,10	<0,01
Perfil microbiano					
BAL, log ufc/g	6	5,9	6,2	0,15	0,14
LEV, log ufc/g	4,5	4,3	4,4	0,10	0,20
Fungos, log ufc/g	3,4 ^b	4,5 ^a	4,6 ^a	0,11	<0,01
Perfil fermentativo					
Ácido láctico, % MS	4,4 ^a	3,2 ^c	3,9 ^b	0,11	<0,01
pH	4,2	4,1	4,1	0,04	0,68
Estabilidade aeróbia					
EA, h	39,2 ^b	57,6 ^a	38,7 ^b	1,86	<0,01
Σ5d, °C	38,6 ^a	31,1 ^b	43,3 ^a	1,69	0,01
Σ10d, °C	115,6 ^a	89,3 ^b	98,0 ^b	4,01	0,01
Tmax, °C	44,8 ^a	40,6 ^b	42,2 ^b	0,48	<0,01
Htmax, h	149,1 ^a	110,2 ^b	98,6 ^b	6,21	<0,01
Partículas (Penn State), g/kg MS					
> 19 mm	192 ^a	130 ^b	177 ^a	5,10	<0,01
8 - 19 mm	700 ^b	750 ^a	696 ^b	4,61	<0,01
1,18 - 8 mm	94 ^b	104 ^{ab}	110 ^a	3,14	0,01
< 1,18 mm	12 ^b	15 ^a	14 ^a	0,73	0,06
TMP, mm	13,3 ^a	12,4 ^c	12,9 ^b	0,08	<0,01
TMG, µm	3674 ^c	4556 ^a	3972 ^b	57,14	<0,01
KPS, g/kg	602 ^a	482 ^b	664 ^a	19,70	<0,01
Grãos < 4,75, g/kg MS	481 ^a	337 ^c	446 ^b	7,92	<0,01
Densidade Kg MO m ⁻³	644,5 ^a	609,3 ^b	620,8 ^b	4,69	<0,01
Degradabilidade <i>in situ</i>					
DEG12_MS, %	50,9 ^a	44,9 ^b	50,0 ^a	0,69	<0,01
DEG30_MS, %	59,9 ^a	54,9 ^b	58,6 ^a	0,63	<0,01
DEG30_FDN, %	46,8 ^b	44,3 ^b	50,7 ^a	1,10	0,01
DEG12_Amido, %	78,8 ^a	60,1 ^c	68,0 ^b	1,26	<0,01
Amido degradável, %	18,4 ^a	17,4 ^a	14,4 ^b	0,41	<0,01

MS = matéria Seca; PB = proteína bruta; N-NH₃ = Nitrogênio amoniacal; FDN = fibra em detergente neutro; FDA = fibra em detergente ácido; EE = extrato etéreo; MM = matéria mineral; CHOtt = carboidrato solúvel total; CNF = carboidrato não fibroso; BAL = bactéria ácido láctica; LEV = levedura; EA – estabilidade aeróbia; Σ5d – Acúmulo de temperatura durante cinco dias de exposição aeróbia; Σ10d – Acúmulo de temperatura durante dez dias de exposição aeróbia; Tmax– Temperatura máxima; HTmax– Horas para atingir a temperatura máxima; TMP = tamanho médio das partículas; TMG = tamanho médio dos grãos; KPS = *kernel processing score*; EPM = erro padrão da média.

^{a-c} Médias com letras diferentes na mesma linha diferem para $P < 0,05$ (tukey).

Tabela 4. Efeito de maturidade na composição química, no perfil microbiano, perfil fermentativo, estabilidade aeróbia, características físicas e degradabilidade *in situ* nas silagens de milho planta inteira

Item	300 g/kg de MS	370 g/kg de MS	EPM	P-valor
Composição química				
MS, g/kg MS	303	367	3,21	<0,01
MM, g/kg MS	41	41	0,67	0,98
EE, g/kg MS	26	31	0,59	<0,01
PB, g/kg MS	64	72	0,50	<0,01
FDN, g/kg MS	489	459	8,83	0,01
FDA, g/kg MS	272	245	5,63	<0,01
N-NH ₃ , g/kg N	14	27	0,40	<0,01
CNF, g/kg MS	378	395	6,37	0,05
Amido, g/kg MS	217	283	5,01	<0,01
CHOtt, g/kg MS	169	172	5,06	0,72
PMS, g/kg MS	44	26	0,90	<0,01
Perfil microbiano				
BAL, log ufc/g	5,7	6,3	0,11	0,01
LEV, log ufc/g	4,7	4,0	0,08	<0,01
Fungos, log ufc/g	4,3	4,1	0,09	0,12
Perfil fermentativo				
Ácido láctico, % MS	3,7	3,9	0,09	0,09
pH	4,1	4,1	0,03	0,58
Estabilidade aeróbia				
EA, h	39,9	50,4	1,49	<0,01
Σ5d, °C	38,5	36,9	1,41	0,42
Σ10d, °C	99,1	102,9	3,17	0,41
Tmax, °C	41,8	43,3	0,39	0,01
Htmax, h	126,1	112,5	4,99	0,07
Partículas (Penn State), g/kg MS				
> 19 mm,	147	186	4,16	<0,01
8 - 19 mm,	735	695	3,77	<0,01
1,18 - 8 mm,	105	101	2,56	0,28
< 1,18 mm,	11	17	0,60	<0,01
TMP, mm	12,7	13,0	0,07	0,01
TMG, µm	3605	4530	46,6	<0,01
KPS, g/kg	663	503	16,0	<0,01
Grãos < 4,75, g/kg MS	485	358	6,46	<0,01
Densidade Kg MO m ⁻³	632,3	614,3	3,83	0,01
Degradabilidade <i>in situ</i>				
DEG12_MS, %	49,9	47,3	0,56	0,01
DEG30_MS, %	59,2	56,4	0,51	0,01
DEG30_FDN, %	49,2	45,4	0,91	0,01
DEG12_Amido, %	74,8	63,0	1,03	<0,01
Amido degradável, %	15,9	17,6	0,33	0,01

MS = matéria Seca; PB = proteína bruta; N-NH₃ = Nitrogênio amoniacal; FDN = fibra em detergente neutro; FDA = fibra em detergente ácido; EE = extrato etéreo; MM = matéria mineral; CHOtt = carboidrato solúvel total; CNF = carboidrato não fibroso; BAL = bactéria ácido láctica; LEV = levedura; EA – estabilidade aeróbia; Σ5d – Acúmulo de temperatura durante cinco dias de exposição aeróbia; Σ10d – Acúmulo de temperatura durante dez dias de exposição aeróbia; Tmax– Temperatura máxima; HTmax– Horas para atingir a temperatura máxima; TMP = tamanho médio das partículas; TMG = tamanho médio dos grãos; KPS = *kernel processing score*; EPM = erro padrão da média.

Tabela 5. Efeito de tamanho teórico de corte (TTC) na composição química, no perfil microbiano, perfil fermentativo, estabilidade aeróbia, características físicas e degradabilidade *in situ* nas silagens de milho planta inteira

Item	3 mm	5 mm	7 mm	EPM	P-valor
Composição química					
MS, g/kg MS	320	330	325	3,94	0,23
MM, g/kg MS	43 ^a	39 ^b	40 ^b	0,82	0,01
EE, g/kg MS	30 ^a	28 ^{ab}	27 ^b	0,73	0,01
PB, g/kg MS	71 ^a	65 ^b	66 ^b	0,61	<0,01
FDN, g/kg MS	482	465	476	7,65	0,26
FDA, g/kg MS	261	255	260	4,87	0,66
N-NH ₃ , g/kg N	22 ^a	20 ^b	21 ^{ab}	0,49	0,01
CNF, g/kg MS	372 ^b	400 ^a	388 ^{ab}	7,81	0,05
Amido, g/kg MS	250	255	245	6,14	0,55
CH ₀ t, g/kg MS	174	173	165	6,2	0,52
PMS, g/kg MS	33	35	36	1,1	0,31
Perfil microbiano					
BAL, log ufc/g	6,07	6,14	5,99	0,15	0,78
LEV, log ufc/g	4,4	4,3	4,5	0,1	0,31
Fungos, log ufc/g	4,0 ^b	4,4 ^a	4,1 ^{ab}	0,11	0,03
Perfil fermentativo					
Ácido láctico, % MS	4,05	3,75	3,81	0,11	0,17
pH	4,16	4,13	4,23	0,04	0,28
Estabilidade aeróbia					
EA, h	48,9 ^a	48,8 ^a	37,8 ^b	1,89	0,01
Σ5d, °C	34,7 ^b	35,6 ^b	42,6 ^a	1,74	0,01
Σ10d, °C	103,1	96,9	103	4,12	0,47
Tmax, °C	42,3	42,5	42,8	0,5	0,77
Htmax, h	133,4 ^a	114,9 ^{ab}	109,6 ^b	6,41	0,02
Partículas (Penn State), g/kg MS					
> 19 mm,	135 ^b	176 ^a	190 ^a	5,1	<0,01
8 - 19 mm,	716	720	710	4,61	0,31
1,18 - 8 mm,	135 ^a	89 ^b	85 ^b	3,14	<0,01
< 1,18 mm,	15 ^a	12 ^b	14 ^a	0,73	0,06
TMP, mm	12,1 ^b	13,1 ^a	13,3 ^a	0,08	<0,01
TMG, µm	4033	4135	4035	57,1	0,35
KPS, g/kg	621	567	560	19,7	0,07
Grãos < 4,75, g/kg MS	427	401	429	7,92	0,17
Densidade Kg MO m ⁻³	635,3 ^a	633,1 ^a	606,0 ^b	4,69	<0,01
Degradabilidade <i>in situ</i>					
DEG12_MS, %	47,7 ^b	50,2 ^a	48,0 ^{ab}	0,69	0,02
DEG30_MS, %	59,4 ^a	58,2 ^a	55,8 ^b	0,63	0,01
DEG30_FDN, %	49,7 ^a	47,5 ^{ab}	44,5 ^b	1,11	0,01
DEG12_Amido, %	70,6	68,0	68,1	1,26	0,19
Amido degradável, %	17,2	16,8	16,2	0,41	0,24

MS = matéria seca; PB = proteína bruta; N-NH₃ = Nitrogênio amoniacal; FDN = fibra em detergente neutro; FDA = fibra em detergente ácido; EE = extrato etéreo; MM = matéria mineral; CH₀t = carboidrato solúvel total; CNF = carboidrato não fibroso; BAL = bactéria ácido láctica; LEV = levedura; EA – estabilidade aeróbia; Σ5d – Acúmulo de temperatura durante cinco dias de exposição aeróbia; Σ10d – Acúmulo de temperatura durante dez dias de exposição aeróbia; Tmax– Temperatura máxima; HTmax– Horas para atingir a temperatura máxima; TMP = tamanho médio das partículas; TMG = tamanho médio dos grãos; KPS = *kernel processing score*; EPM = erro padrão da média.

^{a-c} Médias com letras diferentes na mesma linha diferem para $P < 0,05$ (tukey).

Houve interação entre híbrido e maturidade ($P<0,01$; tabela 2; figura 3) e houve interação híbrido, maturidade e TTC ($P=0,01$; tabela 2; figura 23) para o teor de amido. As concentrações de amido são apresentadas na figura 3 e 23. Com o avanço da maturidade, houve aumento em média de 55% do teor de amido de todos os híbridos, exceto para o híbrido LG 6030 que manteve o mesmo teor de amido. Os tratamentos com híbridos AG 1051 com 370 g/kg MS e LG 6030 com 300 e 370 g/kg MS apresentaram mesma concentração de amido (figura 3). Houve interação entre maturidade e TTC ($P=0,01$; tabela 2) para teor de amido, no entanto não houve diferença ($P=0,55$) na concentração de amido para TTC (tabela 5). Assim houve aumento do teor de amido com o avanço da maturidade em média de 40 a 70 g/kg MS, mas não houve diferença no teor de amido para TTC dentro de cada híbrido em cada maturidade (figura 23). Assim como, o experimento de Weiss e Wyatt (2000) que não relataram diferença na concentração de amido entre silagem de milho processados (com rolo) e não processada (sem rolo). O teor de amido do atual experimento foi em média 250 g/kg MS variando de 139 a 325 g/kg MS. Dias Júnior et al. (2016) encontraram teores mais elevados de amido em média de 336 g/kg MS com um intervalo de 171 a 426 g/kg MS, para silagens com teor de MS variando de 255 a 471 g/kg de MS.

Figura 3. Interação entre maturidade e híbrido para teor de Amido ($P<0,01$) das silagens. AG 1051, LG 6030, LG 6036 (Híbridos); 300 e 370 g/kg (teor de MS); EPM: erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Houve interação híbrido e maturidade ($P<0,01$; tabela 2) para o teor de FDN e FDA, assim a interação é apresentada na figura 4. As concentrações de FDN e FDA das silagens não foram afetadas por TTC (tabela 5) e não foram encontradas interações entre TTC e tipo de híbrido ou maturidade (tabela 2). Com o avanço da maturidade houve uma redução dos teores de FDN (488 para 414 g/kg MS) e FDA (281 para 228 g/kg MS) para o híbrido AG 1051, no entanto para os demais híbridos não houve diferença. Os valores de FDN e FDA para silagem de milho devem variar de 480 a 580 g/kg de MS e 230 a 300 g/kg de MS, respectivamente (Vieira et al., 2013). Estes valores corroboram com os citados por Costa et al. (2000), que, analisando 12 cultivares de milho na EMBRAPA-CNPGL, encontraram variação de FDN entre 482 e 554 g/kg de MS e FDA entre 263 e 339 g/kg de MS. Nesse sentido a maioria dos híbridos avaliados no atual experimento apresentaram valores médios semelhantes aos descritos na literatura, com exceção do híbrido AG 1051 com 370 g/kg de MS que apresentou teor de FDN abaixo do encontrado na literatura.

Figura 4. Interação entre maturidade e híbrido para teores de FDN (A; $P < 0,01$) e FDA (B; $P < 0,01$) das silagens. AG 1051, LG 6030, LG 6036 (Híbridos); 300 e 370 g/kg (teor de MS); EPM: erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Foi observada interação híbrido e maturidade para $N-NH_3$ ($P=0,02$) e para PB ($P < 0,01$), e interação híbrido e TTC para $N-NH_3$ ($P < 0,01$) e para PB ($P=0,02$; tabela 2). O híbrido AG 1051 com 370 g/kg de MS apresentou maior teor de $N-NH_3$ do que os demais, no entanto o teor de $N-NH_3$ aumentou com avanço da maturidade para todos os híbridos (figura 5A). As silagens com híbridos AG 1051 com 370 g/kg MS e com 300 g/kg MS, apresentam maiores teores de PB do que os demais (figura 5B). O híbrido AG 1051 com 3, 5 e 7 mm e o híbrido LG 6036 com 3 mm apresentaram maiores teores de PB e de $N-NH_3$ do que os demais (figura 6). O presente estudo apresentou valores entre 9,7 e 36 g/kg de $N-NH_3$. O teor de PB aumentou com o avanço da maturidade para os híbridos LG 6030 e LG 6036 (figura 5B). O teor de PB foi em média 68 g/kg MS variando de 60 a 79 g/kg MS, estando dentro do padrão de normalidade que varia de 60 a 90 g/kg MS (Vieira et al., 2013). A variabilidade no teor de PB se dá de diferenças entre local e ano de cultivo e de pouca variação entre híbrido cultivado ao mesmo tempo (Zeoula et al., 2003). A PB da silagem depois de 90 dias de armazenamento foi menor com relação à planta de milho no momento da ensilagem (tabela 1).

Figura 5. Interação entre maturidade e híbrido para teores de N-NH₃(A; $P=0,02$) e PB (B; $P<0,01$) das silagens. AG 1051, LG 6030, LG 6036 (Híbridos); 300 e 370 g/kg (teor de MS); EPM: erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Figura 6. Interação entre TTC e híbrido para teores de N-NH₃(A; $P<0,01$) e PB (B; $P=0,02$) das silagens. AG 1051, LG 6030, LG 6036 (Híbridos); 3 mm, 5 mm e 7 mm (tamanho teórico de corte); EPM: erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Para PMS houve interação entre híbrido e maturidade ($P=0,01$; tabela 2), no qual o tratamento com híbrido AG 1051 com 300 g/kg de MS apresentou maiores PMS do que os demais (figura 7). Houve interação entre híbrido e TTC ($P=0,01$; tabela 2) e as médias são apresentadas na figura 8. Houve interação entre maturidade e TTC ($P=0,01$; tabela 2), e as médias são apresentadas na figura 9. No entanto, no atual experimento não houve efeito de TTC para PMS ($P=0,31$; tabela 5).

Figura 7. Interação entre híbrido e maturidade para PMS ($P=0,01$) nas silagens. AG 1051, LG 6030, LG 6036 (Híbridos); 300 e 370 g/kg (teor de MS); EPM: erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Figura 8. Interação entre híbrido e TTC para PMS ($P=0,01$) das silagens. AG 1051, LG 6030, LG 6036 (Híbridos); 3 mm, 5 mm e 7 mm (tamanho teórico de corte); EPM: erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Figura 9. Interação entre maturidade e TTC para PMS ($P=0,01$) das silagens.; 300 e 370 g/kg (teor de MS); 3 mm, 5 mm e 7 mm (tamanho teórico de corte); EPM: erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Houve interação entre híbrido e maturidade para BAL ($P=0,01$), LEV ($P<0,01$) e fungos ($P<0,01$; tabela 2). As médias da interação são apresentadas na figura 10. A população de BAL aumentou ($P=0,01$) apenas para o híbrido LG 6036 e de LEV diminuiu ($P<0,01$) para o híbrido AG 1051, com o avanço da maturidade fisiológica, variando de 5,7 para 6,9 log ufc/g e 5,2 para 4,0 log ufc/g entre os tratamentos, respectivamente (figura 10). Observa-se neste estudo que a população de BAL diminuiu com relação a planta no momento da ensilagem, sendo que no momento da ensilagem a média foi 8,09 log ufc/g (tabela 1) e após 90 dias de armazenamento foi 6,07 log ufc/g. Devido a maior quantificação de LEV nos tratamentos com 300 g/kg de MS, observou-se também maior PMS, e menor estabilidade aeróbia (tabela 4). Considerando-se que silagens com contagem de leveduras superior a 5,0 log ufc/g de silagem são altamente suscetíveis à deterioração (Woolford, 1972; Woolford, 1990), pode-se classificar as silagens avaliadas no presente experimento como menos suscetíveis a deterioração aeróbia. A população de fungos no presente estudo variou entre 0 a 5 log ufc/g entre os tratamentos. O híbrido LG 6030 com o avanço da maturidade reduziu a presença de fungos de 5,3 para 3,8 log ufc/g. A população média de fungos do atual experimento foi 5 log ufc/g, no entanto quando a contagem de fungos da silagem é superior a 5 log ufc/g (portanto, o fungo pode ser visível na silagem) as PMS são maiores de 20% (Borreani et al., 2018).

Figura 10. Interação entre maturidade e híbrido para teores de BAL (A; $P=0,01$), LEV (B; $P<0,01$) e FUNG (C; $P<0,01$) das silagens. AG 1051, LG 6030, LG 6036 (Híbridos); 300 e 370 g/kg (teor de MS); EPM: erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%

O pH apresentou interação entre híbrido e maturidade ($P=0,01$; tabela 2). O pH médio das silagens foi entre 3,98 e 4,32 após os 90 dias de armazenamento (figura 11A). Não houve efeito de híbrido ($P=0,68$; tabela 3), maturidade ($P=0,58$; tabela 4) e TTC ($P=0,28$; tabela 5) para pH.

Para ácido lático houve interação entre híbrido e maturidade ($P=0,01$; tabela 2). O ácido lático médio das silagens foi 4 % MS variando entre 2,2 e 5,2% MS. Os tratamentos com híbrido AG 1051 com 300 e 370 g/kg MS e LG 6036 com 300 e 370 g/kg MS apresentaram maiores teores de ácido lático do que o tratamento com híbrido LG 6030 com 300 g/kg MS (figura 11B). O tratamento com híbrido LG 6036 com 300 g/kg MS apresentou a mesma concentração de ácido lático que os tratamentos com híbrido LG 6036 com 370 g/kg MS, AG 1051 com 370 g/kg MS e LG 6030 com 370 g/kg MS (figura 11B).

Figura 11. Interação entre maturidade e híbrido para pH (A; $P=0,01$) e Ácido Lático (B; $P=0,01$) das silagens. AG 1051, LG 6030, LG 6036 (Híbridos); 300 e 370 g/kg (teor de MS). EPM: erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Houve interação entre híbrido, maturidade e TTC para EA ($P<0,01$) e para $\Sigma 5d$ ($P=0,03$; tabela 2). O maior ganho de EA foi alcançado atingindo um platô de 95 e 89 horas de EA, pelo tratamento LG 6030 com 400 g/kg MS a 3 e 5 mm, respectivamente. Os outros tratamentos tiveram similar estabilidade aeróbia. Os valores da EA foram consistentes com a temperatura acumulada em 5 dias, ou seja, quanto maior foi a EA menor foi o acúmulo de temperatura da silagem (figura 12).

Figura 12. Interação entre híbrido, maturidade e TTC para EA (A; $P < 0,01$) e $\Sigma 5d$ (B; $P = 0,03$) das silagens. AG 1051, LG 6030, LG 6036 (Híbridos); 300 e 370 g/kg (teor de MS); 3 mm, 5 mm e 7 mm (tamanho teórico de corte); EPM: erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

A Tmax e HTmax apresentaram interação híbrido e maturidade ($P < 0,01$; figura 14), e a $\Sigma 10d$ ($P = 0,04$) apresentaram interação maturidade e TTC (tabela 2). Para a variável Tmax o híbrido AG 1051 apresentou menor EA e a maior temperatura atingida, 45,24 e 44,43°C, para 300 e 370 g/kg de MS, respectivamente. Assim como o híbrido LG 6036 com 370 g/kg MS que apresentou Tmax de 44,55°C. Enquanto que os híbridos LG 6030 com 300 e 370 g/kg MS e LG 6036 com 370 g/kg MS, apresentaram Tmax de 40,37, 40,97 e 39,95 °C, respectivamente (figura 13). Para HTmax o tempo médio em horas para alcançar a temperatura máxima variou de 45 a 163,5 horas. O híbrido LG 6036 com 370 g/kg MS alcançou temperatura média máxima de 44,5°C com 55 horas, aumentando 0,8°C/hora. Enquanto que o AG 1051 com 370 g/kg MS alcançou temperatura média máxima de 44,43°C com 156,33 horas, aumentando 0,28°C/hora. E o híbrido LG 6030 com 370 g/kg MS 40,97°C com 125,94 horas, aumentando 0,32°C/hora. O híbrido AG 1051 com 300 e 370 g/kg MS, e o híbrido LG 6036 com 300 g/kg MS tiveram um menor aquecimento por hora (figura 13).

Figura 13. Interação entre maturidade e híbrido para T_{max} (A; $P < 0,01$) e HT_{max} (B; $P < 0,01$) das silagens. AG 1051, LG 6030, LG 6036 (Híbridos); 300 e 370 g/kg (teor de MS); EPM: erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Houve interação híbrido e maturidade para a porcentagem de partículas maiores que 19 mm ($P = 0,01$), entre 8 e 19 mm ($P = 0,01$), entre 1.18 e 8 mm ($P = 0,03$) e menores que 1.18 ($P = 0,02$; tabela 2). A distribuição das partículas >19 mm, 8 – 19 mm, 1.18 – 8 mm e <1,18 mm são apresentadas da figura 14. O tratamento com híbrido LG 6030 com 300 g/kg MS teve menos partículas retidas na peneira acima de 19 mm e na peneira menor do que 1.18 mm, e mais partículas na peneira entre 8-19 mm, em comparação aos outros tratamentos. O híbrido LG 6030 com 300 e 370 g/kg MS tiveram mais partículas retidas na peneira entre 8 e 19mm do que o AG 1051 com 370 g/kg MS e LG 6036 com 370 g/kg MS. Com o avanço da maturidade aumentou ($P < 0,01$) a quantidade de partículas grandes na peneira superior e de partículas menores na peneira menor que 1.18 mm, diminuiu ($P < 0,01$) a quantidade de partículas na peneira entre 8 - 19 mm e, conseqüentemente, diminuiu ($P = 0,01$) a densidade (tabela 4). No entanto, quando o TTC aumenta (5 e 7 mm), aumenta a quantidade de partículas retidas na peneira de 19mm, diminui a quantidade de partículas retidas na peneira entre 1.18 - 8 mm e diminui a densidade ($P < 0,01$; tabela 5). A porcentagem de partículas menores que 1,18 mm foi entre 10 e 30 g/kg para os tratamentos, estando abaixo de 50 g/kg como recomendação de Heinrichs e Kononoff (2002).

Figura 14. Interação entre maturidade e híbrido para porcentagem de partículas >19 mm (A; $P=0,01$), 8-19 mm (B; $P=0,01$), 1,18-8 mm (C; $P=0,03$) e <1,18mm (D; $P=0,02$), das silagens com diferentes tamanhos teóricos de corte. AG 1051, LG 6030, LG 6036 (Híbridos); 300 e 370 g/kg (teor de MS); EPM: erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Para as variáveis TMP, KPS, grãos < 4.75 mm e densidade houve interação entre maturidade e híbrido ($P=0,01$; tabela 2; figura 15). Ferraretto et al. (2015) analisando efeito do tempo de estocagem e adição de protease exógena na silagem de milho planta inteira de diferentes híbridos, maturidades e TTC, também observou que o TMP foi afetado pela maturidade e pelos híbridos e relatou um aumento no TMP com o aumento do TTC, e não apresentou efeito de TTC para KPS. O TMP variou de 11,66 a 13,95 mm (figura 15A). Os tratamentos que apresentaram menores TMP foram LG 6036 e LG 6030 com 300 g/kg MS e LG 6030 com 370 g/kg de MS. O KPS das amostras variou de 434 a 871 g/kg de MS (figura 15B). Corroborando com Salvati et al. (2017) no qual tiveram uma média de 662 g/kg MS e variaram de 495 a 826 g/kg de MS. O KPS dos híbridos AG 1051 e do LG 6036 diminuiu com o avanço da maturidade. A quantidade de grãos menores que 4.75 mm variou entre 296 e 517 g/kg de MS (figura 15C). Os tratamentos AG 1051 e LG 6036 com 300 g/kg de MS apresentaram maiores quantidades de grãos < 4.75 mm do que os demais. A porcentagem de grãos < 4.75 mm de todos os híbridos diminuiu com o

avanço da maturidade. A densidade média dos tratamentos variou entre 584 e 670 kg/m³ (figura 15D). No entanto o mínimo recomendado é de 705 kg/m³ (na base de uma porosidade inferior a 0,4; Holmes, 2009). Para a densidade calculada o híbrido AG 1051 com 300 g/kg de MS foi o que apresentou maior densidade, e o LG 6030 com 370 g/kg de MS.

Figura 15. Interação entre maturidade e híbrido para TMP (A; $P=0,01$), KPS (B; $P=0,01$), grãos < 4,75 (C; $P=0,01$) e densidade (D; $P<0,01$) das silagens. AG 1051, LG 6030, LG 6036 (Híbridos); 300 e 370 g/kg (teor de MS); EPM: erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Houve interação entre maturidade e TTC para TMG ($P=0,02$) e quantidade de grãos < 4,75 mm ($P=0,01$; tabela 2; figura 16). No entanto não houve efeito de TTC para a quantidade de grãos <4,75mm ($P=0,17$) e para TMG ($P=0,35$; tabela 5), assim reduzir ou aumentar TTC não influenciou no processamento do grão com 300 g/kg MS. Os tratamentos com 300 g/kg MS tiveram maior quantidade de grãos <4,75mm ($P<0,01$) e menor TMG ($P<0,01$) do que os tratamentos com 370 g/kg de MS (figura 16). Os tratamentos com 370 g/kg de MS com 3 e 5

mm tiveram menor quantidade de grãos < 4,75 mm do que o tratamento com 370 g/kg de MS com 7 mm, no entanto o TMG apresentou pequena diferença.

Figura 16. Interação entre maturidade e TTC para TMG (A; $P < 0,01$) e porcentagem de grãos (B; $P < 0,01$) que passaram pela peneira de 4,75 das silagens. AG 1051, LG 6030, LG 6036 (Híbridos); 300 e 370 g/kg (teor de MS); EPM: erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Para todas as variáveis da degradabilidade *in situ* não houve efeito de bloco, sendo o P-valor igual a 0,11; 0,21; 0,74 e 0,96 para DEG12_MS, DEG30_MS, DEG30_FDN e DEG_amido, respectivamente. Para a degradabilidade *in situ* da MS e FDN após 30h de incubação (DEG30_MS e DEG30_FDN) houve interação entre maturidade e híbrido (tabela 2; figura 17). O híbrido AG 1051 com 300 g/kg de MS apresentou maior DEG30_MS do que os demais. Os tratamentos AG 1051 com 300 g/kg de MS e LG 6036 com 300 e 370 g/kg de MS apresentaram maiores DEG30_FDN do que os demais tratamentos.

Figura 17. Interação entre maturidade e híbrido para DEG30_MS (A; $P=0,01$) e DEG30_FDN (B; $P<0,01$) das silagens. AG 1051, LG 6030, LG 6036 (Híbridos); 300 e 370 g/kg (teor de MS); EPM: erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Houve interação híbrido e TTC para a degradabilidade *in situ* da MS e do Amido (DEG12_MS e DEG12_Amido) após 12h de incubação e da MS após 30h de incubação (DEG30_MS) e para amido degradável ($P=0,01$; tabela 2; figura 18). A degradabilidade *in situ* da MS após 12 e 30h de incubação apresentaram incrementos em média de 49% e 55%, respectivamente. Corroborando com Johnson et al. (1999) que observou desaparecimento *in situ* da MS de: 50,4, 62,2 e 59,5%, respectivamente.

Figura 18. Interação entre híbrido e TTC para DEG12_MS (A; $P=0,01$), DEG30_MS (B; $P=0,01$), DEG12_Amido (C; $P=0,01$) e amido degradável (D; $P=0,01$) das silagens. AG 1051, LG 6030, LG 6036 (Híbridos); 3, 5 e 7 mm (tamanho teórico de corte); EPM: erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Para as variáveis DEG12_MS ($P=0,05$), DEG30_MS ($P=0,02$), DEG30_FDN ($P=0,04$) e DEG12_Amido ($P=0,02$) houve interação entre maturidade e TTC (tabela 2; figura 19). Embora diferenças tenham sido observadas entre os tratamentos, as diferenças foram numericamente pequenas para o TTC. O TTC a 3 mm apresentou maior degradabilidade e o TTC a 7mm foi o menos degradável, para os tratamentos com 300 g/kg MS. No entanto, para DEG30_FDN, o TTC a 3 mm (53 %) e a 5 mm (49 %) tiveram a mesma degradabilidade, mas 3 mm foi mais degradável do que o TTC a 7 mm (44 %). O desaparecimento da MS, FDN e Amido foram maiores quando foi incubada amostras com teor de MS de 300 g/kg de MS do que para silagem de milho com 370 g/kg MS para os tratamentos com TTC de 3 mm. Na silagem mais úmida, com a redução do TTC de 7 para 5 mm, aumentou em média 4% a degradação ruminal do amido, e de 5 para 3 mm, aumento em média 5% a degradação ruminal do amido (figura 19D). No entanto para a silagem mais seca, reduzir o TTC não afetou a degradação ruminal da MS,

FDN e Amido. Para a variável DEG12_Amido houve interação entre híbrido, maturidade e TTC ($P=0,01$; figura 23). Para os híbridos com 300 g/kg reduzir o TTC, aumentou a DEG12-Amido, mas para os híbridos com 370 g/kg MS reduzir o TTC não fez efeito sobre a DEG12-Amido (figura 23C).

Figura 19. Interação entre maturidade e TTC para DEG12_MS (A; $P=0,05$), DEG30_MS (B; $P=0,02$), DEG30_FDN (C; $P=0,04$) e DEG12_Amido (D; $P=0,02$) das silagens. 300 e 370 g/kg (teor de MS); 3 mm, 5 mm e 7 mm (tamanho teórico de corte); EPM: erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Para a variável amido degradável houve interação entre híbrido e maturidade ($P<0,01$; figura 20), interação entre maturidade e TTC ($P<0,01$; figura 21), e interação entre híbrido, maturidade e TTC ($P=0,01$; figura 23). Reduzir o TTC (de 7 mm para 5 ou 3 mm), é eficaz quando a planta é colhida com 300 g/kg de MS mas não é efetivo com 370 g/kg de MS (figura 21 e 23). No entanto o melhor resultado para colheita em maturidade mais avançada foi potencializado pelo uso do híbrido AG 1051 caracterizado pela empresa responsável como macio e

pelo LG 6036 caracterizado pela empresa responsável como duro. Pois os híbridos AG 1051 e LG 6036 apresentaram maior teor de amido degradável com 370 g/kg de MS, enquanto que o híbrido LG 6030 apresentou maior teor de amido degradável com 300 g/kg de MS (figura 20 e 23).

Figura 20. Interação entre híbrido e maturidade para Amido degradável ($P<0,01$) das silagens. AG 1051, LG 6030, LG 6036 (Híbridos); 300 e 370 g/kg (teor de MS); EPM: erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Figura 21. Interação entre maturidade e TTC para Amido degradável ($P<0,01$) das silagens. 300 e 370 g/kg (teor de MS); 3 mm, 5 mm e 7 mm (tamanho teórico de corte); EPM: erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Houve interação entre maturidade e híbrido para a variável vitreosidade ($P=0,01$) e os valores médios das vitreosidades são apresentados na figura 22. No 1º corte, com o teor de MS médio de 300 g/kg MS, o híbrido LG 6030 (considerado semidentado) foi mais vítreo em relação aos demais. Contudo os híbridos considerados com textura diferente, ou seja, dentado (AG 1051) e duro (LG 6036), apresentaram a mesma vitreosidade. No 2º corte, com teor de MS médio de 370 g/kg MS, os híbridos apresentaram vitreosidade próxima ao descrito pela empresa, ou seja, o híbrido LG 6036 (considerado duro) o mais vítreo, o LG 6030 (considerado semidentado) com a vitreosidade intermediária em relação aos demais e o AG 1051 (considerado dentado) com a menor vitreosidade. O híbrido AG 1051 também foi classificado como de textura farinácea por Lino (2014).

Figura 22. Interação entre híbrido e maturidade para vitreosidade ($P=0,01$) das silagens. AG 1051, LG 6030, LG 6036 (Híbridos); 300 e 370 g/kg (teor de MS); EPM: erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Figura 23. Interação entre híbrido, maturidade e TTC para teor de amido ($P=0,01$), DEG12-Amido ($P=0,01$) e Amido degradável das silagens. AG 1051, LG 6030, LG 6036 (Híbridos); 300 e 370 g/kg (teor de MS); 3 mm, 5 mm e 7 mm (tamanho teórico de corte); EPM: erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

3.4. Discussão

Ao avaliar o teor de MS constatou-se que o híbrido AG 1051 apresentou menor teor de MS em comparação aos demais (figura 1), e apresentou baixa vitreosidade (figura 22) apresentando assim alta porcentagem de endosperma farináceo. Isso acontece porque o endosperma farináceo possui uma estrutura celular menos compactada e espaços com ar entre os grânulos de amido, que são envoltos por uma fina e descontínua matriz protéica, permitindo que a umidade permaneça por mais tempo no endosperma (Pereira et al., 2004).

Quando ocorre aumento da maturidade fisiológica sob condições ambientais favoráveis, a mudança na composição bromatológica depende principalmente da extensão do desenvolvimento de grãos (Allen et al., 2003; Buxton e O'Kiely, 2003). Mudanças na composição física devem envolver diminuição na proporção de caule e folhas, e um aumento na proporção contribuída por grãos (Buxton e O'Kiely, 2003). Com o decorrer da maturidade da planta de milho o teor de CHOs (tabela 1) é reduzido em detrimento da deposição de amido no grão (Johnson et al., 2003). Ao contrário de outras forragens, na planta de milho o teor de FDN diminui (tabela 1 e figura 4A) até o limiar de 400 g/kg de MS (Arriola et al., 2017) devido a deposição de amido nos grãos caracterizando o efeito diluidor nos demais nutrientes (Bal et al., 1997). A variação no teor de amido (figura 3) presumivelmente reverbera diferenças na proporções relativas de grãos e frações de amostras afetadas pelo híbrido (Kennington et al., 2005) e condições de crescimento (Rooney e Pflugfelder, 1986; Philippeau e Michalet-Doreau, 1997). Os teores de FDN e FDA corroboram com Bal et al. (1997) que apresentou valores semelhantes para silagem de milho, 1/4 (444 e 271 g/kg) e 2/3 (405 e 239 g/kg) da linha do leite, respectivamente. Fernandez et al. (2004b) também observaram que o aumento do teor de MS (240 para 320 g/kg de MS), aumentou o teor de amido (de 250 para 310 g/kg de MS) e reduziu o teor de FDN e FDA (de 470 para 420 g/kg de MS e de 280 para 240 g/kg de MS, respectivamente). Contudo, conforme ocorre o avanço do estágio de maturação das plantas, as mudanças estão associadas ao desenvolvimento do grão, que provoca aumento do teor de MS e amido, assim como redução do teor de FDN (Johnson et al., 1999; Allen et al., 2003; Buxton e O'Kiely, 2003; Ferraretto et al., 2018).

A maturidade também pode influenciar o nível de proteólise, e existem evidências de que as taxas de proteólise diminuem com o aumento do teor de MS (Muck et al., 2003). Processos proteolíticos microbianos levam a alterações dos compostos nitrogenados em silagens (Kung et al., 2018). O fato do teor de PB ter diminuído com relação a planta fresca, pode estar relacionado à ocorrência de proteólise durante o período de fermentação e consequente elevação do teor de N-NH₃. A fermentação resulta em N-NH₃ (geralmente menor que 100–150 g/kg do N total) (Kung et al., 2018), sendo assim silagens de alta qualidade incluem entre outras características a baixa concentração de amônia. No entanto, no atual experimento as concentrações de N-NH₃ (figura 5 e 6) estavam abaixo do valor de 100 g/kg do N total. Efeito semelhante foi mostrado por Kim e Adesogan (2006) e esse efeito foi comparado com a redução da fermentação e redução da proteólise no silo (Brüning et al., 2017).

Houve maior PMS (figura 7) nos tratamentos com 300 g/kg de MS, pois a colheita de milho de planta inteira com maior teor de umidade leva a reações microbianas indesejáveis, o que diminui teor de CHOs em água, e aumenta a PMS (Muck, 1988). Os tratamentos com 300 g/kg de MS também apresentaram maiores concentrações originais de CHOs e segundo Muck et al. (2003) forragens ricas em carboidratos solúveis geralmente tem maiores perdas. No atual experimento reduzir o TTC nas plantas com 300 g/kg MS reduziu PMS (figura 9). Segundo Johnson et al. (1999), o processamento mecânico da silagem de milho pode melhorar as características de ensilagem e reduzir as PMS durante a ensilagem. As PMS, especialmente folhas, estão diretamente relacionadas ao conteúdo de MS da forragem no momento da ensilagem e ao meio de condicionamento (Borreani et al., 2018). A PMS, além

disso, pode ser afetada por outros fatores como, por exemplo, respiração e temperatura na ensilagem, no período de estocagem e na abertura. Antes da fase de fermentação ativa começar, o oxigênio preso na forragem permite que processos biológicos e químicos consumam nutrientes e energia, levando à produção de água, dióxido de carbono, calor e amônia livre (McAllister e Hristov, 2000). Assim, aumenta a temperatura da silagem e afeta negativamente a silagem, tanto em termos de perdas de MS quanto em perdas de qualidade (Holmes, 2006). É normal o aumento da temperatura até de 12°C na ensilagem em relação a temperatura na colheita (Adesogan e Newman, 2014). Ensilando em altas temperaturas ou em condições de chuva pode aumentar a taxa de perdas de MS (Weinberg et al., 2001; Ashbell et al., 2002). As perdas associadas à fermentação no silo são principalmente da produção de dióxido de carbono (Borreani et al., 2018). Rees (1982) relatou perdas de MS de 1,7% para cada aumento de 10 °C na temperatura em silos de escala de laboratório. Assim, o aumento das PMS está relacionada ao aumento da temperatura e, consequentemente, menor EA no silo.

Todas as silagens foram bem fermentadas, não mostraram sinais de deterioração e havia bom aspecto sensorial na abertura do silo. Durante a ensilagem, o ácido láctico produzido por BAL é geralmente o ácido encontrado em maior concentração nas silagens, e contribui mais para o declínio do pH durante a fermentação, porque é cerca de 10 a 12 vezes mais forte do que qualquer um dos outros ácidos principais encontrados em silagens (Kung et al., 2018). O ácido láctico é o primeiro produto da fermentação da silagem (McDonald et al., 1991) e o baixo pH do ácido láctico estabiliza a fermentação da silagem inibindo o crescimento de micróbios intolerantes a um pH baixo (3,7 a 4,0; Kung et al., 2018). De modo geral, os valores de pH (figura 11A) desse experimento podem ser considerados dentro da normalidade, de acordo com Kung e Shaver (2000) e McDonald et al. (1991) para silagens de milho, colhidas com teores de 350 a 400 g/kg de MS, pois nessa faixa há restrição da atividade de microrganismos indesejáveis, sendo suficiente para preservar o material ensilado (McDonald et al., 1991). Os teores de ácido láctico (figura 11B) observados nesse estudo corroboram com dados de (Kung et al., 2018) que apresentam como concentração ideal para silagem de milho planta inteira entre 3 e 6% MS. Os valores de pH (figura 11A) e as concentrações de ácido láctico (figura 11B) foram indicativos de fermentação desejável de silagem. Corroborando com Kung et al. (2018), que apresentou em sua revisão como concentrações comuns encontradas em silagens de milho (300 – 400 g/kg MS) com pH (3,7 – 4,0) e ácido láctico (2 – 6% MS).

A microbiota da silagem desempenha um papel importante para o processo de conservação da forragem ser bem sucedido. Esses microrganismos podem ser divididos em dois grupos: microrganismos desejáveis e os indesejáveis. Os desejáveis são as bactérias ácido lácticas e os indesejáveis são aqueles responsáveis por perdas no processo de conservação e que prejudicam a estabilidade da silagem após abertura (leveduras ou fungos, por exemplo) (Assis, 2013). A população microbiana de culturas forrageiras recém colhidas é consideravelmente diferente do encontrado durante o processo de fermentação da silagem ou do produto final, devido à inibição do pH baixo e aos produtos de fermentação que foram produzidos (Pahlow et al., 2003). Os resultados de BAL (tabela 1 e figura 10A) corroboram com Nishino et al. (2003) que constatou em seu estudo redução de BAL de 8,05 para 5,72 log ufc/g na silagem de milho armazenada por 60 dias. Com o tempo de estocagem ocorre acúmulo de ácidos orgânicos (ácido láctico e ácido acético) e a manutenção das condições ácidas da silagem inibe o crescimento de bactérias ácido lácticas. No atual experimento com o aumento da maturidade, houve maior contagem de BAL (figura 10A), menor contagem de LEV (figura 10B), e devido a isso maior EA (figura 12A). Pois as BAL são os principais microrganismos que atuam no processo fermentativo para a conservação da massa ensilada e as LEV são consideradas os microrganismos iniciadores de espoliação da silagem (McDonald et al., 1991). Então, um número menor de LEV presentes na silagem reduz o risco de deterioração aeróbia. As LEV podem utilizar açúcares e ácido

lático, competindo com as BAL no início do processo fermentativo, produzindo etanol (McDonald et al., 1991). Kung et al. (1998) publicaram a relação negativa $y = 315,4 - 45,7x$, $r = 0,79$, onde x é o número $\log_{10}$ total de LEV na silagem de milho e y são as horas previstas de estabilidade aeróbia. Esta equação prevê que a estabilidade aeróbica é zero quando há $\geq 6 \log_{10}$ ufc de LEV/g de silagem de milho para amostras nesse estudo; assim, boas silagens deve conter menos do que esse número de LEV/g de silagem úmida. Assim, essa redução é benéfica, pois LEV também contribuem para as PMS na forma de dióxido de carbono.

A recomendação geral para a distribuição do tamanho de partícula usando o conjunto de peneiras da Penn State baseia-se na porcentagem retida de MN em cada peneira. Sendo assim as principais frações que devem ser retidas nas peneiras de 8 e 1,18mm (450-650 e 300-400 g/kg, respectivamente), enquanto apenas cerca de 30-80 g/kg das partículas devem ser grandes (>19 mm), e menos de 50 g/kg devem ser muito finas ($<1,18$ mm) (Heinrichs e Kononoff, 2002). A maior maturidade dificulta a picagem da planta de milho, assim aumenta a proporção de partículas grandes na peneira superior e, conseqüentemente, diminui a densidade, porque as partículas maiores prejudicam a compactação. Corroborando com Cooke e Bernard (2005) e com Dias Júnior et al. (2015), que avaliaram silagem de milho com e sem processamento de grãos, e relataram que quando diminuiu o TTC, diminuiu a porcentagem de partículas retidas na peneira de 19mm. A porcentagem de partículas menores que 1,18mm, no presente estudo, esteve entre 10 e 30 g/kg para os tratamentos (figura 14D), estando abaixo de 50 g/kg como recomendação de (Heinrichs e Kononoff, 2002). Pois partículas muito pequenas possuem baixa efetividade física no rúmen, diminuindo a taxa de mastigação, ruminação e salivação pelo animal (Heinrichs e Kononoff, 2002). Podendo também aumentar a taxa de passagem pelo rúmen reduzindo a digestibilidade da silagem, pois não há tempo suficiente para ataque das bactérias sobre a forragem. Nossos resultados corroboram com Johnson et al. (2002), que avaliando processamento de silagem de milho planta inteira, verificou que o menor TTC resultou em proporção menor das partículas que permaneceram na peneira superior (partículas, > 19 mm) e uma maior proporção das partículas que permaneceram no meio (partículas, <19 e > 8 mm) e nas peneiras inferiores (partículas, <8 mm) do separador em comparação com silagens de milho TTC maior. Dias Júnior et al. (2015) reportaram que a redução do TTC de 8,5 mm para 3 mm, reduziu a porcentagem de partículas na peneira de crivo 19 mm (de 120 para 32 g/kg de MN), assim como a porcentagem de partículas retidas na peneira de crivo de 8 mm (de 714 para 619 g/kg de MN) e aumentou a porcentagem de partículas menores que 8 mm (de 166 para 348 g/kg de MN). Andrae et al. (2001) observaram que processamento físico diminuiu partículas grandes (> 19 mm) e aumentou partículas do tamanho médio (8 a 19 mm) e pequeno (<8 mm). No entanto, para o híbrido LG6030 não houve diferença nas proporções de partículas retidas nas peneiras (figura 14), com o avanço da maturidade. Isto ocorreu, pois o teor de amido (figura 3) e de fibra (figura 4) também não foi afetado com o avanço da maturidade do híbrido de 320 para 370 g/kg MS (figura 1). No experimento de Fernandez et al. (2004b), com 320 g/kg de MS o TTC a 12 mm apresentou maior TMP do que o TTC a 4,2 mm, porém com 240 g/kg de MS o TMP não foi afetado pelo TTC. No entanto no atual experimento avaliando TTC a 3, 5 e 7 mm, não houve interação entre maturidade e TTC para a variável TMP. A variação em TMP pode ser influenciado pela afiação das facas e distância entre a faca e a contra-faca (Shinners, 2003), distância entre os rolos processadores (Shinners, 2003), relação entre grãos e fração vegetativa (Ferreira e Mertens, 2005), híbrido (Johnson et al., 2002), processamento de grãos (Johnson et al., 1999; Ferreira e Mertens, 2005) e maturidade na colheita (Shinners et al., 2000; Johnson et al., 2002). A velocidade periférica dos rolos alimentadores em relação a velocidade da faca de corte e ao número de facas no rotor controlam o TTC (Shinners, 2003) e também afetam o TMP.

O endosperma nos grãos de milho é protegido pelo pericarpo, que é a primeira barreira a digestão do amido, sendo altamente resistente a fixação microbiana e digestão enzimática (McAllister et al., 1994); portanto, a quebra dos grãos de milho é necessária para melhorar a digestibilidade do amido (Ferraretto et al., 2018). Rolos de processamento são utilizados para quebrar os grãos de milho a um menor tamanho de partícula para garantir que o endosperma do amido seja exposto (Ferraretto et al., 2018). Assim quando se utiliza TTC a 8,5 mm com uma peneira para quebrar os grãos observaram-se menos grãos inteiros visíveis (44 g/500 g de forragem) do que quando se utilizou TTC a 3 mm (56 g/500 g de forragem) sem a peneira processadora de grãos (Dias Júnior et al., 2015). Porém ocorreu uma redução de grãos visíveis quando se utiliza TTC menor (3 mm) em comparação aos TTC maiores sem o uso de uma peneira quebradora de grãos (Dias Júnior et al., 2015). Shinnars et al. (2000) demonstraram que aumentando o TTC de 9,5 para 19 mm sem o uso de rolos de processamento, reduziu 100 g/kg a proporção de grãos quebrados (610 vs, 510 g/kg da massa total do grão, respectivamente), em média, em amostras de milho planta inteira colhidas entre um terço a três quartos da linha do leite. No atual experimento, o TMG para os tratamentos com 300 g/kg MS não houve diferença com TTC, mas para os tratamentos com 370 g/kg MS com TTC a 7mm houve redução de 10% no TMG em comparação aos demais TTC (figura 16). Os tratamentos com maior maturidade apresentaram TMG maior e menor proporção de grãos inferiores a 4,75 mm menor com relação aos tratamentos com menor teor de MS, pois a proporção de endosperma vítreo aumenta com o aumento do teor de MS (Philippeau e Michalet-Doreau, 1997; Johnson et al., 1999) e a maior dureza do grão faz com que os grãos mais secos sejam menos suscetíveis a quebrar durante o processamento na colheita (Ferraretto et al., 2018). No entanto estes tratamentos também apresentaram maiores quantidades de partículas na peneira maior que 19 mm (figura 14) e maior TMP (figura 15), ou seja, tiveram partículas maiores, o que pode ter causado também um efeito de acamamento podendo inibir a quebra dos grãos durante a passagem através das facas, assim apresentando grãos com tamanhos médios maiores.

O tamanho de partículas da fração grãos na silagem de planta inteira é importante porque pode influenciar a digestão amido (Dias Junior et al., 2016). Os grãos que passam pela peneira com crivo de 4,75 mm são geralmente menores que um quarto a um terço do grão inteiro (Ferreira e Mertens, 2005). Assim a proporção de grãos abaixo dessa peneira é um bom indicador da qualidade do processamento (Dias Junior et al., 2016). Outra variável também utilizada para avaliar o processamento é o KPS, que é a porcentagem de amido abaixo da peneira de crivo 4,75 mm, sendo assim, o processamento é considerado excelente (> 700 g/kg MS das amostras de amido passa pela peneira de 4,75mm), adequado (entre 500 e 700 g/kg MS das amostras de amido passa pela peneira de 4,75 mm) e processamento ruim (< 500 g/kg MS das amostras de amido passam pela peneira de 4,75 mm; Ferreira e Mertens, 2005). No presente experimento foi utilizado uma colhedora tracionada sem dispositivo processador de grãos, e neste caso, reduzir TTC não aumentou a porcentagem de grãos menores do que 4,75 mm para os tratamentos com 370 g/kg MS, e para os tratamentos com 300 g/kg MS não houve diferença entre os TTC (figura 16). No entanto, estudo realizado por Savoie (1997) relatou que quando se ajustou a distância entre os rolos para 6 mm, 970 g/kg MS dos grãos estavam rachados ou quebrados, comparado com 820 g/kg MS quando não houve ajuste de rolo do processador de grãos, e sugeriu que o processamento adequado poderia ser obtido quando com o ajuste do rolo entre 4 e 6 mm.

A DEG-MS foi maior para os tratamentos com 300 g/kg de MS (figura 17 e 19). Como a degradabilidade da MS está fortemente relacionada a degradabilidade do amido (Dias Junior et al., 2016), o pericarpo camada que envolve o endosperma é altamente resistente à fixação microbiana (McAllister et al., 1994) e provavelmente inibiu o desaparecimento da MS nos tratamentos com 370 g/kg de MS. O processamento do grão também aumenta a

degradação do material pela maior disponibilidade de nutrientes ao ataque microbiano, principalmente pela ruptura do pericarpo dos grãos que normalmente dificulta esta ação. Doggett et al. (1998) observaram que a degradação *in situ* da MS foi aumentada pelo processamento mecânico com uso de rolo processador de grãos. Bal et al. (2000a) também observaram maior desaparecimento *in situ* de 24 horas da MS e do amido de silagens de milho processadas com rolo para processamento dos grãos, mas não detectaram diferenças no desaparecimento da fibra devido ao processamento. O desaparecimento ruminal *in situ* de 24 horas de MS foi melhorado pelo processamento com rolo do grão e a média foi de 56,1% para silagem de milho planta inteira processada versus 51,5% para a silagem de milho planta inteira controle. Isso foi associado a um desaparecimento melhor do amido ruminal para a silagem de milho planta inteira com processador de grão (97,1%, em média, contra 77,6%; Bal et al., 2000a). No entanto no atual experimento não foi utilizado processador de grãos, mas a degradabilidade ruminal *in situ* MS foi melhorada pela redução do TTC nos tratamentos com 300 g/kg MS (figura 19), o que pode ser explicado pela efeito na redução do TMP (figura 15). Porém Bal et al. (2000a), Schwab et al. (2002) e Fernandez et al. (2004b) não observaram nenhum efeito de TTC para digestibilidade total de MS, o que foi relacionado a um tempo de retenção médio ruminal inalterado.

Considerando que a digestibilidade da parede celular tende a diminuir com o avanço da maturidade (Buxton e O'Kiely, 2003), os efeitos sobre a digestibilidade da planta inteira dependem da medida em que o conteúdo de amido pode compensar isso, um efeito que pode ser variável (Buxton e O'Kiely, 2003). Segundo Arriola et al. (2017) a digestibilidade de FDN também diminuiu com o aumento da maturidade. A diminuição da digestibilidade da FDN dos híbridos é presumivelmente o resultado do aumento da lignificação interferindo no acesso enzimático aos polissacarídeos da parede celular (Ostrander et al., 1999; Marita et al., 2003; Jung et al., 2012). Estratégias para melhorar a digestibilidade da FDN em silagens são muitas vezes relacionado a uma redução na lignina, seleção de híbridos, maturidade na colheita e tratamento com aditivos (Grant e Ferraretto, 2018). O processamento físico auxiliou no rompimento da barreira física à digestão de fibras e aumento da fixação bactérias, acesso a enzimas e fermentação da parede celular. As partículas maiores resultantes de TTC maior tem menor área de superfície sobre a qual microorganismos fibrolíticos se fixam, potencialmente podendo reduzir a degradabilidade da fibra.

Vários fatores, incluindo tipo de endosperma (Correa et al., 2002), maturidade (Johnson et al., 2002), e grau de processamento (Bal et al., 2000b) da planta de milho inteira, alteram a fragmentação de grãos e, assim, a digestibilidade do amido (Cooke e Bernard, 2005). Na ensilagem de milho, as condições de colheita, como a maturidade fisiológica alteram a fragmentação do grão e, conseqüentemente, afetam a degradabilidade do amido. A dureza é afetada pela concentração de umidade do grão, assim, os grãos de milho endurecem à medida que a planta de milho amadurece e se torna mais seca, com isso os grãos ficam duros e mais resistentes à digestão (Allen et al., 2003). Dados do atual experimento corroboram com a literatura (Philippeau e Michalet-Doreau, 1997; Shinnors et al., 2000; Johnson et al., 2003) assim o aumento da vitreosidade (dureza) com o avanço da maturidade (figura 22) reduz a degradação ruminal *in situ* do amido (figura 19). No experimento de Fernandez et al. (2004a) a colheita com 320 g/kg de MS e com TTC a 12 mm, reduziram a digestão de amido no trato total, no entanto não houve efeito de digestibilidade do amido entre TTC grosseiro (12 mm) e fino (4,2 mm) em cada estágio de maturidade. Bal et al. (2000a) e Schwab et al. (2002) também relataram que não houve efeito de TTC na digestibilidade total do amido. No entanto, no atual estudo além de efeito do TTC, a maturidade também afetou a DEG-Amido e como os tratamentos com 300 g/kg de MS apresentaram menor TMG, maior quantidade de grãos menores que 4.75 mm e maior KPS, conseqüentemente apresentou maior degradabilidade de amido do que os tratamentos com 370 g/kg de MS. No

entanto (Johnson et al., 2003) relataram que o processamento de silagem de milho não afetou a degradabilidade do amido no trato total em seus estudos, e sugeriu que essa falta de efeito poderia ter sido relacionado com as proporções semelhantes de grãos de milho intactos observados para silagens de milho processadas e não processadas. Estas observações mostram como é relevante descrever a eficácia da fragmentação do grão, dado que nem toda a silagem de milho processada (com dispositivos processadores) resulta em fragmentação completa dos grãos e nem todas as silagens de milho sem o processador resulta em fragmentação incompleta do grão (Johnson et al., 2003; Cooke e Bernard, 2005). A maior degradabilidade do amido no híbrido AG 1051 (figura 18), esta relacionada a baixa vitreosidade do grão de milho (figura 22), caracterizado pela empresa como dentado. Com o avanço da maturidade, ocorre aumento do teor de MS e redução na degradabilidade do amido independente da textura (figura 19), porém essa redução é mais acentuada nos híbridos LG 6030 e LG 6036 (figura 23), que possuem grãos mais vítreos com 370 g/kg MS (figura 22). Pois o aumento da vitreosidade está relacionado a redução da digestibilidade do amido no trato total (Correa et al., 2002). Corroborando com Philippeau e Michalet-Doreau (1997) que observaram que a degradabilidade ruminal de amido de grãos de milho foi maior para o milho dentado do que para o tipo duro.

No entanto, por meio das quantidades de amido degradável é possível avaliar se existe alguma vantagem do teor de amido aumentado colhendo a silagem de milho com maior teor de MS mesmo com menor degradabilidade do amido. Assim no atual experimento houve interação entre maturidade e TTC, entre híbrido e maturidade e entre híbrido e TTC (tabela 2). Mostrando que na colheita com 300 g/kg de MS a redução no TTC é mais eficaz do que na colheita com 370 g/kg de MS em maximizar a digestão do amido no rúmen. No entanto, para o os híbridos AG 1051 e LG 6036 ocorreu maior teor de amido degradável com maturidade mais avançada (370 g/kg de MS), e para o híbrido LG 6030 ocorreu maior teor de amido degradável com 300 g/kg MS. Isso pode ser explicado, pois o híbrido LG 6030 foi o mais vítreo (figura 22) e a vitreosidade está correlacionada negativamente com a degradação do amido (Correa et al., 2002). Assim, maior a vitreosidade, menor a degradabilidade do amido e com o avanço da maturidade aumentou a vitreosidade reduzindo ainda mais a degradabilidade do amido (figura 23), no entanto o teor de amido permaneceu o mesmo (figura 23), assim houve um melhor aproveitamento do amido para o híbrido LG 6030 com 300 g/kg MS (figura 20). Philippeau e Michalet-Doreau (1997) trabalhando com genótipos e estágios de maturação de milho na degradação ruminal *in situ* de amido, observaram que a vitreosidade do grão de milho aumenta com o avanço da maturidade e difere entre genótipos de milho. O híbrido AG 1051 é menos vítreo (figura 22) e caracterizado pela empresa como dentado, assim sendo, tem uma porcentagem maior do endosperma farináceo. No endosperma farináceo, grânulos de amido estão mais disponíveis para a digestão (Johnson et al., 1999). No endosperma vítreo, os grânulos de amido são cercados por proteína e estão circundados em uma matriz, que limita a digestão (Johnson et al., 1999). Pereira et al. (2004), avaliaram os efeitos de textura e estágio de maturidade sobre a degradabilidade ruminal de grãos de milho, e a degradação da MS em 24h foi 63,3% nos grãos dentados e 52,4% nos duros. E ressaltaram ainda que a utilização de híbridos dentados, comparativamente a híbridos duros, pode resultar em menor queda relativa na digestão ruminal de amido em situações de colheita tardia dos grãos. Contudo a vitreosidade do híbrido LG 6036 foi igual ao híbrido AG 1051 com 300 g/kg MS. Pois as diferenças de vitreosidade no ponto de silagem são menores, e nesta fase o conteúdo de prolamina é menor e a matriz protéica ainda não está totalmente formada (Carbonare, 2016). Sendo assim, no ponto de silagem, e em grãos fermentados, o impacto da vitreosidade é amenizado (Firkins, 2006). Contudo, como as silagens foram armazenadas por 90 dias, este tempo foi suficiente para que a matriz protéica dos híbridos fosse solubilizada e ocorresse uma boa degradação do amido para os todos os tratamentos, principalmente para os tratamentos com 370 g/kg MS (figura 23).

Corroborando com Der Bedrosian et al. (2012), que mostrou que após 90 dias a degradabilidade do amido aumentou em todos os híbridos e em diferentes teores de MS.

Os resultados da vitreosidade que as empresas divulgam nem sempre vai de encontro com o que é feito em pesquisa. No estudo realizado por Carbonare (2016) avaliando 14 genótipos de milho, observaram vitreosidade do grão de alguns genótipos diferente do relatado por algumas empresas. Visto que a principal produção brasileira é o mercado de grãos, acredita-se que a vitreosidade é feita pelas empresas com grãos mais secos. Outra maneira de classificação da textura dos grãos realizada por algumas empresas produtoras de sementes é a classificação por meio de escore de indentação considerando o aspecto visual (Davide, 2009). Ou seja, grãos sem indentação é caracterizado como grão duro e grão com indentação profunda é caracterizado como grão dentado. No entanto, nem todo grão com indentação é considerado de endosperma dentado, isso vai depender da porcentagem de endosperma vítreo e de endosperma farináceo (Correa et al., 2002). Contudo, é escassa nas empresas a informação da textura do grão no ponto de ensilagem, assim nem sempre a textura que vem na embalagem é a textura para produção de silagem.

3.5. Conclusões

A maturidade na colheita teve maior efeito sobre a composição dos nutrientes, a população microbiana, PMS, estabilidade aeróbia e degradabilidade da silagem de planta de milho inteira do que o tamanho teórico de corte. Sendo assim, a estratégia de reduzir o tamanho de corte com colhedora (sem processador de grãos) para maximizar o processamento de grãos é eficaz quando a planta é colhida com 300 g/kg de MS, mas não é efetivo com 370 g/kg de MS. Assim, de acordo com os dados apresentados nesse trabalho se a planta avançar além da maturidade ideal de colheita (300 a 350 g/kg de MS) e utilizar colhedora acoplada ao trator sem processador de grãos, reduzir o tamanho teórico de corte não irá melhorar o processamento dos grãos.

A degradabilidade *in situ* de MS, FDN e Amido, e o teor de amido degradável foram afetados principalmente pelo tipo de híbrido e maturidade. O Híbrido LG 6030 se mostrou o mais duro e precoce, assim a sua colheita com 300 g/kg de MS foi mais eficiente e com redução do TTC para 3 ou 5 mm teve melhor aproveitamento do amido degradável. Os híbridos AG 1051 e LG 6036 se mostraram mais tardios, assim com 370 g/kg de MS foram mais eficientes, no entanto nessa maturidade a redução do TTC não afetou o aproveitamento do amido degradável. O tamanho teórico de corte da forragem e a maturidade da planta na colheita constituem estratégias efetivas em refinar as recomendações para ensilagem de híbridos de milho diferentes.

Referências

- Adesogan, A.T., e Y.C. Newman. 2014. Silage harvesting, storing and feeding. IFAS Extension, University of Florida, Gainesville.
- Allen, M.S., J.G. Coors, e G.W. Roth. 2003. Com silage. Pages 547–608 in Silage Science and Technology. D. R. Buxton, R. E. Muck, and H. J. Harrison, ed. ASA, CSA, and SSSA, Madison, WI.
- Andrae, J.G., C.W. Hunt, G.T. Pritchard, L.R. Kennington, J.H. Harrison, W. Kezar, e W. Mahanna. 2001. Effect of hybrid , maturity , and mechanical processing of corn silage on intake and digestibility by beef cattle The online version of this article , along with updated information and services , is located on the World Wide Web at : Effect of hybrid , m. Journal of Animal Science 79:2268–2275. doi:10.1590/S0042-96862001000500021.
- AOAC. 1997. Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemists International, 16th ed. Washington, USA.

- AOAC. 2000. Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemists International. 17th ed. Gaithersburg, USA.
- Arriola, K.G., R.M. Martins, T.F. Bernardes, L. Leyton, Z.X. Ma, e I.M. Ogunade. 2017. Effects of maturity at harvest on the nutritional value, yield and milk production potential of corn hybrids planted under tropical/subtropical conditions. *Journal of Dairy Science* (abstract) 1.
- Ashbell, G., Z.G. Weinberg, Y. Hen, e I. Filya. 2002. The effects of temperature on the aerobic stability of wheat and corn silages. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 28:261–263. doi:10.1038/sj.jim.7000237.
- Assis, F.G. do V. 2013. Efeito de novos inoculantes na fermentação de silagens de milho. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG.
- Baker, S., e T. Herrman. 2002. Evaluating particle size. Department of Grain Science and Industry. Manhattan, KS.
- Bal, M.A., J.G. Coors, e R.D. Shaver. 1997. Impact of the maturity of corn for use as silage in the diets of dairy cows on intake, digestion, and milk production. *Journal of Dairy Science* 80:2497–2503. doi:10.3168/jds.S0022-0302(97)76202-7.
- Bal, M.A., R.D. Shaver, A.G. Jirovec, K.J. Shinnors, e J.G. Coors. 2000a. Crop processing and chop length of corn silage: effects on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *Journal of Dairy Science* 83:1264–1273. doi:10.3168/jds.S0022-0302(00)74993-9.
- Bal, M.A., R.D. Shaver, K.J. Shinnors, J.G. Coors, J.G. Lauer, R.J. Straub, e R.G. Koegel. 2000b. Stage of maturity, processing, and hybrid effects on ruminal *in situ* disappearance of whole-plant corn silage. *Animal Feed Science and Technology* 86:83–94. doi:10.1016/S0377-8401(00)00163-2.
- Bernardes, T.F., I.Q. Carvalho, e A.C. Silva. 2012. A snaps hot of maize silage quality on dairy farms in South Brazil. Proc. 16th Int. Silage Conf. MTT Agrifood Research Finland and University of Helsinki, Hämeenlinna, Finland 322–323.
- Bernardes, T.F., e A.C. do Rêgo. 2014. Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. *Journal of Dairy Science* 97:1852–1861. doi:10.3168/jds.2013-7181.
- Berto, J.L.; Mühlbach, P.R.F.; Santos, A.C. 1998. Qualidade da silagem de milho em unidades de produção de leite no Rio Grande do Sul. In: Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, 35p. Botucatu. Anais... Botucatu: Sociedade Brasileira de Zootecnia, p.206-208.
- Borreani, G., E. Tabacco, R.J. Schmidt, B.J. Holmes, e R.E. Muck. 2018. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science* 101:3952–3979. doi:10.3168/jds.2017-13837.
- Brüning, D., K. Gerlach, K. Weiß, e K.H. Südekum. 2017. Effect of compaction, delayed sealing and aerobic exposure on maize silage quality and on formation of volatile organic compounds. *Grass and Forage Science* 73:53–66. doi:10.1111/gfs.12288.
- Buxton, D.R., e P. O'Kiely. 2003. Preharvest plant factors affecting ensiling. Pages 199–250 in *Silage Science and Technology*. D. R. Buxton, R. E. Muck, and H. J. Harrison, ed. ASA, CSA, and SSSA, Madison, WI. doi:10.2134/agronmonogr42.c5.
- Carbonare, M.S.D. 2016. Degradabilidade de grãos de milho de diferentes texturas em dois estádios de maturação. Dissertação (Mestre em Zootecnia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR.
- Chaney, A.L., e E.P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinical chemistry* 8:130–132. doi:10.1021/AC60252A045.
- Cooke, K.M., e J.K. Bernard. 2005. Effect of length of cut and kernel processing on use of corn silage by lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 88:310–316. doi:10.3168/jds.S0022-0302(05)72689-8.

- Correa, C.E.S., R.D. Shaver, M.N. Pereira, J.G. Lauer, e K. Kohn. 2002. Relationship between corn vitreousness and ruminal *in situ* starch degradability. *Journal of Dairy Science* 85:3008–3012. doi:10.3168/jds.S0022-0302(02)74386-5.
- Costa, R.S.; Gonçalves, L.C.; Rodrigues, J.A.S. et al. 2000. Composição química da planta verde e das silagens de doze cultivares de milho. In: Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, 37p. Viçosa, MG. Anais... Viçosa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, p.56.
- Davide, L.M.C. Controle genético de caracteres associados a dureza dos grãos e à degradabilidade ruminal de milho tropicais. 2009. 98f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- Der Bedrosian, M.C., K.E. Nestor, e L. Kung. 2012. The effects of hybrid, maturity, and length of storage on the composition and nutritive value of corn silage. *Journal of Dairy Science* 95:5115–5126. doi:10.3168/jds.2011-4833.
- Dias Junior, G.S., L.F. Ferraretto, G.G.S. Salvati, L.C. de Resende, P.C. Hoffman, M.N. Pereira, e R.D. Shaver. 2016. Relationship between processing score and kernel-fraction particle size in whole-plant corn silage. *Journal of Dairy Science* 99:2719–2729. doi:10.3168/jds.2015-10411.
- Dias Júnior, G.S., N.N. Morais Júnior, R.F. Lima, F.F. Cardoso, O.F. Zacaroni, R.A.N. Pereira, e M.N. Pereira. 2015. Effect of kernel processor and theoretical length of cut on physical characteristics of forage corn harvested with one row harvester. *Journal of Dairy Science* 98(Suppl.2).
- Doggett, C.G., C.W. Hunt, J.G. Andrae, G.T. Pritchard, W. Kezar, e J.H. Harrison. 1998. Effect of hybrid and processing on digestive characteristics of corn silage. *Journal of Animal Science* (Abstract) 76(Suppl.1).
- Dubois, M., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers, e F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* 28:350–356. doi:10.1021/ac60111a017.
- Factori, M.A., C. Costa, P.R. de L. Meirelles, K. Oliveira, L.A. Rosales, G.J. Moraes, e H.C. Gonçalves. 2008. Degradabilidade ruminal de híbridos de milho em função do estágio de colheita e processamento na ensilagem. *Boletim de Indústria Animal* 65:259–273.
- Fernandez, I., C. Martin, e M. Champion. 2004a. Effect of corn hybrid and chop length of whole-plant corn silage on digestion and intake by dairy cows. *Journal of Dairy Science* 87:1298–1309. doi:10.3168/jds.S0022-0302(04)73279-8.
- Fernandez, I., P. Nozière, e B. Michalet-Doreau. 2004b. Site and extent of starch digestion of whole-plant maize silages differing in maturity stage and chop length, in dairy cows. *Livestock Production Science* 89:147–157. doi:10.1016/j.livprodsci.2004.02.011.
- Ferraretto, L.F., P.M. Crump, e R.D. Shaver. 2015. Effect of ensiling time and exogenous protease addition to whole-plant corn silage of various hybrids, maturities, and chop lengths on nitrogen fractions and ruminal *in vitro* starch digestibility. *Journal of Dairy Science* 98:8869–8881. doi:10.3168/jds.2015-9511.
- Ferraretto, L.F., R.D. Shaver, e B.D. Luck. 2018. Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. *Journal of Dairy Science* 101:3937–3951. doi:10.3168/jds.2017-13728.
- Ferreira, G., e D.R. Mertens. 2005. Chemical and physical characteristics of corn silages and their effects on *in vitro* disappearance. *Journal of dairy science* 88:4414–4425. doi:10.3168/jds.S0022-0302(05)73128-3.
- Firkins, J.L. Starch digestibility of corn – Silage and grain. In: Tri-State Dairy Nutrition Conference, 2006, Campinas. Proceedings..., 2006.

- Grant, R.J., e L.F. Ferraretto. 2018. Silage review: Silage feeding management: Silage characteristics and dairy cow feeding behavior. *Journal of Dairy Science* 101:4111–4121. doi:10.3168/jds.2017-13729.
- Heinrichs, J., e P. Kononoff. 2002. Evaluating particle size of forages and TMRs using the New Penn State Forage Particle Separator. *College of Agricultural Sciences DAS* 02-42:1–14.
- Holden, L.A. 1999. Comparison of methods of *in vitro* dry matter digestibility for ten feeds. *Journal of Dairy Science* 82:1791–1794. doi:10.3168/jds.S0022-0302(99)75409-3.
- Holmes, B.J. 2006. Density in silage storage. Silage for dairy farms: growing, harvesting, storing and feeding conference proceedings (nraes-181), natural resource. Agriculture and Engineering Service, Ithaca, NY.
- Holmes, B. J. 2009. Software applications for sizing silos to maximize silage quality. Pages 189–208 in *Proc. Intl. Symp. Forage Qual. Conserv.*, Piracicaba, Brazil. University of São Paulo, Piracicaba, Brazil.
- Huntington, J.A., e D.I. Givens. 1995. The *in situ* technique for studying the rumen degradation of feeds: a review of the procedure. *Nutricional Abstracts and Reviews* 65:63–93.
- Jobim, C.C., L.G. Nussio, R.A. Reis, e P. Schmidt. 2007. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *Revista Brasileira de Zootecnia* 36:101–119. doi:10.1590/S1516-35982007001000013.
- Johnson, L., J.H. Harrison, C. Hunt, K. Shinnors, C.G. Doggett, e D. Sapienza. 1999. Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing: a contemporary review. *Journal of Dairy Science* 82:2813–2825. doi:10.3168/jds.S0022-0302(99)75540-2.
- Johnson, L.M., J.H. Harrison, D. Davidson, W.C. Mahanna, e K. Shinnors. 2003a. Corn silage management: effects of hybrid, chop length, and mechanical processing on digestion and energy content. *Journal of Dairy Science* 86:208–231. doi:10.3168/jds.S0022-0302(03)73601-7.
- Johnson, L.M., J.H. Harrison, D. Davidson, W.C. Mahanna, e K. Shinnors. 2003b. Corn silage management: effects of hybrid, maturity, inoculation, and mechanical processing on fermentation characteristics. *Journal of Dairy Science* 86:287–308. doi:10.3168/jds.S0022-0302(03)73607-8.
- Johnson, L.M., J.H. Harrison, D. Davidson, J.L. Robutti, M. Swift, W.C. Mahanna, e K. Shinnors. 2002. Corn silage management i: effects of hybrid, maturity, and mechanical processing on chemical and physical characteristics. *Journal of Dairy Science* 85:833–853. doi:10.3168/jds.S0022-0302(02)74143-X.
- Jung, H.J., D.A. Samac, e G. Sarath. 2012. Modifying crops to increase cell wall digestibility. *Plant Science* 185:65–77.
- Junges, Daniel. Tempo de armazenamento e manejo do painel no valor nutritivo de silagens de milho. 2014. 149f. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Universidade de São Paulo/Escola Superior de Agricultura “Luiz De Queiroz”, Piracicaba-SP.
- Kennington, L.R., C.W. Hunt, J.I. Szasz, A. V. Grove, e W. Kezar. 2005. Effect of cutting height and genetics on composition, intake, and digestibility of corn silage by beef heifers. *Journal of Animal Science* 83:1445–1454. doi:10.2527/2005.8361445x.
- Kim, S.C., e A.T. Adesogan. 2006. Influence of ensiling temperature, simulated rainfall, and delayed sealing on fermentation characteristics and aerobic stability of corn silage. *Journal of Dairy Science* 89:3122–3132. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72586-3.
- Kononoff, P.J., A.J. Heinrichs, e D.R. Buckmaster. 2003. Modification of the penn state forage and total mixed ration particle separator and the effects of moisture content on its measurements. *Journal of Dairy Science* 86:1858–1863. doi:10.3168/jds.S0022-0302(03)73773-4.

- Kung, L., J.R. Robinson, N.K. Ranjit, J.H. Chen, C.M. Golt, e J.D. Pesek. 2000. Microbial populations, fermentation end-products, and aerobic stability of corn silage treated with ammonia or a propionic acid-based preservative. *Journal of Dairy Science* 83:1479–1486. doi:10.3168/jds.S0022-0302(00)75020-X.
- Kung, L., R.D. Shaver, R.J. Grant, e R.J. Schmidt. 2018. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science* 101:4020–4033. doi:10.3168/jds.2017-13909.
- Kung, L.J. 2008. Harvest, preservation and feeding high corn silage rations. Proceedings...10th annual meeting, dairy nutritional strategies to meet economic and environmental challenges. Intermountain nutrition conference. Publication No 204 of the Utah Agricultural Experiment Station Utah State University, Logan.
- Kung, L.J., e R. Shaver. 2000. Interpretation and use of silage fermentation analysis report. Madison 3:p.5.
- Kung, L.J., A.C. Sheperd, A.M. Smagala, K.M. Endres, C.A. Bessett, N.K. Ranjit, e L.J. Glancey. 1998. The effect of preservatives based on propionic acid on the fermentation and aerobic stability of corn silage and a total mixed ration. *Journal of Dairy Science* 81:1322–1330.
- Lino, F.A. Características físicas, químicas e degradação ruminal de grãos de milho. 2014. 35 F. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia - GO.
- Marita, J.M., W. Vermerris, J. Ralph, e R.D. Hatfield. 2003. Variations in the cell wall composition of maize brown midrib mutants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51:1313–1321. doi:10.1021/jf0260592.
- McAllister, T.A., H.D. Bae, G.A. Jones, e K. Cheng. 1994. Microbial attachment and feed digestion in the rumen. *Journal of Animal Science* 72:3004–3018.
- McAllister, T.A., e A.N. Hristov. 2000. The fundamentals of making good quality silage. *Adv. Dairy Technol* 12:381–399.
- Mcdonald, P., A.R. Henderson, e S.J.E. Heron. 1991. The biochemistry of silage. 2nded, Marlow: Chalcombe Publication. p.340.
- Muck, R.E. 1988. Factors Influencing Silage Quality and Their Implications for Management. *Journal of Dairy Science* 71:2992–3002. doi:10.3168/jds.S0022-0302(88)79897-5.
- Muck, R.E., L.E. Moser, e R.E. Pitt. 2003. Postharvest factors affecting ensiling. Pages 251–304 in *Silage Science and Technology*. D. R. Buxton, R. E. Muck, and H. J. Harrison, ed. ASA, CSA, and SSSA, Madison, WI. doi:10.2134/agronmonogr42.c6.d
- Nishino, N., M. Yoshida, H. Shiota, e E. Sakaguchi. 2003. Accumulation of 1,2 propanediol and enhancement of aerobic stability in whole crop maize silage inoculated with *Lactobacillus buchneri*. *Journal of Applied Microbiology* 94:800–807.
- Ostrander, B., M.P. Maillot, S. Toulon, Y. Barrière, M. Pollacsek, e J.M. Besle. 1999. Cell wall phenolics and digestibility of normal and brown midrib maizes in different stem sections and across maturity stages. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 79:414–415. doi:10.1002/(SICI)1097-0010(19990301)79:3<414::AID-JSFA266>3.0.CO;2-O.
- Pahlow, G., R.E. Muck, F. Driehuis, S.J.W.H.O. Elferink, e S.F. Spoelstra. 2003. Microbiology of ensiling. In *Silage Science and Technology*. D. R. Buxton, R. E. Muck, and H. J. Harrison, ed. ASA, CSA, and SSSA, Madison, WI. doi:10.2134/agronmonogr42.c2.
- Pereira, B.M. 2013. Avaliação da qualidade da silagem de híbridos de milho (*Zea mays* L.) cultivados no Distrito Federal. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, 28 f. Monografia.

- Pereira, M.N., R.G. Von Pinho, R.G. da S. Bruno, e G.A. Calestine. 2004. Ruminal degradability of hard or soft texture corn grain at three maturity stages. *Scientia Agricola* 61:358–363. doi:10.1590/S0103-90162004000400002.
- Philippeau, C., e B. Michalet-Doreau. 1997. Influence of maize genotype on rate of ruminal starch degradation. *Animal Feed Science and Technology* 68:25–35. doi:10.1051/animres:199505159.
- Pinho, M., M. Martins, D. Combs, J. Goeser, D. Meyer, L. Meyer, F. Lopes, M.H. Ramos. 2016. Characterizing corn silage in Brazil. Rehagro. 3rLab.
- Pryce, J.D. 1969. A modification of the barker -summerson method for the determination of lactic acid. *Analyst* 94:1151–1152.
- Rees, D. V. H. 1982. The aerobic deterioration of grass silages and its effects on water-soluble carbohydrates and the associated heat production. *J. Sci. Food Agric.* 33:499–508.
- Rooney, L.W., e R.L. Pflugfelder. 1986. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *Journal of Animal Science* 63:1607–1623.
- Rosa, J.R.P., J.H.S. Da Silva, J. Restle, L.L. Pascoal, I.L. Brondani, D.C. Alves Filho, e A.K. De Freitas. 2004. Avaliação do comportamento agrônomo da planta e valor nutritivo da silagem de diferentes híbridos de milho (*Zea mays*, L.). *Revista Brasileira de Zootecnia* 33:302–312. doi:10.1590/S1516-35982004000200005.
- Salvati, G.G.S., L.F. Ferraretto, G.S. Dias Júnior, F.L. Drago, e R.D. Shaver. 2017. Survey of mean particle length in whole-plant corn silage. *The Professional Animal Scientist* 33:708–715. doi:10.15232/pas.2017-01631.
- Savoie, P. 1997. Kernel processing: history and engineering. *Proc. Silage: Field to Feedbunk*. NRAES-99, NE Region Agric. Eng. Service, Ithaca, NY. 85–94.
- Savoie, P., K.J. Shinnors, e B.N. Binversie. 2004. Hydrodynamic separation of grain and stover components in corn silage. *Applied Biochemistry And Biotechnology* 113–116:41–54.
- Schwab, E.C., R.D. Shaver, K.J. Shinnors, J.G. Lauer, e J.G. Coors. 2002. Processing and chop length effects in brown-midrib corn silage on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *Journal of Dairy Science* 85:613–623. doi:10.3168/jds.S0022-0302(02)74115-5.
- Shinnors, K.J. 2003. Engineering principles of silage harvesting equipment. Pages 361–403 in *Silage Science and Technology*. D. R. Buxton, R. E. Muck, and H. J. Harrison, ed. ASA, CSA, and SSSA, Madison, WI. doi:10.2134/agronmonogr42.c8.
- Shinnors, K.J., A.G. Jirovec, R.D. Shaver, e M.A. Bal. 2000. Processing whole-plant corn silage with crop processing rolls on a pull-type forage harvester. *Applied Engineering in Agriculture* 16:323–331.
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson, e B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74:3583–3597. doi:10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2.
- Vieira, V.C.; T.N. Martin, L.F.G. Menezes, T. Assmann, S. Ortiz, P. Bertoncelli, F.A. PiranFilho, T.H. Schimitz. 2013. Caracterização bromatológica e agrônômica de genótipos de milho para produção de silagem. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.65, n.3, p.847-856.
- Weinberg, Z.G., G. Szakacs, G. Ashbell, e Y. Hen. 2001. The effect of temperature on the ensiling process of corn and wheat. *Journal of Applied Microbiology* 90:561–566. doi:10.1046/j.1365-2672.2001.01276.x.
- Weiss, W.P., e D.J. Wyatt. 2000. Effect of oil content and kernel processing of corn silage on digestibility and milk production by dairy cows. *Journal of Dairy Science* 83:351–358. doi:10.3168/jds.S0022-0302(00)74886-7.

- Woolford, M.K. 1972. Some aspects of the microbiology and biochemistry of silage making. *Herbage Abstr.*,42(2):105-111.
- Woolford, M.K. 1990. A Review: The detrimental effects of air in silage. *J. Appl. Bacteriol.*, 68(1):101-116.
- Zeoula, L.M., J.R.F. Beleze, U. Cecato, C.C. Jobim, L.J.V. Geron, E.M. Maeda, A.J.S.Falcão. 2003. Avaliação de cinco híbridos de milho (*Zea mays*, L.) em diferentes estágios de maturação. 3. Composição químico-bromatológica. *Revista Brasileira de Zootecnia* 32:556-566.