



LUCAS PARREIRA DE CASTRO

**LACTATION PERFORMANCE OF DAIRY COWS FED
REHYDRATED AND ENSILED CORN GRAIN DIFFERING IN
PARTICLE SIZE AND INCLUSION IN THE DIET**

LAVRAS – MG

2017

LUCAS PARREIRA DE CASTRO

**LACTATION PERFORMANCE OF DAIRY COWS FED REHYDRATED AND
ENSILED CORN GRAIN DIFFERING IN PARTICLE SIZE AND INCLUSION IN
THE DIET**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, área de concentração em Produção de Ruminantes, para obtenção do título de Mestre.

Prof. Marcos Neves Pereira
Orientador

**LAVRAS – MG
2017**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha
Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados
informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Castro, Lucas Parreira de.

Lactation performance of dairy cows fed rehydrated and ensiled corn grain differing in particle size and inclusion in the diet / Lucas Parreira de Castro. Lavras: UFLA, 2017.
71 p.

Orientador(a): Marcos Neves Pereira

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Degradabilidade ruminal. 2. Digestibilidade do amido.
3. Milho reconstituído. 4. Silagem de milho grão. 5. Tamanho de partículas.

**LACTATION PERFORMANCE OF DAIRY COWS FED REHYDRATED AND
ENSILED CORN GRAIN DIFFERING IN PARTICLE SIZE AND INCLUSION IN
THE DIET**

**DESEMPENHO DE VACAS LEITEIRAS ALIMENTADAS COM MILHO GRÃO
REIDRATADO E ENSILADO DIFERINDO NO TAMANHO DE PARTÍCULAS E
INCLUSÃO NA DIETA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, área de concentração em Produção de Ruminantes, para obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 20 de Setembro de 2017.
Prof. Marina de Arruda Camargo Danés
Renata Apocalypse Nogueira Pereira

DZO/UFLA
EPAMIG-SUL/LAVRAS

Prof. Marcos Neves Pereira
Orientador

**LAVRAS – MG
2017**

Aos meus pais, Mário e Ana, que me incentivaram em todos momentos.

À minha noiva, Juliane pelo apoio e incentivo contínuos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós Graduação em Ciências Veterinárias

À fazenda São Francisco (Carlinhos, Tião, Geraldo e Sr. Antônio), ao Grupo do Leite (Karla, Josué, Arthur, Wesley, Rafael, Marcus, Humberto, Gustavo, João Fernando, Lucas, Lauro, Iago e Bruno), aos bolsistas (Augusto, Cecília, Jenifer, Larissa e Victória) e aos colegas de Pós Graduação (Douglas, Eugenio, Ricardo, Fabiana, Naina, Júlia, Josiane, Isabela, Letícia e Rayana)

À EPAMIG Sul, Fazenda Experimental Três Pontas, em nome da veterinária Débora Gomide, pela utilização das vacas fistuladas necessárias para a condução desse experimento

Ao professor Marcos Neves Pereira, pela orientação e ensinamentos

Ao Limão e a Agility, pelo apoio durante o mestrado

Aos meus pais, Mário e Ana e meu irmão, Josenel pelo incentivo

À minha noiva, Juliane pelo apoio e incentivo

À minha enteada, Ana Alice e ao amigo, Beto pelo apoio

RESUMO GERAL

Reidratação e ensilagem do milho maduro moído (REC) pode aumentar a digestibilidade do amido, principalmente se moído fino. Grãos de milho com endosperma de alta vitreosidade ($84 \pm 3 \%$) foram moídos utilizando peneira de 3 (Fino) ou 9 (Grosso) mm, resultando em tamanho de partículas de 1.591 e 2.185 μm antes da ensilagem. O milho moído foi reidratado para alcançar 40 % de umidade e ensilado em galões de 200 L durante 205 dias antes do início do período experimental. Amostras compostas de cada galão ($n = 15$ por tamanho de partícula) foram incubadas antes e após a ensilagem em vacas em lactação canuladas no rúmen. A degradação da MS foi mensurada em 0, 3, 6, 18 e 48 horas. Dezesesseis vacas da raça Holandês em lactação (152 ± 96 DEL e $35,8 \pm 4,4$ kg de leite/d) foram blocadas por paridade e produção de leite e aleatoriamente distribuídas em um de quatro tratamentos em um arranjo fatorial de tratamentos 2×2 em um delineamento do tipo quadrado latino 4×4 com 14 dias de período de adaptação e 7 dias de coleta de dados. As dietas foram: 1) alto amido e REC fino, 2) alto amido e REC grosso, 3) baixo amido e REC fino e 4) baixo amido e REC grosso. As dietas de alto amido apresentaram 29,2 e as dietas de baixo amido apresentaram 23,5 % de amido na MS. O milho moído fino resultou em menor taxa de moagem (3,9 vs 11,7 ton/h). O tamanho de partículas do REC não afetou perda de MS (11,3 % do ensilado), pH (3,8) e N-NH₃ (4,7 % do N total). Ensilagem do milho moído aumentou partículas por grama (890 vs 580 partículas/g), área de superfície (23,4 vs 22,8 cm^2/g) e degradação ruminal efetiva (63,7 vs 34,1 % da MS) independentemente do tamanho de partículas. REC fino tendeu a resultar em menor CMS e CMOD que o REC grosso somente quando utilizado em dietas de alto amido (20,2 vs 20,7 and 12,6 vs 13,8 kg/d, respectivamente) comparado com REC fino e grosso em dietas de baixo amido (21,0 vs 20,7 and 13,6 vs 13,3 kg/d, respectivamente). O teor de amido ou tamanho de partículas do REC não afetou produção de leite (31,0 kg/d). REC fino quando utilizado em dietas de alto amido resultou em maior LCE/CMOD que o REC grosso (2,39 vs 2,08) e não alterou LCE/CMOD em dietas de baixo amido com REC fino ou grosso (2,17 vs 2,17). REC fino tendeu a aumentar digestibilidade do amido no trato total (97,2 vs 96,2 % do ingerido). Nas dietas de alto amido, a moagem fina do REC aumentou o D-lactato no plasma (81.1 vs 60.1 mM) mas não afetou nas dietas de baixo amido. Dietas de alto amido reduziram relação acetato:propionato (2,60 vs 3,03). Moagem fina do milho seco é mais lenta que moagem grossa e o tamanho de partículas do REC não afetou a perda de MS. O tamanho de partículas do REC em dietas contendo alto ou baixo teor de amido não afetou produção de leite e REC fino em dietas contendo alto teor de amido aumentou LCE/CMOD.

Palavras chave: degradabilidade ruminal, digestibilidade do amido, milho reconstituído, silagem de milho grão.

GENERAL ABSTRACT

Rehydration and ensiling of mature ground corn (REC) can increase starch digestibility, especially if fine ground. Kernels from a high vitreous endosperm ($84 \pm 3 \%$) were either ground using a 3 (Fine) or 9 (Coarse) mm sieve, resulting in geometric mean particle sizes (GMPS) of 1,591 and 2,185 μm before ensiling. Ground corn was rehydrated to achieve 40 % moisture and ensiled in 200 L galloons for 205 days before beginning experimental period. Composite samples of each gallon ($n = 15$ per GMPS) were incubated in rumen cannulated lactating dairy cows before and after ensiling. The DM degradation was measured at 0, 3, 6, 18 and 48 hours. Sixteen lactating Holstein dairy cows (152 ± 96 DIM and 35.8 ± 4.4 kg of milk/d) were blocked by parity and milk yield, and randomly assigned to one of four treatments in a 2 x 2 factorial arrangement of treatments with a replicated 4 x 4 latin square design experiment with 14 of adaptation and 7 of data collection. The diets were: 1) high starch and fine REC, 2) high starch and coarse REC, 3) low starch and fine REC, and 4) low starch and coarse REC. High starch diets contained 29.2 and low starch diets contained 23.5 % of starch in DM. The fine ground corn resulted in slower grinding rate (3.9 vs 11.7 ton/h). The REC particle size did not affect DM loss (11.3 % of ensiled), pH (3.8), and N-NH₃ (4.7 % of total N). Ensiling of ground corn increased particles per gram (580 vs 890 particles/g), surface area (22.8 vs 23.4 cm²/g), and effective rumen degradation (34.1 vs 63.7 % of DM) regardless particle size. Fine REC tended to result in lower DMI and DOMI than coarse REC only when fed in high starch diets (20.2 vs 20.7 and 12.6 vs 13.8 kg/d, respectively), compared with fine and coarse REC in low starch diets (21.0 vs 20.7 and 13.6 vs 13.3 kg/d, respectively). The starch concentration or REC particle size did not affect milk yield (31.0 kg/d). Fine REC resulted in greater ECM/DOMI than coarse REC only when fed in high starch diets (2.39 vs 2.08) compared with low starch diets (2.17 vs 2.17). Fine REC tended to increase starch digestibility (97.2 vs 96.4 % of intake). In high starch diets, the fine REC increased plasma D-lactate (81.1 vs 60.1 mM) but did not affect in low starch diets. Fine grinding dry corn is slower than coarse grinding and particle size of REC did not affect DM loss. Particle size of REC did not affect milk yield in high or low starch diets and fine REC increased ECM/DOMI when fed in high starch diets.

Key words: ruminal degradability, starch digestibility, reconstituted corn, corn grain silage.

LISTA DE FIGURAS

- Castro. Figure 1.** Proportion of cows with ingestion behavior per hour of the day on treatments high starch-fine rehydrated and ensiled corn (REC) (● HF), high starch-coarse REC (■ HC), low starch-fine REC (○ LF), and low starch-coarse REC (□ LC). P = 0.11 for starch, P = 0.28 for particle size, P = 0.98 for interaction starch × particle size, P < 0.01 for hour of the day, P = 0.27 for starch × hour, P = 0.06 for particle size × hour, and P = 0.74 for starch × particle size × hour. ✕ = P < 0.05 for the slice option of SAS. Vertical line represents ± SEM..... 70
- Castro. Figure 2.** Plasma urea-N (PUN) on treatments high starch-fine rehydrated and ensiled corn (REC) (● HF), high starch-coarse REC (■ HC), low starch-fine REC (○ LF), and low starch-coarse REC (□ LC). P = 0.44 for starch, P = 0.32 for particle size, P = 0.67 for the interaction starch × particle size, P < 0.01 for hour post-feeding, P = 0.92 for starch × hour, P = 0.96 for particle size × hour, and P = 0.88 for starch × particle size × hour. Vertical line represents ± SEM. Cows were fed at 0700 h..... 71

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Table 1. Ingredient and nutrient composition (% of DM) and particle size distribution (% of as fed) of the TMR on treatments with high or low starch concentration and finely or coarsely ground, rehydrated and ensiled corn (REC) | 59 |
| Table 2. Composition of feed ingredients (% of DM). Mean \pm SD of composite samples per period (N = 4) | 60 |
| Table 3. Grinding rate, silage DM loss, pH, DM and CP concentrations, and NH ₃ of finely or coarsely ground corn, rehydrated and ensiled. N = 39 for grinding rate and N = 15 for other variables..... | 61 |
| Table 4. Particle size distribution (% retained on each screen), geometric mean particle size (GMPS), particles per gram, and surface area of finely or coarsely ground corn before and after ensiling. N = 15 | 62 |
| Table 5. Ruminal in situ DM degradation during incubation times 0 to 48 (Deg), kd of fraction B, and the effective ruminal degradation (ERD) of finely or coarsely ground corn before and after ensiling. N = 15 | 63 |
| Table 6. Intake, lactation performance, MUN, feed efficiency, BW, and BCS on treatments with high or low starch concentration and finely or coarsely ground, rehydrated and ensiled corn | 64 |
| Table 7. Total tract apparent digestibility of DM, OM, NDF, and starch, urinary allantoin excretion (Allant), Allant over digestible OM intake (DOMI), plasma glucose and BHB concentrations, and fecal viscosity on treatments with high or low starch concentration and finely or coarsely ground, rehydrated and ensiled corn..... | 65 |
| Table 8. Molar proportions of VFA, pH, and protozoa concentration in ruminal fluid, and plasma D-lactate concentration on treatments with high or low starch concentration and finely or coarsely ground, rehydrated and ensiled corn | 66 |
| Table 9. Jugular blood acid-base balance 6 h post-feeding on treatments with high or low starch concentration and finely or coarsely ground, rehydrated and ensiled corn | 67 |
| Table 10. Ingestion and chewing behavior and proportion of daily intake in periods of the day on treatments with high or low starch concentration and finely or coarsely ground, rehydrated and ensiled corn | 68 |

Table 11. Starch, NDF, and feed particles sorting behavior (observed/predicted,¹ %) on treatments with high or low starch concentration and finely or coarsely ground, rehydrated and ensiled corn.....69

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 13 |
| 2.1 Processamento do grão de milho | 14 |
| 2.1.1 Tamanho de partículas e ensilagem do grão de milho | 14 |
| 2.1.2 Tamanho de partículas na silagem de milho maduro reidratado..... | 17 |
| 2.2 Efeitos da digestibilidade ruminal e do teor de amido em dietas de vacas leiteiras | 18 |
| 2.2.1 Digestibilidade de nutrientes | 19 |
| 2.2.2 Crescimento microbiano e metabolismo do nitrogênio | 22 |
| 2.2.3 Perfil fermentativo | 23 |
| 2.2.4 Consumo de matéria seca | 25 |
| 2.2.5 Desempenho e eficiência alimentar..... | 27 |
| 3 REFERÊNCIAS..... | 28 |
| 4 ARTIGO | 35 |

1 INTRODUÇÃO

Os híbridos de milho com maior proporção de endosperma vítreo possuem menor digestibilidade ruminal e intestinal do amido comparados aos híbridos com maior proporção de endosperma farináceo (TAYLOR; ALLEN, 2005) e são a forma predominante do milho cultivado no Brasil (CORREA et al., 2002; CRUZ et al., 2014). A estocagem destes híbridos por reidratação e ensilagem do milho maduro moído (REC) pode aumentar a digestibilidade do amido no trato total em relação ao milho maduro moído fino com endosperma vítreo (ARCARI et al., 2016a; BITENCOURT, 2012). A degradação das prolaminas por proteases microbianas e da planta pode aumentar a digestibilidade do amido (HERON et al., 1986; HOFFMAN et al., 2011) e o ganho na digestibilidade pode ser relacionado o período de estocagem (FERRARETTO et al., 2014; LOPES, 2016). A silagem do REC pode ser tão efetiva quanto à silagem de milho úmido (HMC) em reduzir as prolaminas do milho (FERNANDES, 2014) e o aumento na digestibilidade do amido pode aumentar produção de leite e/ou eficiência alimentar de vacas leiteiras (FERRARETTO; CRUMP; SHAVER, 2013; FIRKINS et al., 2001).

O tamanho de partículas pode afetar a taxa de moagem dos grãos e o custo da tonelada de milho processado para armazenamento como REC (HEADLEY; PFOST, 1968). O tamanho de partículas do milho também pode determinar a degradação das prolaminas na silagem (BARON et al., 1986). A moagem fina do HMC (1.020 vs. 3.780 μm) aumentou a digestibilidade do amido no trato total, mas não afetou a produção de leite, o CMS e o perfil de fermentação ruminal de vacas alimentadas com dietas contendo 35 % de amido (SAN EMETERIO et al., 2000). Reis et al. (2001) observaram que a moagem fina do HMC (2.220 vs. 3.140 μm) aumentou a produção de proteína e tendeu a aumentar a digestibilidade do amido no trato total, mas não afetou o pH e o perfil fermentativo ruminal, o CMS e a produção de leite de vacas alimentadas com forragem de corte direto e dieta com 39 % de amido.

A maior digestibilidade ruminal do amido pode reduzir o CMS (ALLEN, 2000) e o efeito da digestibilidade do amido na produtividade de vacas leiteiras pode diferir de acordo com a concentração de amido da dieta. Oba e Allen (2003a) forneceram dietas com 21,2 ou 31,6 % de amido na MS pela substituição parcial de HMC (1.863 μm) ou milho maduro moído (885 μm) na dieta de alto amido por forragens. O HMC reduziu o CMS associado ao menor tamanho de refeição na dieta de alto amido, mas não afetou o CMS na dieta de baixo amido. A dieta de alto amido aumentou a produção de leite corrigido para sólidos comparada à dieta de baixo amido para vacas alimentadas com milho maduro moído, mas não aumentou para vacas

alimentadas com HMC. A diferença na digestibilidade ruminal do amido entre o HMC e o milho maduro moído foi maior na dieta de alto amido comparado à dieta de baixo amido.

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a ingestão, o desempenho produtivo, a digestibilidade de nutrientes, o perfil de fermentação ruminal e o comportamento ingestivo e alimentar de vacas leiteiras alimentadas com dietas de alto ou baixo amido contendo REC fino ou grosso. Nossa hipótese é que a alimentação com dieta de alto teor de amido contendo REC fino pode causar acidose ruminal, resultando em pior desempenho e que a alimentação com dieta de baixo teor de amido contendo REC grosso resultaria em menor produção de leite. Dieta de alto teor de amido contendo REC grosso e dieta de baixo teor de amido contendo REC fino podem melhorar desempenho e eficiência alimentar.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Processamento do grão de milho

2.1.1 Tamanho de partículas e ensilagem do grão de milho

O Brasil se encontra entre os cinco maiores produtores e exportadores de milho do mundo (USDA, 2017). Portanto, o milho é uma fonte de energia muito utilizada em dietas para bovinos no Brasil. O grão de milho é composto pelo pericarpo, endosperma e gérmen, sendo o endosperma responsável por maior parte do peso do grão de milho e rico em amido. O pericarpo é a camada externa com função de proteção do grão de milho, e a adesão de microrganismos ruminais ao pericarpo é mínima comparada ao endosperma (MCALLISTER et al., 1990). A etapa limitante no processo de digestão ruminal é a adesão de bactérias ao alimentos, fazendo necessário o rompimento do pericarpo para que ocorra digestão do amido do milho (STACK; HUNGATE, 1984).

Os grãos de milho utilizados na alimentação de ruminantes são processados para potencializar a digestão ruminal do amido. Nordin e Campling (1976) realizaram uma série de experimentos para determinar o potencial de digestão ruminal de grãos de cereais. No primeiro experimento diversos grãos de cereais inteiros foram incubados no rúmen e a digestibilidade ruminal da matéria seca do milho maduro foi de apenas 8 % do incubado após 24 horas. No segundo experimento o milho maduro foi partido ao meio e a digestibilidade ruminal da matéria seca aumentou para 22 % do incubado após 24 horas. Os mesmos autores processaram o milho maduro com tamanho de partículas de 3.600 e 2.500 μm e após 12 horas de incubação observaram 12 e 22 % de digestibilidade da matéria seca no rúmen, respectivamente. Portanto, o menor tamanho de partículas do milho maduro pode aumentar a digestibilidade ruminal do amido, por facilitar a adesão dos microrganismos ruminais ao alimento.

A moagem é uma maneira de reduzir o tamanho de partículas do milho maduro e aumentar a sua digestibilidade. Ferraretto, Crump e Shaver (2013) conduziram uma meta-análise e avaliaram o efeito do tamanho de partículas do milho maduro sobre a digestibilidade do amido no trato total em 63 médias de tratamentos. A digestibilidade do amido no trato total reduziu com o aumento no tamanho de partículas, sendo que no milho maduro moído até a 1.500 μm a digestibilidade foi de 93,3 % do ingerido, no milho maduro moído entre 1.500 e 3.500 μm a digestibilidade foi de 89,7 % do ingerido e no milho maduro moído entre 3.500 e

4.000 μm a digestibilidade foi de 77,7 % do ingerido. O menor tamanho de partículas está associado a maior área de superfície, que pode aumentar a exposição do endosperma para a colonização microbiana (MCALLISTER et al., 1990).

O endosperma do milho é constituído principalmente por grânulos de amido superficialmente associados à proteínas, denominadas prolaminas. O endosperma total é composto pelos endospermas vítreo e farináceo, sendo que o endosperma vítreo possui mais prolamina (DOMBRINK-KURTZMAN; BIETZ, 1993). No endosperma vítreo os grânulos de amido se encontram mais compactados, que em conjunto com a maior quantidade de prolamina, os torna mais resistentes à adesão microbiana (CORREA et al., 2002; MCALLISTER et al., 1990). Os híbridos de milho que possuem a maior proporção do endosperma vítreo em relação ao endosperma total são denominados duros e os híbridos que possuem a menor proporção de endosperma vítreo são denominados farináceos. Os híbridos duros são a forma predominante do milho cultivado no Brasil (CORREA et al., 2002; CRUZ et al., 2014).

A digestibilidade e a cinética de digestão ruminal do amido foram avaliadas para milho maduro de híbridos com 3,0 (farináceo) ou 67,2 (duro) % de endosperma vítreo (TAYLOR; ALLEN, 2005). A digestibilidade ruminal do amido foi de 57,0 e 35,5 % para os híbridos farináceo e duro, respectivamente. Entretanto, a digestibilidade do amido nos intestinos em relação ao ingerido foi maior para o híbrido duro, diminuído a diferença na digestibilidade do amido no trato total, que foi de 96,3 e 91,7 % do ingerido para os híbridos farináceo e duro, respectivamente. Embora tenha ocorrido digestão compensatória no intestino para o híbrido duro, a digestibilidade nos intestinos em função do fluxo intestinal foi de 90,8 % para o híbrido farináceo e 83,6 % para o híbrido duro. A taxa de digestão ruminal do amido aumentou de 12,9 para 21,9 %/h quando o híbrido farináceo foi fornecido.

Rémond et al. (2004) avaliaram o efeito do tamanho de partículas sobre a digestibilidade do amido em híbridos de milho maduro com endosperma duro ou farináceo. Os grãos de milho maduro foram moídos ou laminados, resultando em tamanho de partículas de 730 μm para o milho duro moído, 3.668 μm para o milho duro laminado, 568 μm para o milho farináceo moído e 3.458 μm para o milho farináceo laminado. A moagem do milho duro aumentou a digestibilidade do amido no trato total de 69,5 para 91,4 % do ingerido (31,5 % de aumento), enquanto o milho farináceo aumentou a digestibilidade do amido de 89,2 para 97,3 % do ingerido (9,1 % de aumento). Portanto, os híbridos de milho com endosperma duro podem apresentar maior digestibilidade ruminal quando moídos com menor tamanho de partículas, proporcionalmente ao milho com endosperma farináceo.

A adesão microbiana aos grânulos de amido ocorre com maior facilidade no endosperma farináceo, que possui menos prolamina (MCALLISTER et al., 1990). Portanto, a prolamina pode dificultar a adesão microbiana aos grânulos de amido. O processo de ensilagem degrada as prolaminas do endosperma, principalmente devido à ação das enzimas microbianas e da planta presentes na silagem (HERON; EDWARDS; MCDONALD, 1986; HOFFMAN et al., 2011; JUNGES et al., 2017). O teor de prolamina foi avaliado em híbridos de milho maduro com endosperma duro ou farináceo, reidratados e ensilados por 30, 90 e 120 dias (LOPES, 2016). Houve redução no teor de prolamina de 5,7 para 5,1 e posteriormente para 4,0 % da matéria seca com 30, 90 e 120 dias ensilado, respectivamente. Não foi observado interação entre híbrido e duração da ensilagem.

A prolamina pode ser um fator limitante da digestão do amido no rúmen e sua degradação durante a ensilagem pode facilitar a adesão microbiana ao endosperma e aumentar a digestibilidade ruminal do amido (KOTARSKI; WANISKA; THURN, 1992; MCALLISTER et al., 1990). A meta-análise realizada por Ferraretto, Crump e Shaver (2013) avaliou o efeito da ensilagem do milho úmido sobre a digestibilidade do amido no rúmen e no trato total. A substituição do milho maduro seco por milho úmido ensilado aumentou a digestibilidade do amido no rúmen de 53,5 para 64,1 e no trato total de 92,0 para 94,2 % do ingerido. A silagem de milho maduro reidratado aumentou a digestibilidade do amido no trato total de 91,0 para 99,0 % do ingerido comparado ao milho maduro seco (ARCARI et al., 2016a). O aumento do tempo de ensilagem aumenta a quebra de prolaminas e a digestibilidade ruminal do amido na silagem de milho úmido e milho maduro reidratado (ARCARI et al., 2016b; FERNANDES, 2014; FERRARETTO et al., 2014; LOPES, 2016).

A moagem do milho úmido antes do processo de ensilagem associa duas formas de processamento para aumentar a digestibilidade do amido. A moagem aumenta a área de superfície e exposição do endosperma e a ensilagem reduz as prolaminas, potencializando a adesão microbiana e a digestão do amido no rúmen (FERRARETTO; CRUMP; SHAVER, 2013; HOFFMAN et al., 2011; KOTARSKI; WANISKA; THURN, 1992; NORDIN; CAMPLING, 1976). A degradação das prolaminas pode ser maior quando o milho úmido é ensilado com menor tamanho de partículas (BARON; STEVENSON; BUCHANAN-SMITH, 1986). Ferraretto, Crump e Shaver (2013) também avaliaram o efeito do tamanho de partículas da silagem de milho úmido ensilado sobre a digestibilidade do amido no trato total. O milho úmido ensilado processado com tamanho de partículas menor que 2.000 µm aumentou

digestibilidade do amido no trato total de 89,5 para 95,2 % do ingerido em comparação ao tamanho de partículas maior que 2.000 μm .

A ensilagem do milho maduro reidratado com endosperma duro aumenta mais a digestibilidade ruminal do amido proporcionalmente ao milho maduro reidratado com endosperma farináceo (ANDRADE FILHO et al., 2010). Lopes (2016) avaliou o efeito da ensilagem de milho maduro reidratado com 77,5 ou 49,2 % de endosperma vítreo, processados com tamanho de partículas de 620 ou 957 μm sobre a digestibilidade ruminal da matéria seca *in vitro*. A degradação da matéria seca não foi afetada pelo tipo do endosperma ou pelo tamanho de partículas, mas a produção acumulada de gás aumentou de 169,0 para 198,1 mL quando a silagem de milho maduro reidratado foi processada com o menor tamanho de partículas.

2.1.2 Tamanho de partículas na silagem de milho maduro reidratado

O grão de milho pode ser ensilado no ponto de maturidade fisiológica ou maduro seguido de reidratação, denominados silagem de milho úmido ou silagem de milho maduro reidratado, respectivamente. Na reidratação do milho maduro, objetiva-se obter teor de matéria seca entre 60 e 70 % da matéria natural, além da homogeneidade na incorporação de água ao milho moído (PEREIRA et al., 2013). É possível confeccionar a silagem de milho maduro reidratado com menor tamanho de partículas que a silagem de milho úmido, pois o milho é moído seco. O menor tamanho de partículas obtido na silagem de milho úmido foi de 1.020 μm , enquanto para a silagem de milho maduro reidratado foi de 584 μm (FERRARETTO; CRUMP; SHAVER, 2013; LOPES, 2016). Entretanto, a moagem do milho com menor tamanho de partículas resulta em maior custo por tonelada de milho moído para posterior reidratação e ensilagem (HEADLEY; PFOST, 1968).

Durante o processo de ensilagem ocorre o consumo de carboidratos solúveis em água e a produção de ácidos, responsáveis pela redução do pH e pelo armazenamento do material ensilado. No milho maduro reidratado o tempo de consumo dos carboidratos solúveis em água pode variar, atingindo valores mínimos após 5 dias de ensilagem em milho moído com peneira de 2 mm (CARVALHO et al., 2017) e após 21 dias de ensilagem em milho moído com peneira de 12 mm (FERNANDES, 2014). A redução do pH ocorre de maneira mais lenta, com queda para 4,0 e 4,5 após 30 dias de ensilagem em milho moído com peneira de 2 e 3 mm,

respectivamente (ARCARI et al., 2016b; CARVALHO et al., 2017) e para 4,6 somente após 60 dias de ensilagem em milho moído com peneira de 12 mm (FERNANDES, 2014).

O processamento do milho maduro reidratado pode afetar o processo de ensilagem, sendo que a ensilagem do milho inteiro pode resultar em maior perda de matéria seca. Goodrich, Byers e Meiske (1975) avaliaram a ensilagem do milho maduro reidratado após laminação ou inteiro. O milho maduro reidratado foi ensilado em mini silos com aproximadamente 3 kg de matéria seca. A laminação do milho maduro reidratado reduziu o pH da silagem de 5,9 para 5,2 em comparação ao milho inteiro e a perda de matéria seca aumentou de 3,3 no milho maduro reidratado laminado para 3,7 no milho maduro reidratado inteiro. A maior área de superfície no milho maduro reidratado e laminado possibilitou maior fermentação e conservação da silagem.

Lopes (2016) avaliou o efeito do tamanho de partículas sobre a perda de matéria seca da silagem de milho maduro reidratado em silos selados à vácuo contendo 1 kg de material ensilado. O tamanho de partículas das silagens de milho maduro reidratado foi de 621 μm para a moagem fina e 957 μm para a moagem grossa. A perda de matéria seca aumentou de 2,8 para 3,5 % quando o milho maduro reidratado foi moído grosso e ensilado. Entretanto, Pereira (2012) avaliou a perda de matéria seca em silagens de milho maduro reidratado moído com peneiras de crivo com 3 e 10 mm em baldes de 12 litros e não observou diferença na perda de matéria seca, embora o pH tenha sido menor para o milho moído fino.

Dentre os ácidos orgânicos formados durante a fermentação no processo de ensilagem, o ácido láctico pode gerar menor perda de matéria seca, pois sua produção é energeticamente mais eficiente e tem maior potencial em reduzir o pH e inibir alguns grupos de bactérias heterofermentativas (ROOKE; HATFIELD, 2003). Kleinschmit e Kung Jr. (2006) conduziram uma meta-análise para avaliar a estabilidade aeróbica de silagens inoculadas com *Lactobacillus buchneri*, uma cepa heterofermentativa que aumenta a produção de ácido acético. A inoculação desta cepa na silagem de grãos de cereais reduziu a proporção de ácido láctico e aumentou o ácido acético, resultando em maior pH e perda de matéria seca. Portanto, o maior pH da silagem de milho maduro reidratado com maior tamanho de partículas pode indicar redução na produção de ácido láctico, resultando em maior perda de matéria seca.

2.2 Efeitos da digestibilidade ruminal e do teor de amido em dietas de vacas leiteiras

A disponibilidade ruminal do amido em dietas de vacas leiteiras pode ser manipulada pelo aumento na digestibilidade ruminal ou no teor de amido da dieta. Ainda é possível fazer

uma interação dos dois fatores fornecendo dietas com alto teor de amido utilizando fontes com maior digestibilidade ruminal. A disponibilidade ruminal do amido pode afetar o pH ruminal (YANG; BEAUCHEMIN; RODE, 2001), a digestibilidade do amido e da FDN no trato total (FERRARETTO; CRUMP; SHAVER, 2013), o perfil fermentativo (EKINCI; BRODERICK, 1997) e o desempenho de vacas leiteiras (OBA; ALLEN, 2003b).

A digestibilidade do amido no rúmen é dificultada em híbridos com endosperma duro, e o processamento do grão de milho por moagem ou ensilagem aumenta o potencial de digestão ruminal nestes híbridos comparados aos híbridos com endosperma farináceo (ANDRADE FILHO et al., 2010; RÉMOND et al., 2004). A ensilagem do milho maduro reidratado pode aumentar a digestibilidade do amido e a produção de leite em híbridos com endosperma duro (ARCARI et al., 2016a). A maior digestibilidade do amido no rúmen pode ser preferencial a digestão no intestino pois permite que ocorra maior incorporação de amônia à proteína microbiana (EKINCI; BRODERICK, 1997; RÉMOND et al., 2004).

O aumento no teor de amido da dieta também aumenta a disponibilidade de amido no rúmen. O teor de amido da dieta pode ser manipulado com forragem ou subprodutos fibrosos. A redução no teor de amido com inclusão de forragem pode reduzir (OBA; ALLEN, 2003d), enquanto a inclusão de subprodutos fibrosos pode não afetar o crescimento microbiano (FREDIN et al., 2015), pois a maior inclusão de forragem reduz o consumo de matéria seca (OBA; ALLEN, 2003b). O aumento na disponibilidade ruminal do amido ainda pode ser feito por aumento na digestibilidade e no teor de amido na dieta, entretanto esta estratégia pode potencializar redução no pH do rúmen (COSTA et al., 2014).

2.2.1 Digestibilidade de nutrientes

Durante o processo digestivo nos ruminantes, ocorrem perdas energéticas por meio dos gases da digestão, do incremento calórico, da urina e das fezes. A maior perda energética durante o processo de digestão nos ruminantes é a perda fecal (NRC, 2001). Portanto, é importante maximizar a digestibilidade dos nutrientes aumentando o fornecimento de energia nas dietas para vacas de alta produção. A principal fonte de energia em dietas para ruminantes é proveniente da digestão de carboidratos não fibrosos no rúmen e nos intestinos e da digestão de carboidratos fibrosos no rúmen. O amido proveniente do milho é um dos principais nutrientes em dietas de vacas leiteiras de alta produção, e o seu processamento tem grande

impacto sobre a digestibilidade do amido no rúmen e nos intestinos (FERRARETTO; CRUMP; SHAVER, 2013; FIRKINS et al, 2001). A digestão dos carboidratos fibrosos, mensurados com fibra em detergente neutro (FDN), ocorre principalmente no rúmen (LOPES; COOK; COMBS, 2015) e é afetada por sua fonte e pela interação com a dieta sendo alimentada (BECKMAN; WEISS, 2005).

O processamento do milho pode reduzir a matriz proteica e a sua interação com os grânulos de amido, permitindo a digestão do amido no rúmen (FERRARETTO; CRUMP; SHAVER, 2013; FIRKINS et al., 2001). Posteriormente, a digestão ruminal do amido é dependente da ação das amilases microbianas, secretadas por bactérias amilolíticas. Os grupos de bactérias amilolíticas se desenvolvem em uma faixa ampla de pH ruminal, não sendo este um fator limitante para a digestão do amido no rúmen (THERION; KISTNER; KORNELIUS, 1982). A maior digestão do amido no rúmen possibilita um maior crescimento microbiano e fluxo de amino ácidos para o intestino (REIS et al., 2001), o que pode aumentar a digestibilidade intestinal do amido (ABRAMSON et al., 2005). A digestão do amido no rúmen também reduz o fluxo de amido para o intestino (KNOWLTON; GLENN; ERDMAN, 1998), que resulta em maior secreção de amilase pancreática no lúmen intestinal (WALKER; HARMON, 1995). Portanto, a maior digestão do amido no rúmen aumenta o fluxo de amino ácidos e reduz o fluxo de amido para o intestino, que somados potencializam a digestão intestinal.

A digestibilidade do amido no rúmen e no intestino foi avaliada em milho maduro seco moído com tamanho de partículas de 700, 1.800 ou 3.700 μm (RÉMOND et al., 2004). A redução no tamanho de partículas aumentou a digestibilidade do amido no rúmen de 35,5 para 49,8 e 58,6 % do ingerido e reduziu o fluxo de amido para o duodeno de 2,75 para 2,17 e 1,80 kg/d. A digestibilidade do amido no intestino também aumentou de 47,0 para 61,1 e 67,5 % do fluxo intestinal com a redução no tamanho de partículas. Em função da maior digestibilidade intestinal do amido (% do fluxo para o intestino) quando ocorre digestão preferencial no rúmen, a digestibilidade do amido no trato total é correlacionada com a digestibilidade ruminal do amido (CALLISON et al., 2001; FERRARETTO; CRUMP; SHAVER, 2013; GALYEAN; WAGNER; OWENS, 1979).

A redução no tamanho de partículas pode reduzir a digestibilidade ruminal do amido quando o aumento na taxa de passagem supera o ganho na taxa de degradação (EWING; JOHNSON; RUMPLER, 1986; FREDIN et al., 2015). Knowlton, Glenn e Erdman (1998) forneceram milho maduro seco com 618 ou 1.725 μm ou milho úmido ensilado com 489 ou 1.789 μm . O menor tamanho de partículas do milho maduro seco reduziu a digestibilidade

ruminal do amido de 69,2 para 60,9 % do ingerido, mas o milho úmido ensilado aumentou de 81,2 para 86,8 % do ingerido. San Emeterio et al. (2000) forneceram milho úmido ensilado com tamanho de partículas de 1.430 ou 4.430 μm . A redução no tamanho de partículas aumentou a digestibilidade do amido de 83,2 para 89,7 % do ingerido, mesmo com aumento na taxa de passagem de 4,57 para 5,81 %/h. O aumento na taxa de passagem do milho úmido ensilado com menor tamanho de partículas não suprime o ganho em digestibilidade, portanto não reduzindo a digestão do amido no rúmen.

Oba e Allen (2003c) avaliaram o efeito do teor e da fonte de amido da dieta sobre a taxa de degradação do amido no rúmen. Nas dietas com alto teor de amido a utilização de milho úmido ensilado preferencialmente ao milho maduro seco aumentou a taxa fracional de degradação do amido de 14,6 para 28,2 %/h (93,1 % de aumento) e nas dietas com baixo teor de amido a mesma comparação aumentou a taxa fracional de degradação do amido de 12,2 para apenas 16,8 %/h (37,7 % de aumento). As dietas com maior teor de amido podem resultar em menor pH ruminal, que por sua vez aumenta a atividade das amilases microbianas (ENGVALL, 1980; FIRKINS et al., 2001). Entretanto, a digestibilidade do amido não apresenta um padrão de resposta em função de teor de amido da dieta, sendo que o alto teor de amido pode aumentar ou reduzir a digestibilidade do amido no trato total (FREDIN et al., 2015; OBA; ALLEN, 2003c).

Para que ocorra a digestão da FDN, deve haver adesão dos microrganismos às partículas de fibra seguida da adesão das enzimas microbianas. Diferentemente do amido, a digestão da celulose, principal constituinte da FDN, envolve um complexo enzimático e não uma única enzima. O baixo pH do fluido ruminal pode afetar negativamente a digestão da FDN, pois inibe a adesão dos microrganismos e conseqüentemente do complexo enzimático às partículas de alimento (STEWART, 1977). De forma complementar, quando o pH do rúmen atinge valores abaixo de 6,0, as bactérias celulolíticas não conseguem manter o pH intracelular próximo deste valor e acabam tendo seu crescimento reduzido (RUSSELL; WILSON, 1996).

O pH do rúmen pode reduzir quando ocorre aumento na digestibilidade ruminal do amido (YANG; BEAUCHEMIN; RODE, 2001), fazendo com que ocorra queda na digestibilidade da FDN (KNOWLTON; GLENN; ERDMAN, 1998). A substituição de milho maduro seco por milho úmido ensilado reduziu a digestibilidade da FDN de 45,2 para 42,2 % do ingerido (FERRARETTO; CRUMP; SHAVER, 2013). Wilkerson, Glenn e McLeod (1997) avaliaram o efeito da moagem ou laminação no milho maduro seco ou milho úmido ensilado. A laminação aumentou a digestibilidade da FDN no milho maduro seco mas não no milho

úmido ensilado. O milho úmido ensilado com menor tamanho de partículas não reduziu o pH do rúmen comparado ao maior tamanho de partículas, fazendo com que a digestibilidade da FDN seja reduzida independentemente do tamanho de partículas (SAN EMETERIO et al., 2000; FERRARETTO; CRUMP; SHAVER, 2013; WILKERSON; GLENN; MCLEOD, 1997).

O aumento no teor de amido da dieta também pode resultar em queda do pH ruminal (OBA; ALLEN, 2003c), que por sua vez reduz a digestibilidade da FDN no trato total (FERRARETTO; CRUMP; SHAVER, 2013). Costa et al. (2014) forneceram dietas com alta ou baixa inclusão de milho úmido ensilado com endosperma duro ou farináceo. A maior inclusão do milho úmido ensilado reduziu o pH do rúmen quando o endosperma farináceo foi utilizado, mas na menor inclusão o tipo do endosperma não afetou o pH ruminal. No entanto, em dietas com alto teor de amido, a utilização de fontes com maior digestibilidade ruminal do amido não potencializa a queda na digestibilidade da FDN (FREDIN, 2015; OBA; ALLEN, 2003c).

2.2.2 Crescimento microbiano e metabolismo do nitrogênio

A digestão de alimentos em ruminantes é feita principalmente pela fermentação microbiana, que resulta na produção de ácidos graxos voláteis e proteína microbiana. A proteína microbiana é proveniente das bactérias que deixam o rúmen e passam para o intestino, e é a principal fonte de amino ácidos para síntese de proteína no leite em vacas leiteiras (NRC, 2001). A síntese de proteína microbiana ocorre em função da matéria orgânica fermentada no rúmen (BRODERICK et al., 2010; CLARK; KLUSMEYER; CAMERON, 1992; OBA; ALLEN, 2003b) e a disponibilidade de amido é fundamental para que o crescimento microbiano seja maximizado (HALL; HEREJK, 2001). A disponibilidade de nitrogênio (N), associado à amino ácidos e peptídeos podem ser limitantes para o crescimento microbiano no rúmen (ARGYLE; BALDWIN, 1989; SATTER; SLYTER, 1974) e a absorção de ácidos graxos voláteis provenientes da matéria orgânica fermentada no rúmen auxiliam a reciclagem de uréia via parede ruminal (ASCHENBACH et al., 2011). O nitrogênio uréico no leite (NUL) pode ser um indicativo da eficiência de incorporação do N dietético em N do leite (WILKERSON; GLENN; MCLEOD, 1997).

A síntese de proteína na glândula mamária ocorre em função da disponibilidade de amino ácidos assim como da concentração de insulina no plasma. Mackle et al. (1999)

infundiram caseína e amino ácidos ramificados no abomaso de vacas leiteiras associados ou não à infusão de insulina. A infusão de caseína e amino ácidos ramificados aumentou a produção de proteína em 128 g/d, mas a associação com insulina aumentou a produção de proteína em 213 g/d. Oba e Allen (2003b) aumentaram a disponibilidade do amido para fermentação ruminal e observaram maior crescimento microbiano e concentração de insulina no plasma, resultando em aumento na produção de proteína do leite em vacas leiteiras (OBA; ALLEN, 2003b).

A alantoína é um derivado de purina, que pode ser utilizada como uma medida indireta do crescimento microbiano no rúmen (CHEN; GOMES, 1992). O milho úmido ensilado com tamanho de partículas de 2.220 µm aumentou a relação urinária entre alantoína e creatinina em 20,3 % comparado ao tamanho de partículas de 3.140 µm (REIS et al., 2001), o que resultou em aumento na produção de proteína no leite de 900 para 990 g/d. San Emeterio et al. (2000) observaram aumento semelhante (20,2 %) na relação urinária entre alantoína e creatinina quando substituiu milho úmido ensilado com tamanho de partículas de 4.430 por 1.430 µm. Também foi observado aumento na produção de proteína no leite e redução do NUL. A produção de proteína no leite também foi aumentada quando Wilkerson, Glenn e McLeod (1997) e Knowlton, Glenn e Erdman (1998) forneceram milho úmido ensilado com menor tamanho de partículas. Batalha (2015) forneceu milho maduro reidratado e ensilado com 1.410 ou 2.950 µm e observaram redução do NUL.

O teor de proteína no leite aumentou em função do teor de amido digestível no rúmen na meta-análise realizada por Ferraretto, Crump e Shaver (2013). Para cada unidade de aumento no teor de amido digestível no rúmen, o teor de proteína no leite aumentou em 0,025 %. O teor de amido pode afetar mais a produção de proteína no leite comparado à substituição de milho maduro seco por milho úmido ensilado (OBA; ALLEN, 2003b). A resposta em produção de proteína no leite pode ser proveniente da maior incorporação da amônia ruminal na proteína microbiana (SAN EMETERIO et al., 2000; REIS et al., 2001), resultando em menor NUL (FREDIN et al., 2015).

2.2.3 Perfil fermentativo

A fermentação dos carboidratos pelas bactérias do rúmen tem como produto os ácidos graxos voláteis que são a principal fonte de energia para os ruminantes (BERGMAN, 1990). A

fermentação de amido ou celulose gera ácidos graxos voláteis em diferentes proporções em função da dieta sendo alimentada para vacas leiteiras. Em dietas contendo 63,7 % de forragem, 35,9 % de FDN e com 2,64 kg de amido digerido no rúmen a fermentação de amido e celulose produz uma relação acetato:propionato de 2,2 e 2,8, respectivamente. Entretanto, dietas contendo 41,2 % de forragem, 33,9 % de FDN e com 3,11 kg de amido digerido no rúmen a relação entre acetato e propionato é de 1,5 para fermentação de amido e 5,7 para fermentação de celulose (BANNINK et al., 2006).

A digestibilidade do amido (SAN EMETERIO et al., 2000; KNOWLTON; GLENN; ERDMAN, 1998) e o teor de FDN na dieta podem afetar o perfil fermentativo (OBA; ALLEN, 2003b). A suplementação de dietas com maior potencial acidogênico podem resultar em aumento na produção diária de propionato (SUTTON et al., 2003). Adicionalmente, a substituição de amido por sacarose aumentou a relação entre acetato e propionato em meios de cultura com fluxo contínuo (VALLIMONT et al., 2004). Portanto, dietas que resultem em menor pH e com maior fornecimento de amido digerido no rúmen podem apresentar maior produção proporcional de propionato (STROBEL; RUSSEL, 1998).

A digestibilidade ruminal do amido pode ser aumentada por uma troca na fonte de amido, por exemplo a substituição de milho maduro seco por milho úmido ensilado ou o fornecimento de milho úmido ensilado com menor tamanho de partículas (FERRARETTO; CRUMP; SHAVER, 2013). A relação entre acetato e propionato pode reduzir quando milho úmido ensilado substitui milho maduro seco (SAN EMETERIO et al., 2000; KNOWLTON; GLENN; ERDMAN, 1998), embora não seja observado em todas situações (OBA; ALLEN, 2003b). O aumento na digestibilidade do amido pelo fornecimento de milho úmido ensilado com menor tamanho de partículas também pode reduzir (EKINCI; BRODERICK, 1997) ou não alterar a relação entre acetato e propionato (SAN EMETERIO et al., 2000; KNOWLTON; GLENN; ERDMAN, 1998; REIS et al., 2001).

Durante o período de estocagem, pode ocorrer quebra de prolaminas na silagem de milho úmido (HOFFMAN et al., 2011), o que aumenta sua digestibilidade (FERRARETTO et al., 2014). O fornecimento de dietas à base de silagem de alfafa e com milho úmido ensilado como única fonte de amido podem destacar o efeito do tamanho de partículas da silagem de milho úmido (EKINCI; BRODERICK, 1997; KNOWLTON; GLENN; ERDMAN, 1998). Entretanto, apesar da similaridade das dietas a relação entre acetato e propionato reduziu de 3,18 para 2,52 com o menor tamanho de partículas do milho úmido ensilado apenas em um trabalho (EKINCI; BRODERICK, 1997). O período de estocagem da silagem de milho úmido

pode interagir com o tamanho de partículas, podendo justificar a diferença no perfil fermentativo de dietas similares variando apenas no tamanho de partículas da silagem de milho úmido (EKINCI; BRODERICK, 1997; KNOWLTON; GLENN; ERDMAN, 1998). Outro fator é a diferença no tamanho de partículas da silagem de milho úmido. No trabalho de Knowlton, Glenn e Erdman (1998) a silagem de milho úmido apresentou tamanho de partículas de 489 e 1.789 μm enquanto no trabalho de Ekinci e Broderick (1997) o tamanho de partículas foi de 1.660 e 4.330 μm .

A substituição parcial de milho maduro seco por polpa cítrica reduz o teor de amido e aumenta o teor de FDN, resultando em aumento na relação entre acetato e propionato (GAO; OBA, 2016). O fornecimento de dietas com alto teor de amido formuladas com milho úmido ensilado comparado com milho maduro seco não afetou, enquanto o maior teor de amido reduziu a relação entre acetato e propionato (OBA; ALLEN, 2003b). Dietas que resultam em menor pH ruminal, podem apresentar menor relação entre acetato e propionato (PEREIRA; ARMENTANO, 2000) e ambos reduzem de acordo com o aumento no teor de amido e redução no teor de FDN de forragem da dieta (FIRKINS et al., 2001).

2.2.4 Consumo de matéria seca

Em ruminantes, o consumo de matéria seca pode ser regulado de maneira física, por enchimento ruminal em função do teor de FDN de forragem da dieta (PEREIRA et al., 1999) ou de maneira metabólica, por oxidação hepática durante a gliconeogênese à partir de propionato absorvido do rúmen (GUALDRÓN-DUARTE; ALLEN, 2017; OBA; ALLEN, 2003a). Quanto maior a oxidação hepática, principalmente à partir de propionato, maior é o estímulo no centro da saciedade inibindo o consumo de matéria seca (ALLEN; BRADFORD; OBA, 2009). O aumento na disponibilidade ruminal do amido pode reduzir o pH ruminal (OBA; ALLEN, 2003c), reduzindo a digestibilidade da FDN no rúmen e limitando o consumo de matéria seca por enchimento ruminal (FERRARETTO; CRUMP; SHAVER, 2013; STROBEL; RUSSELL, 1986).

O comportamento ingestivo é alterado com a regulação metabólica do consumo em função da absorção de propionato do rúmen. Ocorre redução no consumo de matéria seca e no tempo gasto por refeição, assim como no tempo gasto para ingerir 1 kg de matéria seca (OBA; ALLEN, 2003a). Gualdrón-Duarte e Allen (2017) avaliaram a saciedade e o apetite de animais

com infusão ruminal de propionato. A saciedade e o apetite foram obtidos pela divisão do consumo de uma refeição em relação ao tempo sem ingerir até a próxima refeição e o tempo sem ingerir antes daquela refeição, respectivamente. A infusão com propionato reduziu a saciedade e o apetite.

O fornecimento das silagens de milho úmido ou de milho maduro reidratado preferencialmente ao milho maduro seco reduz o consumo de matéria seca em vacas leiteiras (BITENCOURT, 2012; FERRARETTO; CRUMP; SHAVER, 2013). O tempo gasto para ingerir 1 kg de matéria seca aumentou de 12,6 para 14,4 min quando o milho maduro reidratado substituiu o milho maduro seco em dietas com 26,9 % de amido, resultando em menor tempo de mastigação, menor consumo de matéria seca por refeição e tendência de menor consumo de matéria seca diário (BITENCOURT, 2012).

Entretanto, o fornecimento de milho úmido ensilado com menor tamanho de partículas pode não afetar (SAN EMETERIO et al., 2000; REIS et al., 2001; WILKERSON; GLENN; MCLEOD, 1997) ou aumentar o consumo de matéria seca (EKINCI; BRODERICK, 1997). Ekinci e Broderich (1997) observaram aumento na digestibilidade da FDN, possivelmente em função de maior incorporação de amônia na proteína microbiana, resultando em maior consumo de matéria seca. Em função da relação entre acetato e propionato ser pouco afetada pelo tamanho de partículas do milho úmido ensilado, e da digestibilidade da FDN também não responder ao tamanho de partículas do milho úmido ensilado, como discutido nos tópicos *Digestibilidade de nutrientes e Perfil fermentativo*, respectivamente, espera-se que o consumo de matéria seca também seja pouco afetado pelo tamanho de partículas da silagem de milho úmido.

O consumo de matéria seca pode reduzir (PEREIRA et al., 1999) ou aumentar com o aumento no teor de amido da dieta (OBA; ALLEN, 2003b). A manipulação do teor de amido da dieta normalmente é feito pela inclusão de forragem ou subprodutos fibrosos em substituição às fontes de amido. Quando a forragem é adicionada para reduzir o teor de amido, o consumo de matéria seca é reduzido possivelmente por enchimento ruminal (OBA; ALLEN, 2003b). No entanto, quando subprodutos fibrosos são utilizados para reduzir o teor de amido o consumo de matéria seca aumenta pois não ocorre limitação física e ocorre limitação metabólica na dieta de alto amido (PEREIRA et al., 1999).

Oba e Allen (2003b) conduziram um experimento para avaliar os efeitos do milho maduro seco ou milho úmido ensilado e do teor de amido na dieta de 31,6 ou 21,2 %. As hipóteses foram que a substituição de milho maduro seco por milho úmido ensilado aumentaria

produtividade em dieta de baixo amido e reduziria consumo de matéria seca e produtividade em dietas de alto amido por induzir acidose ruminal. As dietas de baixo amido foram obtidas pela substituição do milho maduro seco ou milho úmido ensilado por silagem de milho e alfafa. O milho úmido ensilado reduziu consumo de matéria seca de 22,5 para 20,8 kg/d na dieta de alto amido e não afetou o consumo na dieta de baixo amido.

2.2.5 Desempenho e eficiência alimentar

O volume de leite excretado pela glândula mamária é diretamente influenciado pela síntese de lactose (HOLT, 1983), sintetizada à partir da glicose sanguínea. O fluxo de glicose na veia hepática aumenta com o consumo de matéria seca (REYNOLDS et al., 1988) como resposta de um maior fluxo de propionato do rúmen para o fígado (BROCKMAN, 2005). O aumento na produção ruminal de propionato pode ocorrer em resposta a um aumento na disponibilidade de carboidratos fermentáveis no rúmen, obtido por aumento na digestibilidade ruminal ou no teor dietético de amido (OBA; ALLEN, 2003b). Entretanto, o maior fluxo de propionato do rúmen para o fígado pode resultar em menor consumo de matéria seca (OBA; ALLEN, 2003a).

Durante o processo de fermentação ruminal ocorre produção de metano em função do acúmulo de H₂ produzido, e quando a fermentação ruminal é direcionada para uma menor relação entre acetato e propionato ocorre redução na produção de metano (RUSSELL, 1998; ZHOU; MENG; YU, 2011). A fermentação ruminal do amido comparado a celulose produz mais propionato, principalmente em dietas que resultam em menor pH ruminal (BANNINK et al., 2006). Em situações de baixo pH ruminal não ocorre síntese de metano, mesmo com alta disponibilidade de H₂ (VAN KESSEL; RUSSELL, 1996). Portanto o aumento na disponibilidade de amido no rúmen pode reduzir a produção de metano (HATEW et al., 2015), aumentando a eficiência de uso da energia.

O aumento na digestibilidade do amido quando o milho maduro seco foi substituído por milho úmido ensilado não aumentou produção de leite (35,7 kg/d), mas reduziu o consumo de matéria seca de 23,6 para 22,4 kg/d, resultando em aumento na eficiência alimentar de 1,50 para 1,58 (FERRARETTO; CRUMP; SHAVER, 2013). Utilizando milho maduro reidratado e ensilado em substituição ao milho maduro seco, Bitencourt (2012) observou aumento na eficiência alimentar de 1,49 para 1,55 em função de uma redução numérica no consumo de

matéria seca de 22,1 para 21,6 kg/d e aumento numérico na produção de leite de 33,0 para 33,4 kg/d.

Entretanto, o tamanho de partículas da silagem de milho úmido não afetou produção de leite (36,1 kg/d) ou eficiência alimentar (1,66) na meta análise realizada por Ferrareto, Crump e Shaver (2013). Da mesma forma, o fornecimento de milho maduro reidratado e ensilado com tamanho de partículas de 1.410 ou 2.950 μm não afetou produção de leite (13,3 kg/d) ou consumo de matéria seca (11,2 kg/d) em vacas leiteiras em pastejo com forragem tropical e suplementação de concentrados (BATALHA, 2015).

Dietas com maior teor de amido também podem apresentar maior eficiência alimentar (COSTA et al., 2014). Quando o amido da dieta aumentou de 18,2 para 26,5 % da matéria seca substituindo a casca de soja por milho maduro seco houve aumento na produção de leite de 39,1 para 41,0 kg/d (FREDIN et al., 2015). O aumento no teor de amido da dieta de 21,2 para 31,6 % da matéria seca com substituição de forragem por milho maduro seco ou milho úmido ensilado aumentou produção de leite de 33,9 para 38,6 kg/d (OBA; ALLEN 2003b). Entretanto a utilização de milho maduro seco com menor tamanho de partículas em dietas com maior teor de amido não afetou produção de leite ou eficiência alimentar (FREDIN et al., 2015).

3 REFERÊNCIAS

ABRAMSON, S. M. et al. Starch digestion site: influence of ruminal and abomasal starch infusion on starch digestion and utilization in dairy cows. **Animal Science**, v. 80, p. 1-7, 2005.

ALLEN, M. S. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 83, p. 1598-1624, 2000.

ALLEN, M. S.; BRADFORD, B. J.; OBA, M. BOARD-INVITED REVIEW: The hepatic oxidation theory of the control of feed intake and its application to ruminants. **Journal of Animal Science**, v. 87, n. 10, p. 3317-3334, 2009.

ANDRADE FILHO, R. et al. Degradabilidade ruminal in situ de grãos de milho maduros do tipo flint ou dentado, secos ou reconstituídos e ensilados. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 47, 2010, Salvador, BA. **Anais...**, 2010.

ARCARI, M. A. et al. Effect of substituting dry corn with rehydrated ensiled corn on dairy cow o173, 2016a.

ARCARI, M. A. et al. Effect of the ensiling time of hydrated ground corn on silage composition and in situ starch degradability. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 53, n. 1, p. 60-71, 2016b.

ARGYLE, J. L.; BALDWIN, R. L. Effects of amino acids and peptides on rumen microbial growth yields. **Journal of Dairy Science**, v. 72, p. 2017-2027, 1989.

ASCHENBACH, J. R. et al. RUMINANT NUTRITION SYMPOSIUM : Role of fermentation acid absorption in the regulation of ruminal pH. **Journal of Animal Science**, v. 89, p. 1092-1107, 2011.

BANNINK, A. et al. Estimation of the stoichiometry of volatile fatty acid production in the rumen of lactating dairy cows. **Journal of Theoretical Biology**, v. 238, p. 36-51, 2006.

BATALHA, C. D. A. **Processamento de grãos de milho para vacas leiteiras em pastagem tropical**. 2015. 72 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2015.

BARON, V. S.; STEVENSON, K. R.; BUCHANAN-SMITH, J. G. Proteolysis and fermentation of corn-grain ensiled at several moisture levels and under several simulated storage methods. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 66, p. 451-461, 1986.

BECKMAN, J. L.; WEISS, W. P. Nutrient digestibility of diets with different fiber to starch ratios when fed to lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 88, n. 24, p. 1015-1023, 2005.

BERGMAN, E. N. Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. **Physiological Reviews**, v. 70, p. 567-590, 1990.

BITENCOURT, L. L. **Substituição de milho moído por milho reidratado e ensilado ou melaço de soja em vacas leiteiras**. 2012. 130 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

BROCKMAN, R. P. Effect of insulin on the utilisation of propionate in sheep. **British Journal of Nutrition**, v. 64, p. 95-101, 1990.

BRODERICK, G. A. et al. Quantifying ruminal nitrogen metabolism using the omasal sampling technique in cattle - a meta-analysis. **Journal of Dairy Science**, v. 93, n. 7, p. 3216-3230, 2010.

CALLISON, S. L. et al. Site of nutrient digestion by dairy cows fed corn of different particle sizes or steam-rolled. **Journal of Dairy Science**, v. 84, n. 32, p. 1458-1467, 2001.

CARVALHO, B. F. et al. Fermentation profile and identification of lactic acid bacteria and yeasts of rehydrated corn kernel silage. **Journal of Applied Microbiology**, v. 122, n. 3, p. 589-600, 2017.

CHEN, X. B.; GOMES, M. J. Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives: an overview of the technical details. In: INTERNATIONAL FEED RESOURCES UNIT, 1992, Aberdeen. **Proceedings...** Aberdeen: [s.n.], 1992. p. 1-20.

CLARK, J. H.; KLUSMEYER, T. H.; CAMERON, M. R. Microbial protein synthesis and flows of nitrogen fractions to the duodenum of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 75, n. 8, p. 2304-23, 1992.

CORREA, C. E. S. et al. Relationship between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability. **Journal of Dairy Science**, v. 85, n. 11, p. 3008-12, 2002.

COSTA, F. M. J. et al. Silagem de grãos úmidos de milho de textura dura ou macia em dietas com polpa cítrica para vacas em lactação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 66, p. 203-210, 2014.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; SIMÃO, E. P. 478 cultivares de milho estão disponíveis no mercado de sementes do Brasil para a safra 2014/15. Documento 167, **Embrapa Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, 2014.

DOMBRINK-KURTZMAN, M. A.; BIETZ, J. A. Zein Composition in Hard and Soft Endosperm of Maize. **Cereal Chemistry**, v. 70, n. 1, p. 105-108, 1993.

EKINCI, C.; BRODERICK, G. A. Effect of processing high moisture ear corn on ruminal fermentation and milk yield. **Journal of Dairy Science**, v. 80, n. 12, p. 3298-3307, 1997.

ENGVALL, A. α -Amylase activity in rumen fluid of cows producing milk of low and normal fat content. **Journal of Dairy Science**, v. 63, p. 2012-2019, 1980.

EWING, D. L.; JOHNSON, D. E.; RUMPLER, W. V. Corn particle passage and size reduction in the rumen of beef steers. **Journal of Animal Science**, v. 63, p. 1509-1515, 1986.

FERNANDES, J. **Influência de genótipo, maturidade e tempo de armazenamento na qualidade de silagens de grãos de milho com alta umidade**. 2014. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2014.

FERRARETTO, L. F. et al. Relationships between dry matter content, ensiling, ammonia-nitrogen, and ruminal in vitro starch digestibility in high-moisture corn samples. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 5, p. 3221-7, 2014.

FERRARETTO, L. F.; CRUMP, P. M.; SHAVER, R. D. Effect of cereal grain type and corn grain harvesting and processing methods on intake, digestion, and milk production by dairy cows through a meta-analysis. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 1, p. 533-50, 2013.

FIRKINS, J. L. et al. Effects of grain variability and processing on starch utilization by lactating dairy cattle. **Journal of Animal Science**, v. 79, n. E-Suppl, p. E218-E238, 2001.

FREDIN, S. M. et al. Effects of corn-based diet starch content and corn particle size on lactation performance, digestibility, and bacterial protein flow in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 1, p. 541-53, 2015.

GALYEAN, M. L.; WAGNER, D. G.; OWENS, F. N. Corn particle size and extent of digestion by steers. **Journal of Animal Science**, v. 49, p. 204-210, 1979.

GAO, X.; OBA, M. Effect of increasing dietary nonfiber carbohydrate with starch, sucrose, or lactose on rumen fermentation and productivity of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 1, p. 1-10, 2016.

GOODRICH, R. D.; BYERS, F. M.; MEISKE, J. C. Influence of moisture content, processing and reconstitution on the fermentation of corn grain. **Journal of Animal Science**, v. 41, n. 3, p. 876-881, 1975.

GUALDRÓN-DUARTE, L. B.; ALLEN, M. S. Increased anaplerosis of the tricarboxylic acid cycle decreased meal size and energy intake of cows in the postpartum period. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 6, p. 4425-4434, 2017.

HALL, M. B.; HEREJK, C. Differences in yields of microbial crude protein from in vitro fermentation of carbohydrates. **Journal of Dairy Science**, v. 84, n. 11, p. 2486-2493, 2001.

HATEW, B. et al. Effects of dietary starch content and rate of fermentation on methane production in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 1, p. 486-499, 2015.

HEADLEY, V. E.; PFOST, H. B. A comminution equation relating energy to surface area by log-probability method, **Transactions of the ASAE**, v. 11, p. 331-334, 1968.

HERON, S. J. E.; EDWARDS, R. A.; MCDONALD, P. Changes in the nitrogenous components of gamma-irradiated and inoculated ensiled ryegrass. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 37, p. 979-985, 1986

HOFFMAN, P. C. et al. Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch-protein matrix in high-moisture corn. **Journal of Dairy Science**, v. 94, n. 5, p. 2465-2474, 2011.

HOLT, C. Swelling of golgi vesicles in mammary secretory cells and its relation to the yield and quantitative composition of milk. **Journal of Theoretical Biology**, v. 101, p. 247-261, 1983.

JUNGES, D. et al. Short communication: Influence of various proteolytic sources during fermentation of reconstituted corn grain silages. **Journal of Dairy Science**, v. 100, p. 1-4, 2017.

KLEINSCHMIT, D. H.; KUNG Jr., L. A meta-analysis of the effects of lactobacillus buchneri on the fermentation and aerobic stability of corn and grass and small-grain silages. **Journal of Dairy Science**, v. 89, p. 4005-4013, 2006.

KNOWLTON, K. F.; GLENN, B. P.; ERDMAN, R. A. Performance, ruminal fermentation, and site of starch digestion in early lactation cows fed corn grain. **Journal of Dairy Science**, v. 81, n. 7, p. 1972-1984, 1998.

KOTARSKI, S. F.; WANISKA, R. D.; THURN, K. K. Starch hydrolysis by the ruminal microflora. **The Journal of Nutrition**, v. 122, n. 7, p. 178-190, 1992.

LOPES, F.; COOK, D. E.; COMBS, D. K. Effects of varying dietary ratios of corn silage to alfalfa silage on digestion of neutral detergent fiber in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 9, p. 6291-6303, 2015.

LOPES, N. M. **Efeito de enzimas na digestibilidade ruminal e perda de matéria seca da silagem do grão de milho reidratado**. 2016. 114 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

MACKLE, T. R. et al. Effects of insulin and amino acids on milk protein concentration and yield from dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 82, n. 7, p. 1512-1524, 1999.

MCALLISTER, T. A. et al. Effect of ruminal microbial colonization on cereal grain digestion. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 70, p. 571-579, 1990.

NORDIN, M.; CAMPLING, R. C. Digestibility studies with cows given whole and rolled cereal grains. **Animal Production**, v. 23, n. 3, p. 305-315, 1976.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7th ed. Washington: National Academy of Science, 2001. 408 p.

OBA, M.; ALLEN, M. S. Intraruminal infusion of propionate alters feeding behavior and decreases energy intake of lactating dairy cows. **The Journal of Nutrition**, v. 133, n. 4, p. 1094-1099, 2003a.

OBA, M.; ALLEN, M. S. Effects of corn grain conservation method on feeding behavior and productivity of lactating dairy cows at two dietary starch concentrations. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 1, p. 174-183, 2003b.

OBA, M.; ALLEN, M. S. Effects of corn grain conservation method on ruminal digestion kinetics for lactating dairy cows at two dietary starch concentrations. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 1, p. 184-194, 2003c.

OBA, M.; ALLEN, M. S. Effects of diet fermentability on efficiency of microbial nitrogen production in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 1, p. 195-207, 2003d.

PEREIRA, M. L. **Degradabilidade ruminal in vitro de grãos reidratado e ensilado de milho e sorgo com diferentes granulometrias**. 2012. 62 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

PEREIRA, M. N. et al. Partial replacement of forage with nonforage fiber sources in lactating cow diets . I . Performance and health. **Journal of Dairy Science**, v. 82, p. 2716-2730, 1999.

PEREIRA, M. N.; ARMENTANO, L. E. Partial replacement of forage with nonforage fiber sources in lactating cow diets . II . Digestion and rumen function. **Journal of Dairy Science**, v. 83, p. 2876-2887, 2000.

PEREIRA, M. N. et al. Silagem de milho reidratado na alimentação do gado leiteiro. **Informe Agropecuário Epamig**, v. 37, p. 7-18, 2013.

REIS, R. B. et al. Effects of corn particle size and source on performance of lactating cows fed direct-cut grass-legume forage. **Journal of Dairy Science**, v. 84, n. 2, p. 429-441, 2001.

RÉMOND, D. et al. Effect of corn particle size on site and extent of starch digestion in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 87, p. 1389-1399, 2004.

REYNOLDS, C. K. et al. Net portal-drained visceral and hepatic metabolism of glucose, L-lactate, and nitrogenous compounds in lactating holstein cows. **Journal of Dairy Science**, v. 71, n. 7, p. 1803-1812, 1988.

ROOKE, J. A.; HATFIELD, R. D. Biochemistry of ensiling. In: BUXTON, D. R.; MUCK, R. E.; HARRISON, J. H. **Silage Science and Technology**, Madison, WI, 2003, p. 95-139.

RUSSELL, J. B. The importance of pH in the regulation of ruminal acetate to propionate ratio and methane production in vitro. **Journal of Dairy Science**, v. 81, n. 12, p. 3222-3230, 1998.

RUSSELL, J. B.; WILSON, D. B. Why are ruminal cellulolytic bacteria unable to digest cellulose at low pH? **Journal of Dairy Science**, v. 79, p. 1503-1509, 1996.

SAN EMETERIO, F. S. et al. Effect of coarse or fine grinding on utilization of dry or ensiled corn by lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 83, n. 12, p. 2839-2848, 2000.

SATTER, L. D.; SLYTER, L. L. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro. **British Journal of Nutrition**, v. 32, n. 2, p. 199-208, 1974.

STACK, R. J.; HUNGATE, R. E. Effect of 3-phenylpropanoic acid on capsule and cellulases of ruminococcus albus 8. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 48, n. 1, p. 218-223, 1984.

STEWART, C. L. Factors affecting the cellulolytic activity of rumen contents. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 33, n. 3, p. 497-502, 1977.

STROBEL, H. J.; RUSSELL, J. B. Effect of pH and energy spilling on bacterial protein synthesis by carbohydrate-limited cultures of mixed rumen bacteria. **Journal of Dairy Science**, v. 69, n. 11, p. 2941-2947, 1986.

SUTTON, J. D. et al. Rates of production of acetate, propionate, and butyrate in the rumen of lactating dairy cows given normal and low-roughage diets. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 11, p. 3620-3633, 2003.

TAYLOR, C. C.; ALLEN, M. S. Corn grain endosperm type and brown midrib 3 corn silage: site of digestion and ruminal digestion kinetics in lactating cows. **Journal of Dairy Science**, v. 88, p. 1413-1424, 2005.

THERION, J. J.; KISTNER, A.; KORNELIUS, J. H. Effect of pH on growth rate of rumen amylolytic and lactilytic bacteria. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 44, n. 2, p. 428-434, 1982.

USDA (United States Department of Agriculture/Foreign Agricultural Services). Coarse grains: world market and trade. Washington, 2017, 44 p.

VALLIMONT, J. E. et al. Effects of replacing dietary starch with sucrose on ruminal fermentation and nitrogen metabolism in continuous culture. **Journal of Dairy Science**, v. 87, p. 4221-4229, 2004.

VAN KESSEL, J. S.; RUSSELL, J. B. The effect of pH on ruminal methanogenesis. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 20, p. 205-210, 1996.

WALKER, J. A.; HARMON, D. L. Influence of ruminal or abomasal starch hydrolysate infusion on pancreatic exocrine secretion and blood glucose and insulin concentration in steers. **Journal of Animal Science**, v. 73, p. 3766-3774, 1995.

WILKERSON, V. A.; GLENN, B. P.; MCLEOD, K. R. Energy and nitrogen balance in lactating cows fed diets containing dry or high moisture corn in either rolled or ground form. **Journal of Dairy Science**, v. 80, n. 10, p. 2487-2496, 1997.

YANG, W. Z.; BEAUCHEMIN, K. A.; RODE, L. M. Effects of grain processing, forage to concentrate ratio, and forage particle size on rumen pH and digestion by dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 84, n. 10, p. 2203-2216, 2001.

ZHOU, Z.; MENG, Q.; YU, Z. Effects of methanogenic inhibitors on methane production and abundances of methanogens and cellulolytic bacteria in in vitro ruminal cultures. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 77, n. 8, p. 2634-2639, 2011.

1 4 ARTIGO**2 Lactation performance of dairy cows fed rehydrated and ensiled corn grain differing in**
3 particle size and inclusion in the diet**4 ABSTRACT**

5 Rehydration and ensiling of mature ground corn (REC) can increase starch digestibility,
6 especially if fine ground. Kernels from a high vitreous endosperm ($84 \pm 3 \%$) were either
7 ground using a 3 (Fine) or 9 (Coarse) mm sieve, resulting in geometric mean particle sizes
8 (GMPS) of 1,591 and 2,185 μm before ensiling. Ground corn was rehydrated to achieve 35 %
9 moisture and ensiled in 200 L galloons for 205 days before beginning experimental period.
10 Composite samples of each gallon ($n = 15$ per GMPS) were incubated in rumen cannulated
11 lactating dairy cows before and after ensiling. The DM degradation was measured at 0, 3, 6, 18
12 and 48 hours. Sixteen lactating Holstein dairy cows (152 ± 96 DIM and 35.8 ± 4.4 kg of milk/d)
13 were blocked by parity and milk yield, and randomly assigned to one of four treatments in a 2
14 x 2 factorial arrangement of treatments with a replicated 4×4 latin square design experiment
15 with 14 of adaptation and 7 of data collection. The diets were: 1) high starch and fine REC, 2)
16 high starch and coarse REC, 3) low starch and fine REC, and 4) low starch and coarse REC.
17 High starch diets contained 29.2 and low starch diets contained 23.5 % of starch in DM. The
18 fine ground corn resulted in slower grinding rate (3.9 vs 11.7 ton/h). The REC particle size did
19 not affect DM loss (11.3 % of ensiled), pH (3.8), and N-NH₃ (4.7 % of total N). Ensiling of
20 ground corn increased particles per gram (580 vs 890 particles/g), surface area (22.8 vs 23.4
21 cm^2/g), and effective rumen degradation (34.1 vs 63.7 % of DM) regardless particle size. Fine
22 REC tended to result in lower DMI and DOMI than coarse REC only when fed in high starch
23 diets (20.2 vs 20.7 and 12.6 vs 13.8 kg/d, respectively), compared with fine and coarse REC in
24 low starch diets (21.0 vs 20.7 and 13.6 vs 13.3 kg/d, respectively). The starch concentration or
25 REC particle size did not affect milk yield (31.0 kg/d). Fine REC resulted in greater

26 ECM/DOMI than coarse REC only when fed in high starch diets (2.39 vs 2.08) compared with
27 low starch diets (2.17 vs 2.17). Fine REC tended to increase starch digestibility (97.2 vs 96.4
28 % of intake). In high starch diets, the fine REC increased plasma D-lactate (81.1 vs 60.1 mM)
29 but did not affect in low starch diets. Fine grinding dry corn is slower than coarse grinding and
30 particle size of REC did not affect DM loss. Particle size of REC did not affect milk yield in
31 high or low starch diets and fine REC increased ECM/DOMI when fed in high starch diets.

32 **Key words:** ruminal degradability, starch digestibility, reconstituted corn, corn grain silage.

33

INTRODUCTION

34 Corn hybrids with high content of vitreous endosperm have lower ruminal and intestinal
35 starch digestibility than floury endosperm hybrids (Taylor and Allen, 2005) and are the
36 predominant form of corn cultivated in Brazil (Correa et al., 2002; Cruz et al., 2014). Storage
37 of such hybrids by rehydration and ensiling of ground mature kernels (REC) can increase total
38 tract diet digestibility relative to finely ground mature flint corn (Arcari et al., 2016; Bitencourt,
39 2012). The degradation of prolamin by microbial and plant proteases during ensiling can
40 increase corn digestibility (Heron et al., 1986; Hoffman et al., 2011; Junges et al., 2017) and
41 the gain in digestible starch seems to be related to the duration of storage (Ferraretto et al.,
42 2014; Lopes, 2016). The silage of REC has been shown to be as effective as high-moisture
43 corn silage (HMC) in reducing the prolamin content of corn (Fernandes, 2014) and the increase
44 in starch digestibility can improve lactation performance and/or feed efficiency of dairy cows
45 (Firkins et al., 2001; Ferraretto et al., 2013)

46 Particle size at milling can affect the grinding rate of grains and the cost per ton of corn
47 processed for storage as REC (Headley and Pfof, 1968). Particle size of corn can also
48 determine the degree of prolamin degradation in the silo (Baron et al., 1986). Fine grinding of
49 HMC (1,020 vs. 3,780 μm) increased the total tract starch digestibility, but had no effect on
50 milk yield, DMI and ruminal fermentation profile of cows fed 35 % starch diets (San Emeterio

51 et al., 2000). Reis et al. (2001) observed that fine grinding of HMC (2,220 vs. 3,140 μm)
52 increased milk protein secretion and tended to increase the total tract starch digestibility, but
53 had no effect on ruminal pH and fermentation profile, DMI, and milk yield of cows fed a direct-
54 cut forage, 39 % starch diet.

55 _____
56 Increased ruminal starch digestibility can reduce DMI (Allen, 2000) and the effect of
57 starch digestibility on productivity of dairy cows may differ by concentration of starch in the
58 diet. Oba and Allen (2003a) fed diets with 21.2 or 31.6 % of starch in DM either by partially
59 replacing HMC (1,863 μm) or mature ground corn (885 μm) in the high starch diet with
60 forages. The HMC reduced DMI with high starch but did not affect DMI with low starch,
61 associated to reduced meal size on HMC. The high starch diet increased solids-corrected milk
62 yield compared to the low starch diet for cows fed ground corn, but did not increase for cows
63 fed HMC. The difference in ruminal starch digestibility between HMC and ground corn was
64 greater for high compared with low dietary starch concentration.

65 Therefore, the objective of this study was to evaluate intake, lactation performance,
66 nutrient digestibility, ruminal fermentation profile, and ingestion and chewing behavior of
67 lactating dairy cows fed high or low starch diets containing fine or coarse REC. Our hypothesis
68 is that feeding high starch diets containing fine REC can induce ruminal acidosis, thus
69 impairing performance and that feeding low starch diets formulated with coarsely REC would
70 result in decreased milk yield. High starch diets containing coarse REC and low starch
71 containing fine REC might improve performance and feed efficiency.

72 MATERIAL AND METHODS

73 The experimental protocol was approved by the University of Lavras Bioethic
74 Committee in Utilization of Animals.

75 Rehydrated Corn Grain Silage

76 Kernels from a mature corn hybrid (Dow 2B707, Dow AgroSciences Industrial Ltda, São
77 Paulo, Brazil) with high proportion of vitreous endosperm (84 ± 3 % of endosperm. Correa et
78 al., 2002) were ground with a stationary hammer mill (Nogueira TN-8, Nogueira Máquinas
79 Agrícolas, São João da Boa Vista, Brazil) using either a 3 mm (Fine) or a 9 mm (Coarse) mesh
80 diameter screen. Twenty kernels of various physical forms were randomly selected for vitreous
81 endosperm determination. Briefly, kernels were immersed in distilled water for three minutes
82 and dried with a paper towel and the total endosperm was weighted after pericarp and germen
83 removal. The floury endosperm was removed and the vitreous endosperm was expressed as a
84 percentage of total endosperm. The grinding rate (ton/h) of 30 kg corn samples was measured
85 (N = 39 per particle size). Ground corn was mixed with water in a TMR mixer to achieve at
86 least 35 % moisture for ensiling in 200 L buckets. The mean duration of storage was 247 ± 24
87 d (205 to 289).

88 Fifteen 200 L buckets of each REC were fed during the 84-d experimental period ($126 \pm$
89 4 kg of corn DM/bucket). Composite corn samples were formed per bucket by daily sampling
90 and frozen until analysis. The loss of DM during storage was calculated by measuring the DM
91 concentration of the rehydrated corn before and after ensiling. The DM concentration was
92 measured in a forced air oven at 55 °C for 72 h and subsequent drying at 105 °C for 24 h.
93 Thawed REC samples (25 g) were blended with 225 mL of distilled water and solution pH was
94 measured (HI 2210 pH meter, Hanna Instruments, Woodsocket, RI). This solution was diluted
95 (1:1) with distilled water and the concentration of N-NH₃ was evaluated according to Chaney
96 and Marbach (1962). The proportion of CP as N-NH₃ was determined.

97 Corn particle size was measured before and after ensiling (N = 15 buckets per particle
98 size). The corn samples were dried in a forced air oven at 55 °C for 72 h, as described
99 previously and then were dry-sieved. Samples (125 ± 1.4 g) were dry-sieved for 10 min with a
100 Bertel shaker (Bertel Indústria Metalúrgica Ltda., Caieiras, Brazil) with sieves of square

101 diagonals of 4,750, 2,830, 1,400, 1,000, 600, and 250 μm and pan. The proportion of particles
102 retained on each sieve was determined. The geometrical mean particle size (GMPS, μm),
103 particles per gram, and surface area (cm^2/g) were calculated as in Baker and Herrman (2002).

104 The ruminal in situ DM disappearance of corn samples from 15 buckets before and after
105 ensiling was evaluated in 4 rumen cannulated cows in mid lactation (26.3 ± 3.6 kg of milk) fed
106 a corn silage, soybean meal, and REC based TMR. Corn was dried at 55°C for 72 h and 5.52
107 ± 0.04 g samples were inserted into 10×20 cm non-woven textile bags (NWT – $100 \text{ g}/\text{m}^2$).
108 Incubation times were 0, 3, 6, 18, and 48 h (duplicate bags on each time), and incubations were
109 performed for each time point independently. Bags were soaked for 30 s in warm water before
110 incubations. After removal from the rumen, bags were immersed in icy water for 15 min. The
111 0 h bags were immersed in water at room temperature for 30 min before washing with the
112 incubated bags in 2 washing machine cycles. A 2-pool model was used to describe corn DM
113 degradation kinetics. The fast degradable A fraction (% of DM) was the 0 h bag disappearance
114 and the slowly degradable B fraction was $100 - A$. The fractional degradation rate of B (kd,
115 %/h) was the slope of the linear regression of the natural logarithm of the bag residue as a
116 proportion of the incubated sample size over times 0 to 48. The effective ruminal degradation
117 (ERD) was $A + B \times [\text{kd} / (\text{kd} + \text{kp})]$, where kp is the fractional passage rate of concentrates
118 (6.5 %/h) estimated with the CNCPS equation for the average experimental cow and diet
119 (Tylutki et al., 2008).

120 **Cows and Treatments**

121 The experiment was conducted from January 1st to April 3rd, 2016. Cows were
122 individually fed in an open-walled, sand-bedded tie-stall barn with fans and high pressure
123 sprinklers at the Better Nature Research Center (<http://www.holandesflamma.com.br/>). Sixteen
124 lactating Holstein cows (152 ± 96 DIM, 4 primiparous) formed 4 homogeneous squares by
125 parity (1 vs. > 1) and milk yield for 5 d previous to blocking. Within a square, cows were

126 randomly allocated to a sequence of 4 treatments in 4×4 Latin squares balanced for carry-over
127 effects, with 21-d periods, and 14 d of adaptation to treatments. Treatments were formed by a
128 2×2 factorial arrangement of dietary starch concentration (Low vs. High) and REC particle
129 size (Fine vs. Coarse) (Table 1).

130 Feeds were mixed and offered at 0700 and 1300 h in amounts to allow for 7 to 10 % of
131 offered as daily refusal per cow. Feed was pushed up at least 10 times/d to stimulate intake.
132 Cows were milked 3 times/d starting at 0500, 1300, and 2000 h in an adjacent herringbone
133 parlor. Corn silage DM concentration was measured weekly and REC DM concentration was
134 measured daily with a microwave oven and the TMR was adjusted accordingly.

135 **Sample Collection and Analyses**

136 Samples of orts per cow and feeds were obtained daily during the third week of each
137 experimental period and frozen for the formation of period composites (equal as-fed amounts
138 of daily samples). Period composite samples were dried in forced-air oven at 55 °C for 72 h
139 and ground to pass a 1-mm mesh screen (Wiley mill, Thomas Scientific, Swedesboro, NJ). The
140 DM concentration was determined by drying at 100 °C for 24 h. The CP concentration was
141 determined with a micro Kjeldahl apparatus (AOAC International, 2012), ash by incineration
142 at 550 °C for 8 h, the ash-free NDF by filtration in porous crucibles with heat stable alpha-
143 amylase and sodium sulfite (Van Soest et al., 1991), and the ether extract (EE) as in AOAC
144 International (2012). The NFC fraction was calculated: $100 - (CP + EE + \text{ash} + \text{NDF})$. Starch
145 was analyzed enzymatically according to Hall (2009). The composition of the offered TMR in
146 ingredients was calculated based on the offered as fed amounts of each feed multiplied by its
147 DM concentration (Table 1). The composition of the consumed diet in nutrients was the
148 nutrient intake of all cows on a treatment (offered – orts) divided by the entire experiment DMI
149 of the treatment. The particle size distribution of the fresh TMR was measured on the weekly

150 composites with the Penn State Particle Separator using the 8 and 18 mm diameters screens
151 and pan (Lammers et al., 1996).

152 Milk yield was recorded daily throughout the experiment and the mean yield of d 15 to
153 21 was used to compare treatments. On d 18 to 21, daily milk samples were composed in
154 proportion to the amount produced on each milking. Samples were stored in flasks containing
155 2-bromo-2-nitropropane-1-3-diol under refrigeration until shipping to a commercial
156 laboratory. Milk solids concentration and MUN were measured by mid-infrared analysis
157 (Bentley Instruments Inc., Chaska, MN) at the Laboratory of the Paraná State Holstein
158 Breeders Association (APCBRH, Curitiba, Brazil). Milk energy secretion (Milk E; Mcal/d)
159 was (NRC, 2001): $[(0.0929 \times \% \text{ fat}) + (0.0547 \times \% \text{ protein}) + (0.0395 \times \% \text{ lactose})] \times \text{kg of}$
160 milk . The secretion of ECM (kg/d) was: $\text{Milk E}/0.70$ (assumes 0.70 Mcal/kg of milk with 3.7
161 % fat, 3.2 % protein, and 4.6 % lactose). The BW and BCS were measured on d 21 of each
162 period. The BW was measured after the morning milking and BCS (1 to 5. Wildman et al.,
163 1982) was the mean of 3 independent evaluators.

164 The total tract apparent digestibilities of DM, OM, NDF, and starch were determined by
165 total collection of feces on d 19 to 21. Feces were collected concurrent to defecation during
166 three 8-h sampling periods and weighed. The second and third sampling periods were each
167 delayed by 8 h, thus representing a 24-h collection. Fecal aliquots (equal fresh weight basis)
168 were immediately frozen along the collection period and a composite sample was formed per
169 cow. Composite fecal samples were dehydrated for 72 h at 55 °C in a forced air oven.
170 Concentrations of DM, NDF, starch, and ash were determined as previously described. The
171 daily digestible OM intake (DOMI) was calculated. Feed efficiencies were calculated as milk
172 yield/DMI, ECM/DMI, and ECM/DOMI.

173 Fecal viscosity (cP, centipoise) was measured by an adaptation of the methodology of
174 Cannon et al. (2010). Fecal samples (100 g) were diluted with 130 mL of distilled water,

175 homogenized for 30 s, and strained through 2 layers of cheesecloth. Viscosity was measured
176 in three 60 mL aliquots of the filtered solution with a Brookfield viscometer at 60 rpm
177 (Brookfield Ametek Inc, Middleboro, MA).

178 Total urinary output was collected in buckets, simultaneously to fecal sampling, to
179 estimate the relative ruminal microbial synthesis based on allantoin excretion (mmol/d). A 20
180 % sulfuric acid solution (200 mL) was added to 20 L buckets and urine was added to it during
181 the collection period. At the end of the 3-d collection period, composite urine samples were
182 diluted 1:5 with 4 % sulfuric acid solution and frozen at - 20 °C. Allantoin was analyzed
183 according to Chen and Gomes (1992). The efficiency of microbial growth was estimated as
184 Allantoin/DOMI.

185 Ruminal fluid samples were obtained on d 21 with a flexible oro-gastric tube at $10.5 \pm$
186 0.5 h after the morning feeding. Cows were sampled randomly within squares. Samples were
187 strained through two layers of cheesecloth and the pH was measured immediately. A sample
188 was frozen in liquid nitrogen to suppress fermentation and stored at - 20.0 °C until preparation
189 for analysis of VFA by HPLC (LC-10Ai, Shimadzu Corp., Tokyo, Japan). An ion exclusion
190 column from Shimadzu (Shim-pack SCR-101H; 7.9 mm internal diameter, 30 cm long)
191 operated at 50 °C was used. The mobile phase consisted of 100 mM perchloric acid solution at
192 a flow rate of 0.6 mL/min. The organic acids were detected by UV absorbance. Another ruminal
193 fluid sample was mixed to a 36 % formaldehyde solution for protozoa counting. The sample
194 was stained according to Dehority (1984) and total protozoa was enumerated with an optical
195 microscope in a Neubauer chamber (Warner, 1962).

196 During d 15, 16, and 17, ingestion and chewing behavior were monitored by visual
197 observation of the buccal activities of each cow at 5-min intervals continuously for 24 h. Buccal
198 activities evaluated were: feed ingestion, water ingestion, rumination, and idleness. Ingestion
199 and rumination per unit of DMI were calculated using the intake of the days in which chewing

200 activity was evaluated. A meal was empirically defined by at least two consecutive 5-min
201 ingestion events following at least 10 min of idleness or rumination. To generate the meal
202 pattern data, the minimum 10-min intermeal interval was adopted based on the reasoning of
203 Mullins et al. (2012) for a 12-min interval. Meal duration was the ratio between ingestion time
204 (min/d) and meals/d. The intermeal interval (min) was calculated as total time (1440 min) -
205 ingestion time over the number of meals - 1. The duration of the first daily meal (conditioned
206 meal) was measured with a chronometer. Five evaluators observed the behavior of all cows
207 after offering feed at 0700 h until the last cow finished its first meal.

208 On d 16, the proportion of daily intake in the morning (0700 to 1300 h), afternoon (1300
209 to 1900 h), and night (1900 to 0700 h) was determined by measuring feed availability per cow
210 at 0700, 1300, and 1900 h and orts at 1300, 1900, and 0700 h. Particle size sorting behavior
211 was evaluated as in Leonardi and Armentano (2003). The proportion of particles above the 19
212 mm mesh diameter screen and above and below the 8 mm mesh screen of the Penn State
213 Particle Separator (Lammers et al., 1996) was evaluated at 0700 and 1300 h for the offered
214 TMR and at 1300, 1900, and 0700 h for refusals. Feed refusals at 1300 h were mixed with feed
215 offered at 1300 h for measurement of the offered TMR particle size of each cow. The predicted
216 intake (as-fed basis) of particles on each screen was: % TMR retained on screen \times kg of TMR
217 consumed. The observed intake of particles was: % TMR retained on screen \times kg of TMR
218 offered - % orts retained on screen \times kg of orts. For the calculation of starch and NDF sorting
219 behavior the predicted intake of a nutrient was: % of nutrient in offered TMR DM \times kg of DMI.
220 The observed intake was: % of nutrient in offered TMR DM \times kg of offered TMR DM - % of
221 nutrient in orts DM \times kg of orts DM. The selection index was: $100 \times (\text{observed intake}/\text{predicted}$
222 $\text{intake})$. Sorting values below 100 % represent selective refusal, above 100 % represent
223 preferential intake, and equal to 100 % represent no selection.

224 On d 18, plasma urea-N (PUN) was measured in samples obtained from the coccygeal
225 vessels at 0, 1, 3, 6, 9, 15, and 21 h after morning feeding. After collection in vacutainer tubes
226 with EDTA, blood was centrifuged at 2,000 x g and the plasma was frozen at - 20 °C. The
227 analysis was performed using a commercial kit (Urea Enzimática, Bioclin, Belo Horizonte,
228 Brazil). Blood was also collected 12 h post-feeding in tubes containing potassium fluoride to
229 analyze the concentrations of glucose (Glicose Enzimática Líquida, Doles Reagentes para
230 Laboratórios Ltda, Goiânia, Brazil) and D-lactate (D-Lactate Colorimetric Assay Kit,
231 MAK058, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO). Serum BHB concentration was determined 12 h
232 post-feeding (FreeStyle Optium β -Ketone, Witney, UK). Jugular blood acid-base balance was
233 analyzed 6 h post-feeding. Samples were obtained in heparinized tubes and analyzed with an
234 AGS 22 blood gas analyzer (Drake Eletrônica e Comércio Ltda, São José do Rio Preto, Brazil)
235 less than 1 h after sampling. All samples were collected within a 30 min interval, at random
236 within squares, and were kept under refrigeration from sampling to analysis.

237 **Statistical analysis**

238 All data was analyzed with the MIXED procedure of SAS (SAS University Edition, Cary,
239 NC). The Kenward-Roger method was used to calculate degrees of freedom. Statistical
240 significance was declared at $P \leq 0.05$ and tendency at $0.05 < P \leq 0.15$. The Latin square model
241 had the fixed effects of period (1 to 4), starch (High, Low), and particle size of REC (Fine,
242 Coarse), and the interaction between starch and particle size. Cow was random in the model.
243 The Bonferroni test was performed to detect differences among treatments only after having a
244 $P < 0.15$ for the interaction between starch and particle size. For data obtained over time (PUN),
245 to the previous model were added the fixed effect of sampling time (h), and the two- and three-
246 term interactions between sampling time, starch, and particle size. The whole plot error was
247 the interaction between cow, period, starch, and particle size. First order autoregressive
248 covariance structure was used for PUN over time (Lowest AIC).

249 Grinding rate of corn (N = 39/treatment) and silage variables (N = 15/treatment) were
250 analyzed as completely randomized designs. The particle size and ruminal degradation kinetics
251 of fine and coarse corn was analyzed with a model considering the grain before and after
252 ensiling as repeated measures on the same bucket of REC (N = 15 silos). The model contained
253 the fixed effects of particle size and ensiling, and the interaction between particle size and
254 ensiling. Bucket within particle size was random.

255 RESULTS

256 The composition of the consumed TMR is in Table 1. Dietary starch concentration was
257 29.1 % of DM for the high starch diets and 23.5 % of DM for low starch. The concentration of
258 REC was 22.1 and 14.3 % of DM in diets High and Low, respectively. The nutrient composition
259 of coarsely and finely ground REC was similar (Table 2). Silage DM concentration was 60 %
260 of as fed and pH was 3.8 (Table 3). Silage particle size did not affect the loss of DM during
261 storage (11.3 % of ensiled) and the proportion of N as NH₃ (4.7 %). The grinding rate was 3
262 times faster for coarsely ground compared to finely ground REC ($P < 0.01$).

263 The particle sizes of Fine and Coarse grain and REC are present in Table 4. Fine grinding
264 reduced GMPS from 2,185 to 1,589 μm and increased particles/g and surface area ($P < 0.01$).
265 Ensiling increased the surface area and particles/g ($P \leq 0.02$), but had no effect on GMPS ($P =$
266 0.94). At similar GMPS, ensiling affected ($P \leq 0.04$) the proportion of particles in 6 of the 7
267 particle size ranges evaluated. A trend was detected ($P = 0.12$) for particles/g to be increased
268 more by fine grinding on silage than on grain. Interactions between ensiling and particle size
269 were detected ($P < 0.01$) for the proportion of particles retained on the 1,400 and 1,000 μm
270 mesh screens. Fine grinding increased the proportion of particles in both screens, but the
271 magnitude of the effect on grain differed from silage.

272 Ruminal degradation kinetics of ground corn grain and REC are in Table 5. Fine grinding
273 did not determine the size of the A fraction, estimated by the Deg 0 h degradation ($P = 0.36$).

274 Ensiling increased the A fraction from 12.5 to 52.0 % of DM ($P < 0.01$). Interactions between
275 ensiling and particle size were detected ($P \leq 0.03$) for the 3, 6, 18, and 48 h ruminal
276 degradations. Fine grinding increased the ruminal DM degradability of ground grain at the
277 various incubation times, but particle size did not affect the degradability of REC. Ensiling
278 tended ($P = 0.08$) to reduce the kd of the B fraction (2.03 vs. 2.15 %/h), but particle size did not
279 affect the kd ($P = 0.17$). The estimated ERD was 34.2 % of DM for ground corn grain and 63.8
280 % of DM for REC ($P < 0.01$).

281 Intake, lactation performance, and feed efficiencies are in Table 6. There was a trend (P
282 = 0.08 for the interaction between starch and particle size) for fine grinding of REC to reduce
283 DMI when diet High was fed compared to fine grinding with Low, inducing a trend ($P = 0.12$)
284 for reduced DMI on High compared to Low. Fine REC with diet High tended to reduce DDMI
285 relative to Coarse with High, but particle size of REC did not affect DDMI with diet Low ($P =$
286 0.08 for the interaction between starch and particle size). Milk and ECM did not differ between
287 starch concentrations ($P \geq 0.39$) and particle sizes ($P \geq 0.38$). As the result of reduced intake,
288 Fine with High tended to increase ECM/DMI and ECM/DDMI compared to Coarse with High,
289 but particle size did not affect feed efficiency with Low ($P \leq 0.10$ for the interaction between
290 starch and particle size). High starch reduced milk fat % (3.22 vs. 3.34, $P = 0.04$), increased
291 protein % (3.20 vs. 3.13, $P = 0.03$), and tended to reduce lactose % (4.42 vs. 4.46, $P = 0.06$),
292 but solids yields were not affected by the concentration of starch in the diet ($P \geq 0.19$). Particle
293 size of REC had no effect on milk solids concentrations and yields ($P \geq 0.34$).

294 Table 7 reports the total tract apparent digestibility of nutrients, ruminal microbial yield
295 estimated by the urinary allantoin excretion, plasma glucose and BHB concentrations, and fecal
296 viscosity. The digestibilities of DM, OM, and NDF tended to be reduced by Fine with High
297 compared to Coarse with High, but particle size of REC had no effect on digestibility of Low
298 ($P \leq 0.15$ for the interaction between starch and particle size). The total tract starch digestibility

299 tended ($P = 0.06$) to be increased by fine grinding (97.2 vs. 96.3 %). The daily excretion of
300 urinary allantoin tended to be increased by low starch in the diet ($P = 0.12$) and by coarse
301 grinding of REC ($P = 0.09$), but allantoin excretion per kg of DOMI was similar ($P \geq 0.27$).
302 Plasma glucose concentration was not responsive to treatments ($P \geq 0.24$) and low starch
303 increased BHB ($P = 0.01$). Fecal viscosity was reduced by high starch in the diet ($P = 0.03$).

304 Ruminal fermentation profile is in Table 8. High starch reduced the molar proportions of
305 acetate and butyrate, and the acetate to propionate ratio, and increased the molar proportions of
306 propionate and isoacids ($P < 0.01$). Particle size of REC had no effect on ruminal fermentation
307 profile ($P \geq 0.17$), except for an increase in the proportion of butyrate with coarsely ground
308 REC with diet Low ($P = 0.10$ for the interaction between starch and particle size). There was a
309 trend for Fine with High to increase the concentration of plasma D-lactate compared to Coarse
310 with High ($P = 0.08$ for the interaction between starch and particle size). Ruminal pH also
311 tended to be reduced by Fine with High compared to Coarse with High ($P = 0.15$ for the
312 interaction between starch and particle size). The concentration of total protozoa in ruminal
313 fluid was similar in all treatments ($P \geq 0.42$). Blood pH and acid-base balance (Table 9) did not
314 differ ($P \geq 0.21$), suggesting that treatments did not determine the degree of systemic acidosis.

315 Ingestion and chewing behavior are in Table 10. High starch tended to increase the
316 intermeal interval ($P = 0.12$) and rumination time per day ($P = 0.11$) and per kg of DMI ($P =$
317 0.14) and tended to reduce the ingestion time per day ($P = 0.15$). Cows on High also tended (P
318 $= 0.10$) to consume a larger proportion of the daily intake in the afternoon and consumed a
319 lower proportion of intake at night ($P = 0.02$) than cows on Low. Coarse with High induced a
320 greater proportion of the daily intake in the morning than Coarse with Low ($P = 0.06$ for the
321 interaction between starch and particle size). The REC with fine particles reduced rumination
322 time per day ($P = 0.05$) and ingestion time per kg of DMI ($P = 0.04$) and tended to increase the
323 proportion of daily intake in the afternoon ($P = 0.10$). Meal frequency, size, and duration were

324 not affected by treatments ($P \geq 0.16$). Figure 1 shows that High tended ($P = 0.11$) to induce a
325 lower proportion of ingestion behavior per hour than Low and a trend ($P = 0.06$) for an
326 interaction between particle size and hour of the day was detected. Fine with High reduced (P
327 < 0.05 for the slice option) the proportion of cows with ingestion behavior on the third hour
328 after morning feeding (1000 h).

329 Starch, NDF, and particle size sorting behavior are in Table 11. Coarsely ground REC
330 increased the refusal of NDF compared to fine grinding ($P = 0.03$), but had no effect on starch
331 sorting behavior ($P = 0.56$). The concentration of starch in the diet did not affect starch and
332 NDF sorting behaviors ($P \geq 0.53$). Diet High increased ($P = 0.01$) refusals of long particles ($>$
333 19 mm) and tended ($P = 0.06$) to increase the preferential intake of short particles (< 8 mm) in
334 the morning. Fine REC also tended ($P = 0.06$) to increase the preferential intake of short
335 particles in the morning. Trends ($P \leq 0.11$) for interactions between starch and particle size
336 were detected for sorting of intermediate particles (8 to 19 mm) in the afternoon and for sorting
337 of short and intermediate particles at night. Fine with High increased the refusal of long particles
338 at night, but particle size of REC did not affect sorting behavior of Low. In the afternoon, Fine
339 with High was the only treatment to induce selective refusal of intermediate particles. Orts as a
340 proportion of the offered daily TMR was 7.2 % ($P \geq 0.51$).

341 There was no evidence for an effect of dietary starch concentration and REC particle size
342 ($P \geq 0.24$) on PUN (Figure 2) and MUN (Table 6). Plasma PUN peaked 1 to 3 h post-morning
343 feeding and was lowest in the afternoon.

344 DISCUSSION

345 The increase in grinding rate from 3.9 ton/h with fine grinding of corn to 11.7 ton/h with
346 coarse grinding is of large magnitude. Faster grinding is operationally desirable in most farms
347 from a labor and energy demand standpoint, but it also increases the necessity of water flow
348 for homogeneous hydration of ground corn for storage as REC. Finely and coarsely ground

349 REC had moisture concentrations around 40 % of as fed and similar pH (3.7), DM loss during
350 ensiling (11.3 % of ensiled), and nutrient composition. Lopes (2016) observed increased DM
351 loss of coarse (844 and 1070 μm) compared to finely (584 and 657 μm) ground REC in two
352 experiments with laboratory silos. The DM loss of whole corn was larger than rolled corn stored
353 as HMC and REC (Goodrich et al., 1975). However, the DM loss observed in our experiment
354 did not differ within the range of particle sizes evaluated. Particle size did not affect the storage
355 of corn as REC.

356 The degree of grinding did not affect the ruminal in situ degradation of REC during
357 incubations for 3 to 48 h, but coarsely ground corn was less degraded in the rumen than finely
358 ground corn. Rehydration to 40 % moisture and ensiling of flint corn for 247 d apparently
359 eliminated the impact of particle size on the ruminal degradation of corn. Similarity in the
360 proportion of CP as N-NH₃ (Hoffman et al., 2011) suggests that particle size was not a factor
361 in prolamin degradation during storage in the silo. The size of DM fraction A and the estimated
362 ERD were numerically reduced by coarse grinding of grain and REC, but the difference did
363 not approach statistical significance. Although the in situ technique did not detect difference in
364 ERD in response to particle size, ensiling increased fraction A, the ruminal degradation of DM
365 at all incubation times, and ERD compared to ground corn. The kd of fraction B tended to be
366 reduced by ensiling, since the regression line describing the Ln of bag residues over time
367 becomes flatter with increased fraction A. The ERD estimated by the in situ incubation was
368 34.2 % of DM for ground corn and 63.8 % of DM for REC.

369 The difference in ERD estimates due to ensiling seems to make sense biologically based
370 on in vivo estimates of ruminal starch digestibility obtained with cannulated lactating cows.
371 The ruminal digestibility of starch was 61.5 % of intake for a diet containing silage of floury
372 corn and 29.0 % for a flint corn diet (Taylor and Allen, 2005). Rémond et al. (2004) observed
373 that the change in ruminal digestibility of starch in cows fed mature corn differing in particle

374 size ranged from 35.5 to 69.8 % of intake. Oba and Allen (2003b) observed that ruminal starch
375 digestibility ranged from 45.9 to 71.1 % of intake when diets differed in concentrations of
376 HMC or ground corn. Callison et al. (2001) measured a variation in ruminal starch digestibility
377 of 35.5 to 70.1 % of intake in response to ground corn differing in particle size. Knowlton et
378 al. (1998) observed ruminal starch digestibility of coarsely and finely ground mature corn or
379 HMC of 60.9 to 86.8 % of intake. Fredin et al. (2015) detected variation in ruminal starch
380 digestibility of 75.9 to 85.2 % of intake for ground corn differing in particle size and inclusion
381 in the diet. The proportion of starch digested in the rumen or intestine can have large variation
382 in lactating cows.

383 Although there was no effect of particle size on the ruminal in situ degradation of REC,
384 the total tract starch digestibility tended to be reduced by 0.9 %-units by coarse grinding. Oba
385 and Allen (2003b) observed that the difference in ruminal starch digestibility between HMC
386 and ground corn in high and low starch diets were 24.2 %-units and 12.6 %-units, respectively,
387 but the change in total tract starch digestibility was 1.6 %-units and 0.3 %-units. The
388 compensatory action of the intestines on starch digestibility reduces the difference in ruminal
389 digestibility between diets varying in corn processing and content. Minor change in total tract
390 starch digestibility may occur between diets with large difference in site of starch digestion in
391 the digestive tract (Nozière et al., 2014; Fredin et al., 2015). The trend for increased total tract
392 starch digestibility with Fine suggests that particle size had some effect on REC digestibility
393 in vivo.

394 When finely ground REC was fed with High, there were trends for reduction in total tract
395 NDF digestibility and ruminal pH and for increased plasma D-lactate concentration relative to
396 coarse grinding. Fine with High also reduced DOMI and induced short-term gain in feed
397 efficiency, at similar ECM. These changes suggest that Fine has been more rapidly degraded
398 in the rumen than Coarse and that the inclusion of a rapidly degradable starch source had no

399 impact on performance and measures of ruminal acidosis when the diet had low starch
400 concentration. Oba and Allen (2003a) observed that solids corrected milk was increased when
401 dietary starch concentration was increased with ground corn but did not change when starch
402 was increased with HMC. Slowly degradable starch may be more desirable when the
403 concentration of starch in the diet is high.

404 Ruminal microbial yield per unit of DOMI and protozoa concentration were not affected
405 by variation in starch in the diet and particle size of REC. Increased starch in the diet increased
406 the molar proportion of propionate and reduced acetate in ruminal fluid, as expected (Ferraretto
407 et al. 2013). Particle size had no effect on ruminal fermentation profile, supporting the idea of
408 a minor effect of particle size variation of REC on ruminal starch degradation. The increase in
409 butyrate proportion on Coarse with Low probably reflected an increased contribution of citrus
410 pulp fermentation products to the ruminal VFA pool. The ruminal fermentation of pectin and
411 sugars generates an increased proportion of butyrate in ruminal VFA (Vallimont et al., 2004).
412 The increase in plasma BHB when citrus pulp partially replaced REC may be the reflection of
413 the metabolism of butyrate to BHA at the ruminal epithelium (Bergman, 1990). Fecal viscosity
414 was reduced by increased starch in the diet, supporting the use of the technique to monitor
415 changes in dietary carbohydrate profile of lactating cow diets. Corn silage processed to have
416 short particles also reduced fecal viscosity compared to long particles corn silage in a previous
417 study (Dias Júnior, 2016).

418 The concentration of starch in the diet and REC particle size had no effect on ingestion
419 behavior, except for a trend for increased intermeal interval with high starch in the diet,
420 suggestive of a more fermentable diet (Gualdrón-Duarte and Allen, 2017). Meal size,
421 frequently related to diet fermentability (Oba and Allen, 2003c), was not responsive to diet
422 manipulation in our experiment. Fine grinding reduced rumination (min/d) and the ingestion
423 rate (increased min/kg DMI), and tended to reduce the proportion of daily intake in the

424 afternoon. Fine grinding also reduced the selective behavior against NDF without affecting
425 starch sorting behavior. Fine particles favored selection in favor of small feed particles (< 8
426 mm) in the morning. High starch exacerbated the refusal for long feed particles (> 19 mm) and
427 in favor of short particles in the morning. Voelker and Allen (2003) observed that lactating
428 cows rejected NDF when beet pulp replaced HMC in the diet. A lower proportion of REC
429 substituted by citrus pulp pellets in the diet and coarse grinding of REC apparently reduced the
430 selection in favor of short feed particles. The proportion of cows showing ingestion behavior 3
431 h post-morning feeding was reduced on Fine with High, also suggestive of increased ruminal
432 starch degradation and ruminal acid load on this treatment.

433 CONCLUSION

434 Coarse grinding (9 mm) of corn did not affect grain storage as REC and was 3 x faster
435 than fine grinding (3 mm). Ensiling of mature flint corn for 247 d eliminated the difference in
436 ruminal in situ degradation between coarse and finely ground grain. Total tract starch
437 digestibility tended to be reduced by 0.9 %-units by coarse grinding of REC. Finely ground
438 REC seemed to be more fermentable than coarsely ground REC in vivo. Particle size of REC
439 and dietary starch concentration affected nutrient and feed sorting behavior. When fine
440 grinding was associated to high starch in the diet, intake depression at similar milk yield
441 induced short-term gain in feed efficiency.

442 REFERENCES

443 Allen, M. S. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy
444 cattle. 83:1598-1624.

445 AOAC International. 2012. Official Methods of Analysis. 19th ed. AOAC International,
446 Arlington, VA.

- 447 Arcari, M. A., C. M. M. R. Martins, T. Tomazi, and M. V. Santos. 2016. Effect of the ensiling
448 time of hydrated ground corn on silage composition and in situ starch degradability. *Braz.*
449 *J. Vet. Res. Anim. Sci.* 53:60-71.
- 450 Baker, S., and T. Herrman. 2002. Evaluating particle size. MF-2051. Kansas State Univ.,
451 Manhattan.
- 452 Baron, V. S., K. R. Stevenson, and J. G. Buchanan-Smith. 1986. Proteolysis and fermentation
453 of corn-grain ensiled at several moisture levels and under several simulated storage
454 methods. *Can. J. Anim. Sci.* 66:451-461.
- 455 Batalha, C. D. A. 2015. Processamento de grãos de milho para vacas leiteiras em pastagem
456 tropical. MS Thesis. Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz
457 de Queiroz”, Piracicaba, Brazil.
- 458 Bergman, E. N. 1990. Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract
459 in various species. *Physiol. Rev.* 70:567-590.
- 460 Bitencourt, L. L. 2012. Substituição de milho moido por milho reidratado e ensilado ou melaço
461 de soja em vacas leiteiras. PhD Thesis. Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brazil.
- 462 Callison, S. L., J. L. Firkins, M. L. Eastridge, and B. L. Hull. 2001. Site of nutrient digestion
463 by dairy cows fed corn of different particle sizes or steam-rolled. *J. Dairy Sci.* 84:1458-
464 1467.
- 465 Cannon, S. J., G.C. Fahey Jr., M. R. Murphy, C. L. Dikeman, B. L. Miller, and J. K. Drackley.
466 2010. Inclusion of psyllium in milk replacer for neonatal calves. 1. Effects on growth,
467 digesta viscosity, rate of passage, nutrient digestibilities, and metabolites in blood. *J. Dairy*
468 *Sci.* 93:3652-3660.
- 469 Chaney, A. L., and E. P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and
470 ammonia. *Clin. Chem.* 8:130-132.

- 471 Chen, X. B., and M. J. Gomes. 1992. Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle
472 based on urinary excretion of purine derivatives: An overview of technical details. *Int.*
473 *Feed Res. Unit, Occasional Publ. Rowett Research Institute, Aberdeen, United Kingdom.*
- 474 Correa, C. E. S., R. D. Shaver, M. N. Pereira, J. G. Lauer, and K. Kohn. 2002. Relationship
475 between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability. *J. Dairy Sci.* 85:3008-
476 3012.
- 477 Cruz, J. C., I. A. Pereira Filho, and E. P. Simão. 2014. 478 cultivares de milho estão disponíveis
479 no mercado de sementes do Brasil para a safra 2014/15. Documento 167, Embrapa Milho
480 e Sorgo, Sete Lagoas, Brazil.
- 480 Dehority, B. A. 1984. Evaluation of subsampling and fixation procedures used for counting
481 rumen protozoa. *Appl. Environ. Microbiol.* 48:182-185.
- 482 Dias Júnior, G. S. 2016. Processamento de silagem de milho e suplementação de vacas leiteiras
483 com enzimas fibrolíticas. PhD Thesis. Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brazil.
- 484 Ewing, D. L., D. E. Johnson, and W. V. Rumpler. 1986. Corn particle passage and size
485 reduction in the rumen of beef steers. *J. Anim. Sci.* 63:1509-1515.
- 486 Fernandes, J. 2014. Influência de genótipo, maturidade e tempo de armazenamento na
487 qualidade de silagens de grãos de milho com alta umidade. MS Thesis - Universidade de
488 São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, Brazil.
- 489 Ferraretto, L. F., P. M. Crump, and R. D. Shaver. 2013. Effect of cereal grain type and corn
490 grain harvesting and processing methods on intake, digestion, and milk production by
491 dairy cows through a meta-analysis. *J. Dairy Sci.* 96:533-550.
- 492 Ferraretto, L. F., K. Taysom, D. M. Taysom, R. D. Shaver, and P. C. Hoffman. 2014.
493 Relationships between dry matter concentration, ensiling, ammonia-nitrogen, and ruminal
494 in vitro starch digestibility in high-moisture corn samples. *J. Dairy Sci.* 97:3221-3227.

- 495 Firkins, J. L., M. L. Eastridge, N. R. St-Pierre, and S. M. Nofstger. 2001. Effects of grain
496 variability and processing on starch utilization by lactating dairy cattle. *J. Anim. Sci.*
497 79:E218-E238.
- 498 Fredin, S. M., L. F. Ferraretto, M. S. Akins, S. J. Bertics, and R. D. Shaver. 2015. Effects of
499 corn-based diet starch concentration and corn particle size on lactation performance,
500 digestibility, and bacterial protein flow in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 98:541-553.
- 501 Gualdrón-Duarte, L. B., and M. S. Allen. 2017. Increased anaplerosis of the tricarboxylic acid
502 cycle decreased meal size and energy intake of cows in the postpartum period. *J. Dairy*
503 *Sci.* 100:4425-4434.
- 504 Galyean, M. L., D. G. Wagner, and F. N. Owens. 1979. Corn particle size and extent of
505 digestion by steers. *J. Anim. Sci.* 49:204-210.
- 506 Goodrich, R. D., F. M. Byers, and J. C. Meiske. 1975. Influence of moisture concentration,
507 processing and reconstitution on the fermentation of corn grain. *J. Anim. Sci.* 41:876-881.
- 508 Hall, M. B. 2009. Determination of starch, including maltooligosaccharides, in animal feeds:
509 comparison of methods and a method recommended for AOAC collaborative study. *J.*
510 *AOAC Int.* 92:42-49.
- 511 Headley, V. E., and H. B. Pfost. 1968. A comminution equation relating energy to surface area
512 by log-probability method, *ASAE Trans.* 11:331-334.
- 513 Heron, S. J. E., R. A. Edwards, and P. McDonald. 1986. Changes in the nitrogenous
514 components of gamma-irradiated and inoculated ensiled ryegrass. *J. Sci. Food Agric.*
515 37:979-985.
- 516 Hoffman, P. C., N. M. Esser, R. D. Shaver, W. K. Coblenz, M. P. Scott, A. L. Bodnar, R. J.
517 Schmidt, and R. C. Charley. 2011. Influence of ensiling time and inoculation on alteration
518 of the starch-protein matrix in high-moisture corn. *J. Dairy Sci.* 94:2465-2474.

- 519 Junges, D., G. Morais, M. H. F. Spoto, P. S. Santos, A. T. Adesogan, L. G. Nussio, and J. L. P.
520 Daniel. 2017. Short communication: Influence of various proteolytic sources during
521 fermentation of reconstituted corn grain silages. *J. Dairy Sci.* 100:9048-9051.
- 522 Knowlton, K. F., B. P. Glenn, and R. A. Erdman. 1998. Performance, ruminal fermentation,
523 and site of starch digestion in early lactation cows fed corn grain. *J. Dairy Sci.* 81:1972-
524 1984.
- 525 Lammers, B. P., D. R. Buckmaster, and A. J. Heinrich. 1996. A simple method for the analysis
526 of particle sizes of forages and total mixed rations. *J. Dairy Sci.* 79:922-928.
- 527 Leonardi, C., and L. E. Armentano. 2003. Effect of quantity, quality, and length of alfalfa hay
528 on selective consumption by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:557-564.
- 529 Lopes, N. M. 2016. Efeito de enzimas na digestibilidade ruminal e perda de matéria seca da
530 silagem do grão de milho reidratado. PhD Thesis. Universidade Federal de Lavras, Lavras,
531 Brazil.
- 532 Mullins, C. R., L. K. Mamedova, M. J. Brouk, C. E. Moore, H. B. Green, K. L. Perfield, J. F.
533 Smith, J. P. Harner, and B. J. Bradford. 2012. Effects of monensin on metabolic
534 parameters, feeding behavior, and productivity of transition dairy cows. *J. Dairy Sci.*
535 95:1323-1336.
- 536 Nozière, P., W. Steinberg, M. Silberberg, and D. P. Morgavi. 2014. Amylase addition increases
537 starch ruminal digestion in first-lactation cows fed high and low starch diets. *J. Dairy Sci.*
538 97:2319-2328.
- 539 NRC. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th rev. ed. National Academy Press,
540 Washington, DC.
- 541 Oba, M., and M. S. Allen. 2003a. Effects of corn grain conservation method on feeding
542 behavior and productivity of lactating dairy cows at two dietary starch concentrations. *J.*
543 *Dairy Sci.* 86:174-183.

- 544 Oba, M., and M. S. Allen. 2003b. Effects of corn grain conservation method on ruminal
545 digestion kinetics for lactating dairy cows at two dietary starch concentrations. *J. Dairy*
546 *Sci.* 86:184-194.
- 547 Oba, M., and M. S. Allen. 2003c. Intraruminal infusion of propionate alters feeding behavior
548 and decreases energy intake of lactating dairy cows. *J. Nutr.* 133:1094-1099.
- 549 Reis, R. B., F. San Emeterio, D. K. Combs, L. D. Satter, and H. N. Costa. 2001. Effect of corn
550 particle size and source on performance of lactating cows fed direct-cut grass-legume
551 forage. *J. Dairy Sci.* 84:429-441.
- 552 Rémond, D., J. I. Babrera-Estrada, M. Champion, B. Chauveau, R. Coudure, and C. Poncet.
553 2004. Effect of corn particle size on site and extent of starch digestion in lactating dairy
554 cows. *J. Dairy Sci.* 87:1389-1399.
- 555 San Emeterio, F. S., R. B. Reis, W. E. Campos, and L. D. Satter. 2000. Effect of coarse or fine
556 grinding on utilization of dry or ensiled corn by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*
557 83:2839-2848.
- 558 Taylor, C. C., and M. S. Allen. 2005. Corn grain endosperm type and brown midrib 3 corn
559 silage: site of digestion and ruminal digestion kinetics in lactating cows. *J. Dairy Sci.*
560 88:1413-1424.
- 561 Tylutki, T. P., D. G. Fox, V. M. Durbal, L. O. Tedeschi, J. B. Russell, M. E. Van Amburgh, T.
562 R. Overton, L. E. Chase, and A. N. Pell. 2008. Cornell Net Carbohydrate and Protein
563 System: A model for precision feeding of dairy cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 143:174-
564 202.
- 565 Vallimont, J. E., F. Bargo, T. W. Cassidy, N. D. Luchini, G. A. Broderick, and G. A. Varga.
566 2004. Effects of replacing dietary starch with sucrose on ruminal fermentation and
567 nitrogen metabolism in continuous culture. *J. Dairy Sci.* 87:4221-4229.

- 568 Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral
569 detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*
570 74:3583-3597.
- 571 Voelker, J. A., and M. S. Allen. 2003. Pelleted beet pulp substituted for high-moisture corn: 1.
572 Effects on feed intake, chewing behavior, and milk production of lactating dairy cows. *J.*
573 *Dairy Sci.* 86:3542-3552.
- 574 Warner, A.C. 1962. Enumeration of rumen microorganisms. *Journal of General Microbiology*
575 28:119-128.
- 576 Wildman, E. E., G. M. Jones, P. E. Wagner, R. L. Boman, H. F. Troutt Jr., and T. N. Lesch.
577 1982. A dairy cow body condition scoring system and its relationship to selected
578 production characteristics. *J. Dairy Sci.* 65:495–501.

579 **Table 1.** Ingredient and nutrient composition (% of DM) and particle size distribution (% of as
 580 fed) of the TMR on treatments with high or low starch concentration and finely or coarsely
 581 ground, rehydrated and ensiled corn (REC)

| | High starch | | Low starch | |
|-------------------------------------|-------------|------------|------------|------------|
| | Fine | Coarse | Fine | Coarse |
| Oat hay | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 |
| Corn silage | 43.4 | 43.3 | 43.2 | 43.1 |
| Whole cottonseeds | 8.6 | 8.6 | 8.6 | 8.6 |
| Soybean meal | 18.7 | 18.7 | 18.6 | 18.6 |
| Fine or coarse REC | 22.0 | 22.2 | 14.2 | 14.4 |
| Citrus pulp pellets | | | 8.2 | 8.1 |
| Magnesium oxide | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 |
| Sodium bicarbonate | 0.88 | 0.88 | 0.87 | 0.87 |
| Salt | 0.19 | 0.18 | 0.18 | 0.18 |
| Limestone | 1.37 | 1.37 | 1.37 | 1.36 |
| Minerals and vitamins ¹ | 0.46 | 0.46 | 0.46 | 0.46 |
| CP | 17.0 | 17.2 | 17.0 | 17.0 |
| NDF | 35.1 | 35.0 | 36.1 | 36.1 |
| Forage NDF | 26.2 | 25.7 | 25.6 | 25.6 |
| Ether extract | 5.5 | 5.5 | 5.3 | 5.3 |
| Ash | 7.4 | 7.3 | 7.8 | 7.8 |
| NFC ² | 35.1 | 35.0 | 33.8 | 33.9 |
| Starch | 29.1 | 29.2 | 23.5 | 23.5 |
| Feed particles > 19 mm ³ | 10.0 ± 2.3 | 9.4 ± 2.9 | 11.3 ± 3.3 | 10.6 ± 3.6 |
| Feed particles 8 - 19 mm | 40.1 ± 4.8 | 40.4 ± 4.6 | 41.2 ± 3.9 | 41.2 ± 5.1 |
| Feed particles < 8 mm | 49.9 ± 6.0 | 50.2 ± 5.7 | 47.5 ± 6.3 | 48.2 ± 7.6 |

582 ¹21.5 % Ca, 15.6 % P, 3.0 % Mg, 4.0 % S, 150 ppm Co, 2,000 ppm Cu, 5,000 ppm Mn, 11,900 ppm
 583 Zn, 82 ppm Se, 200 ppm I, 1,000 KIU/kg Vit. A, 220 KIU/kg Vit. D, 6,200 IU/kg Vit. E.

584 ²Nonfiber carbohydrates = 100 – (CP + NDF + Ether extract + Ash).

585 ³Penn State Particle Separator. Mean ± SD of 16 samples/treatment.

586 **Table 2.** Composition of feed ingredients (% of DM). Mean \pm SD of composite samples per
 587 period (N = 4)

| | CP | NDF | EE ¹ | Ash | NFC ² | Starch |
|-----------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------|------------------|----------------|
| Oat hay | 8.7 \pm 0.2 | 67.0 \pm 0.8 | 3.9 \pm 0.3 | 7.4 \pm 0.3 | 13.9 \pm 0.8 | 2.3 \pm 0.2 |
| Corn silage | 7.7 \pm 0.2 | 48.3 \pm 1.7 | 4.0 \pm 0.4 | 4.4 \pm 0.3 | 32.8 \pm 3.2 | 25.0 \pm 3.4 |
| Whole cottonseed | 21.6 \pm 0.2 | 50.4 \pm 0.2 | 20.5 \pm 0.5 | 4.2 \pm 0.1 | 3.5 \pm 0.2 | 8.5 \pm 0.4 |
| Soybean meal | 49.6 \pm 0.9 | 15.5 \pm 0.4 | 2.8 \pm 0.2 | 6.5 \pm 0.3 | 23.6 \pm 0.4 | 2.6 \pm 0.3 |
| REC ³ Fine | 9.1 \pm 0.1 | 9.6 \pm 0.2 | 6.1 \pm 0.3 | 1.3 \pm 0.1 | 74.5 \pm 0.6 | 72.3 \pm 1.7 |
| REC Coarse | 9.0 \pm 0.1 | 9.5 \pm 0.4 | 6.1 \pm 0.2 | 1.5 \pm 0.2 | 74.7 \pm 0.8 | 72.1 \pm 1.8 |
| Citrus Pulp | 7.3 \pm 0.2 | 23.7 \pm 0.5 | 2.9 \pm 0.1 | 7.3 \pm 0.2 | 59.0 \pm 0.6 | 4.5 \pm 0.4 |

588 ¹Ether Extract.

589 ²Nonfiber carbohydrates = 100 – (CP + NDF + EE + Ash).

590 ³Rehydrated and ensiled corn.

591 **Table 3.** Grinding rate, silage DM loss, pH, DM and CP concentrations, and NH₃ of finely or
 592 coarsely ground corn, rehydrated and ensiled. N = 39 for grinding rate and N = 15 for other
 593 variables

| | Fine | Coarse | SEM | <i>P</i> -value |
|-----------------------------------|------|--------|------|-----------------|
| Grinding rate, ton/h | 3.9 | 11.7 | 0.06 | < 0.01 |
| Nonvolatile DM loss, % of ensiled | 11.1 | 11.5 | 0.91 | 0.33 |
| pH | 3.7 | 3.8 | 0.03 | 0.21 |
| DM, % of as fed | 59.7 | 60.3 | 0.36 | 0.26 |
| CP, % of DM | 8.8 | 8.4 | 0.27 | 0.37 |
| NH ₃ , % of N | 4.4 | 5.0 | 0.31 | 0.16 |

594

595 **Table 4.** Particle size distribution (% retained on screens), geometric mean particle size
 596 (GMPS), particles per gram, and surface area of finely or coarsely ground corn before and after
 597 ensiling. N = 15

| | Grain | | Silage | | SEM | P-value ¹ | | |
|---|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|------|----------------------|--------|--------|
| | Fine | Coarse | Fine | Coarse | | E | PS | E×PS |
| 4,750 μm | 1.0 | 4.9 | 0.9 | 5.6 | 0.37 | 0.41 | < 0.01 | 0.31 |
| 2,830 μm | 6.4 | 27.1 | 9.3 | 31.6 | 0.89 | < 0.01 | < 0.01 | 0.36 |
| 1,400 μm | 55.6 ^a | 48.7 ^b | 55.0 ^a | 42.2 ^c | 0.90 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 |
| 1,000 μm | 17.3 ^a | 9.1 ^c | 13.4 ^b | 7.9 ^c | 0.35 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 |
| 0,600 μm | 14.2 | 7.4 | 12.6 | 6.9 | 0.40 | 0.01 | < 0.01 | 0.17 |
| 0,250 μm | 4.8 | 2.5 | 7.6 | 5.1 | 0.35 | < 0.01 | < 0.01 | 0.83 |
| Pan | 0.7 | 0.4 | 1.1 | 0.5 | 0.12 | 0.04 | < 0.01 | 0.19 |
| GMPS, ² μm | 1,591 | 2,185 | 1,586 | 2,186 | 29.9 | 0.94 | < 0.01 | 0.92 |
| Particles/g ² | 809 ^b | 351 ^c | 1,240 ^a | 539 ^{bc} | 77.3 | < 0.01 | < 0.01 | 0.12 |
| Surface area, ² cm ² /g | 24.7 | 20.9 | 25.3 | 21.4 | 0.24 | 0.02 | < 0.01 | 0.98 |

598 ¹E = Ensiling. PS = Particle size. E×PS = Interaction between E and PS. ^{a-c} Means in a row with differing
 599 superscripts differ at $P < 0.05$ by the Bonferroni's test.

600 ²Kansas State University: MF-2051. Baker & Herrman (2002).

601 **Table 5.** Ruminant in situ DM degradation during incubation times 0 to 48 (Deg), kd of fraction
 602 B, and the effective ruminal degradation (ERD) of finely or coarsely ground corn before and
 603 after ensiling. N = 15

| | Grain | | Silage | | SEM | <i>P</i> -value ¹ | | |
|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|------------------------------|--------|--------|
| | Fine | Coarse | Fine | Coarse | | E | PS | E×PS |
| Deg 0 h, % of DM | 14.7 | 10.2 | 52.6 | 51.5 | 2.77 | < 0.01 | 0.36 | 0.53 |
| Deg 3 h, % of DM | 19.1 ^b | 14.5 ^c | 76.3 ^a | 78.4 ^a | 0.78 | < 0.01 | 0.49 | < 0.01 |
| Deg 6 h, % of DM | 22.7 ^b | 18.2 ^c | 78.1 ^a | 78.2 ^a | 0.68 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 |
| Deg 18 h, % of DM | 43.3 ^b | 35.9 ^c | 84.9 ^a | 82.7 ^a | 0.72 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 |
| Deg 48 h, % of DM | 69.9 ^b | 66.6 ^c | 87.8 ^a | 87.6 ^a | 0.72 | < 0.01 | 0.03 | 0.03 |
| kd of fraction B, %/h | 2.21 | 2.09 | 2.10 | 1.96 | 0.077 | 0.08 | 0.17 | 0.85 |
| ERD, % of DM | 36.3 | 32.0 | 64.6 | 62.9 | 2.04 | < 0.01 | 0.17 | 0.49 |

604 ¹E = Ensiling. PS = Particle size. E×PS = Interaction between E and PS. ^{a-c} Means in a row with differing
 605 superscripts differ at *P* < 0.05 by the Bonferroni's test.

606 **Table 6.** Intake, lactation performance, MUN, feed efficiency, BW, and BCS on treatments
 607 with high or low starch concentration and finely or coarsely ground, rehydrated and ensiled
 608 corn

| | High starch | | Low starch | | SEM | <i>P</i> -value ¹ | | |
|-------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------|------------------------------|------|------|
| | Fine | Coarse | Fine | Coarse | | S | PS | S×PS |
| DMI, kg/d | 20.2 ^B | 20.7 ^{AB} | 21.0 ^A | 20.7 ^{AB} | 0.51 | 0.12 | 0.74 | 0.08 |
| DOMI, ² kg/d | 12.6 ^B | 13.8 ^A | 13.6 ^{AB} | 13.3 ^{AB} | 0.46 | 0.50 | 0.23 | 0.08 |
| Milk, kg/d | 31.1 | 30.9 | 31.3 | 30.7 | 1.24 | 0.93 | 0.38 | 0.63 |
| ECM, kg/d | 28.7 | 28.3 | 29.0 | 28.8 | 0.93 | 0.39 | 0.50 | 0.85 |
| Fat, kg/d | 0.991 | 0.980 | 1.008 | 1.023 | 0.0369 | 0.19 | 0.91 | 0.57 |
| Protein, kg/d | 0.976 | 0.966 | 0.962 | 0.941 | 0.0248 | 0.31 | 0.44 | 0.76 |
| Lactose, kg/d | 1.372 | 1.383 | 1.386 | 1.368 | 0.0587 | 0.98 | 0.92 | 0.63 |
| Solids, kg/d | 3.640 | 3.637 | 3.659 | 3.631 | 0.1288 | 0.92 | 0.83 | 0.86 |
| Fat, % | 3.22 | 3.21 | 3.28 | 3.39 | 0.095 | 0.04 | 0.34 | 0.30 |
| Protein, % | 3.20 | 3.20 | 3.13 | 3.13 | 0.106 | 0.03 | 0.90 | 0.99 |
| Lactose, % | 4.42 | 4.42 | 4.46 | 4.45 | 0.044 | 0.06 | 0.87 | 0.80 |
| Solids, % | 11.81 | 11.81 | 11.84 | 11.94 | 0.185 | 0.20 | 0.38 | 0.42 |
| MUN, mg/dL | 18.4 | 18.3 | 18.3 | 17.5 | 0.62 | 0.26 | 0.24 | 0.39 |
| Milk/DMI | 1.53 ^A | 1.47 ^{AB} | 1.47 ^{AB} | 1.45 ^B | 0.059 | 0.09 | 0.10 | 0.15 |
| ECM/DMI | 1.43 ^A | 1.37 ^B | 1.38 ^B | 1.39 ^B | 0.038 | 0.57 | 0.28 | 0.10 |
| ECM/DOMI | 2.39 ^a | 2.08 ^b | 2.17 ^{ab} | 2.17 ^{ab} | 0.063 | 0.37 | 0.04 | 0.04 |
| BW, kg | 607 | 599 | 605 | 597 | 15.9 | 0.52 | 0.21 | 0.99 |
| BCS, 1 to 5 | 2.99 | 3.00 | 2.96 | 2.95 | 0.057 | 0.29 | 0.96 | 0.79 |

609 ¹S = Starch. PS = Particle size. S×PS = Interaction between S and PS. ^{a-b} Means in a row with differing
 610 superscripts differ at *P* < 0.05 by the Bonferroni's test. ^{A-B} Means in a row with differing superscripts
 611 differ at *P* < 0.10 by the Bonferroni's test.

612 ²Digestible OM intake.

613 **Table 7.** Total tract apparent digestibility of DM, OM, NDF, and starch, urinary allantoin
 614 excretion (Allant), Allant over digestible OM intake (DOMI), plasma glucose and BHB
 615 concentrations, and fecal viscosity on treatments with high or low starch concentration and
 616 finely or coarsely ground, rehydrated and ensiled corn

| | High starch | | Low starch | | SEM | <i>P</i> -value ¹ | | |
|----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------|------------------------------|------|------|
| | Fine | Coarse | Fine | Coarse | | S | PS | S×PS |
| DMD, % of intake | 63.9 ^B | 68.0 ^A | 66.9 ^{AB} | 66.7 ^{AB} | 1.41 | 0.53 | 0.18 | 0.12 |
| OMD, % of intake | 66.4 ^B | 70.3 ^A | 69.1 ^{AB} | 68.8 ^{AB} | 1.34 | 0.62 | 0.17 | 0.12 |
| NDFD, % of intake | 50.1 ^B | 55.2 ^A | 54.4 ^{AB} | 54.8 ^{AB} | 2.21 | 0.39 | 0.22 | 0.15 |
| StarchD, % of intake | 97.7 | 96.4 | 96.7 | 96.3 | 0.43 | 0.25 | 0.06 | 0.32 |
| Allant, mmol/d | 232 | 260 | 257 | 279 | 15.2 | 0.12 | 0.09 | 0.83 |
| Allant/DOMI, mmol/kg | 18.9 | 19.3 | 19.3 | 21.4 | 1.17 | 0.27 | 0.27 | 0.42 |
| Glucose, mg/dL | 69.8 | 73.1 | 67.4 | 69.1 | 2.62 | 0.24 | 0.35 | 0.77 |
| BHB, mM | 0.77 | 0.81 | 0.96 | 1.03 | 0.079 | 0.01 | 0.42 | 0.88 |
| Fecal viscosity, cP | 28.8 | 33.0 | 38.4 | 36.1 | 3.92 | 0.03 | 0.72 | 0.25 |

617 ¹S = Starch. PS = Particle size. S×PS = Interaction between S and PS. ^{A-B} Means in a row with differing
 618 superscripts differ at *P* < 0.10 by the Bonferroni's test.

619 **Table 8.** Molar proportions of VFA, pH, and protozoa concentration in ruminal fluid, and
 620 plasma D-lactate concentration on treatments with high or low starch concentration and finely
 621 or coarsely ground, rehydrated and ensiled corn

| | High starch | | Low starch | | SEM | <i>P</i> -value ¹ | | |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------|------------------------------|------|------|
| | Fine | Coarse | Fine | Coarse | | S | PS | S×PS |
| Acetate, % of VFA | 60.6 | 60.5 | 62.8 | 63.0 | 0.74 | < 0.01 | 0.91 | 0.82 |
| Propionate, % of VFA | 24.3 | 24.1 | 22.0 | 20.6 | 0.77 | < 0.01 | 0.17 | 0.35 |
| Butyrate, % of VFA | 10.0 ^b | 9.9 ^b | 10.6 ^b | 11.6 ^a | 0.32 | < 0.01 | 0.15 | 0.10 |
| Isobutyrate, % of VFA | 0.98 | 0.97 | 0.90 | 0.91 | 0.026 | < 0.01 | 0.89 | 0.80 |
| Isovalerate, % of VFA | 2.36 | 2.31 | 2.14 | 2.16 | 0.080 | < 0.01 | 0.82 | 0.60 |
| Valerate, % of VFA | 1.72 | 1.67 | 1.54 | 1.61 | 0.061 | 0.01 | 0.86 | 0.18 |
| Acetate:Propionate | 2.60 | 2.60 | 2.94 | 3.10 | 0.126 | < 0.01 | 0.41 | 0.39 |
| pH | 6.38 ^B | 6.57 ^A | 6.53 ^{AB} | 6.51 ^{AB} | 0.079 | 0.54 | 0.27 | 0.15 |
| Protozoa, x 10 ⁵ /mL | 3.41 | 3.84 | 3.64 | 4.09 | 0.542 | 0.65 | 0.42 | 0.98 |
| D-lactate, mM | 81.1 ^a | 60.1 ^b | 73.8 ^{ab} | 76.2 ^{ab} | 6.91 | 0.50 | 0.17 | 0.08 |

622 ¹S = Starch. PS = Particle size. S×PS = Interaction between S and PS. ^{a-b} Means in a row with differing
 623 superscripts differ at *P* < 0.05 by the Bonferroni's test. ^{A-B} Means in a row with differing superscripts
 624 differ at *P* < 0.10 by the Bonferroni's test.

625 **Table 9.** Jugular blood acid-base balance 6 h post-feeding on treatments with high or low starch
 626 concentration and finely or coarsely ground, rehydrated and ensiled corn

| | High starch | | Low starch | | SEM | <i>P</i> -value ¹ | | |
|--|-------------|--------|------------|--------|-------|------------------------------|------|------|
| | Fine | Coarse | Fine | Coarse | | S | PS | S×PS |
| pH | 7.44 | 7.44 | 7.43 | 7.45 | 0.010 | 0.94 | 0.27 | 0.62 |
| pCO ₂ , ² mmHg | 41.4 | 43.2 | 41.8 | 41.9 | 1.02 | 0.67 | 0.37 | 0.43 |
| pO ₂ , ³ mmHg | 22.7 | 20.8 | 24.9 | 23.7 | 2.28 | 0.27 | 0.50 | 0.89 |
| HCO ₃ ⁻ , mmol/L | 29.1 | 28.8 | 29.0 | 28.8 | 0.61 | 0.97 | 0.64 | 0.94 |
| CO ₂ total, mmol/L | 30.4 | 30.2 | 30.3 | 30.1 | 0.63 | 0.89 | 0.67 | 0.99 |
| Base excess, mmol/L | 5.5 | 4.8 | 5.2 | 5.1 | 0.63 | 0.97 | 0.49 | 0.55 |
| SatO ₂ , ⁴ % | 41.3 | 36.7 | 36.5 | 42.3 | 4.13 | 0.93 | 0.88 | 0.21 |
| O ₂ ct, ⁵ % | 9.3 | 8.4 | 9.7 | 9.5 | 0.94 | 0.42 | 0.57 | 0.70 |

627 ¹S = Starch. PS = Particle size. S×PS = Interaction between S and PS.

628 ²Partial pressure of CO₂.

629 ³Partial pressure of O₂.

630 ⁴% oxygen saturation of hemoglobin.

631 ⁵% oxygen of the total volume.

632 **Table 10.** Ingestion and chewing behavior and proportion of daily intake in periods of the day
 633 on treatments with high or low starch concentration and finely or coarsely ground, rehydrated
 634 and ensiled corn

| | High starch | | Low starch | | SEM | <i>P</i> -value ¹ | | |
|----------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------|------------------------------|------|------|
| | Fine | Coarse | Fine | Coarse | | S | PS | S×PS |
| Meals/d | 10.6 | 10.3 | 11.0 | 10.9 | 0.35 | 0.65 | 0.95 | 0.81 |
| Meal size, kg | 1.90 | 2.05 | 1.94 | 1.89 | 0.083 | 0.45 | 0.46 | 0.21 |
| Meal duration, min | 31.8 | 31.5 | 33.0 | 30.6 | 1.74 | 0.93 | 0.38 | 0.50 |
| First meal duration, min | 43.0 | 42.6 | 46.1 | 41.3 | 2.35 | 0.60 | 0.16 | 0.22 |
| Intermeal interval, min | 116 | 125 | 112 | 114 | 5.1 | 0.12 | 0.30 | 0.48 |
| Ingestion, min/d | 339 | 317 | 356 | 335 | 15.3 | 0.15 | 0.51 | 0.78 |
| Rumination, min/d | 465 | 501 | 468 | 472 | 19.1 | 0.11 | 0.05 | 0.98 |
| Chewing, ² min/d | 803 | 817 | 823 | 806 | 29.9 | 0.84 | 0.94 | 0.49 |
| Ingestion, min/kg DMI | 17.3 | 15.8 | 17.4 | 16.6 | 0.78 | 0.41 | 0.04 | 0.50 |
| Rumination, min/kg DMI | 23.7 | 24.7 | 22.7 | 23.2 | 0.95 | 0.14 | 0.35 | 0.72 |
| Chewing, ² min/kg DMI | 41.0 | 40.6 | 40.2 | 39.9 | 1.43 | 0.50 | 0.75 | 0.95 |
| 0700 - 1300 h, % | 35.4 ^{ab} | 36.4 ^a | 35.4 ^{ab} | 33.6 ^b | 0.84 | 0.06 | 0.62 | 0.06 |
| 1300 - 1900 h, % | 36.7 | 38.0 | 34.5 | 36.7 | 1.35 | 0.10 | 0.10 | 0.70 |
| 1900 - 0700 h, % | 28.0 | 25.6 | 30.1 | 29.8 | 1.78 | 0.02 | 0.31 | 0.46 |

635 ¹S = Starch. PS = Particle size. S×PS = Interaction between S and PS. ^{a-b} Means in a row with differing
 636 superscripts differ at *P* < 0.05 by the Bonferroni's test.

637 ²Chewing = Ingestion + Rumination.

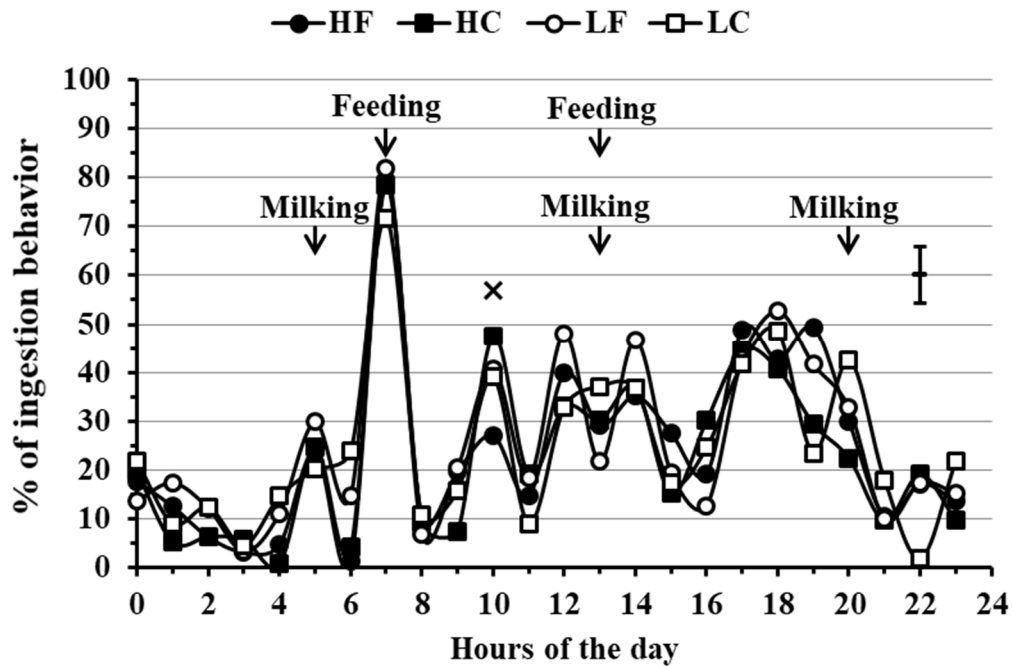
638 **Table 11.** Starch, NDF, and feed particles sorting behavior (observed/predicted,¹ %) on
 639 treatments with high or low starch concentration and finely or coarsely ground, rehydrated and
 640 ensiled corn

| | High starch | | Low starch | | SEM | P-value ² | | |
|----------------------|-------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|------|----------------------|------|------|
| | Fine | Coarse | Fine | Coarse | | S | PS | S×PS |
| Starch sorting | 105 | 105 | 104 | 105 | 0.7 | 0.86 | 0.56 | 0.36 |
| NDF sorting | 98 | 97 | 98 | 96 | 0.5 | 0.53 | 0.03 | 0.34 |
| | 0700 to 1300 h | | | | | | | |
| > 19 mm ³ | 63 | 68 | 78 | 80 | 3.6 | 0.01 | 0.55 | 0.84 |
| 8 -19 mm | 100 | 100 | 100 | 102 | 1.7 | 0.49 | 0.73 | 0.53 |
| < 8 mm | 109 | 105 | 105 | 101 | 2.1 | 0.06 | 0.06 | 0.98 |
| | 1300 to 1900 h | | | | | | | |
| > 19 mm | 69 | 71 | 80 | 77 | 6.6 | 0.19 | 0.91 | 0.66 |
| 8 -19 mm | 96 ^B | 104 ^A | 102 ^{AB} | 100 ^{AB} | 2.9 | 0.69 | 0.40 | 0.11 |
| < 8 mm | 111 | 112 | 113 | 109 | 5.5 | 0.71 | 0.65 | 0.47 |
| | 1900 to 0700 h | | | | | | | |
| > 19 mm | 61 ^a | 77 ^b | 78 ^b | 77 ^b | 5.5 | 0.06 | 0.11 | 0.07 |
| 8 -19 mm | 103 ^A | 100 ^B | 104 ^A | 104 ^A | 1.1 | 0.05 | 0.41 | 0.11 |
| < 8 mm | 113 | 109 | 108 | 108 | 2.4 | 0.27 | 0.32 | 0.38 |
| | Refusals (% of offered) | | | | | | | |
| 0700 to 1300 h | 37.3 ^{AB} | 35.6 ^{AB} | 33.8 ^B | 40.1 ^A | 2.79 | 0.85 | 0.39 | 0.13 |
| 1300 to 1900 h | 38.8 | 37.4 | 42.1 | 40.3 | 1.16 | 0.10 | 0.39 | 0.90 |
| 1900 to 0700 h | 27.2 | 26.1 | 23.6 | 25.6 | 2.69 | 0.46 | 0.88 | 0.58 |
| Daily | 7.1 | 7.3 | 6.7 | 7.6 | 0.77 | 0.95 | 0.51 | 0.61 |

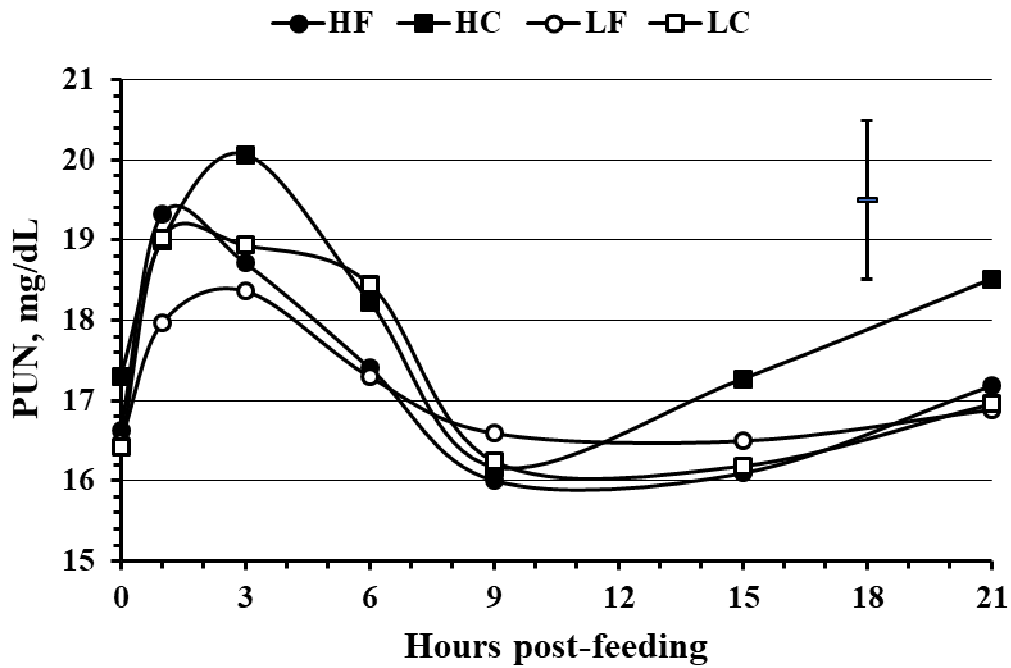
641 ¹> 100 = preferential intake, < 100 = refusal, 100 = no sorting.

642 ²S = Starch. PS = Particle size. S×PS = Interaction between S and PS. ^{a-b} Means in a row with differing
 643 superscripts differ at $P < 0.05$ by the Bonferroni's test. ^{A-B} Means in a row with differing superscripts
 644 differ at $P < 0.10$ by the Bonferroni's test.

645 ³Screens of the Penn State Particle Separator.



646
 647 **Castro. Figure 1.** Proportion of ingestion behavior per hour of the day on treatments high
 648 starch-fine rehydrated and ensiled corn (REC) (● HF), high starch-coarse REC (■ HC), low
 649 starch-fine REC (○ LF), and low starch-coarse REC (□ LC). $P = 0.11$ for starch, $P = 0.28$ for
 650 particle size, $P = 0.98$ for interaction starch \times particle size, $P < 0.01$ for hour of the day, $P =$
 651 0.27 for starch \times hour, $P = 0.06$ for particle size \times hour, and $P = 0.74$ for starch \times particle size
 652 \times hour. $\times = P < 0.05$ for the slice option of SAS. Vertical line represents \pm SEM.



653
 654 **Castro. Figure 2.** Plasma urea-N (PUN) on treatments high starch-fine rehydrated and ensiled
 655 corn (REC) (● HF), high starch-coarse REC (■ HC), low starch-fine REC (○ LF), and low
 656 starch-coarse REC (□ LC). $P = 0.44$ for starch, $P = 0.32$ for particle size, $P = 0.67$ for the
 657 interaction starch \times particle size, $P < 0.01$ for hour post-feeding, $P = 0.92$ for starch \times hour, P
 658 $= 0.96$ for particle size \times hour, and $P = 0.88$ for starch \times particle size \times hour. Vertical line
 659 represents \pm SEM. Cows were fed at 0700 h.