



CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DO GRÃO DE MILHO SOBRE A DIGESTIBILIDADE DO AMIDO EM BOVINOS

Bruna Biava de Menezes¹, Maria da Graça Morais², Rafael de Souza Batista³, Dener Maciel dos Santos³, Raffael Josias Duarte da Silva³, Bárbara Martins Brixner³, Isabella Oliveira Delgado³, Camila de Godoy³

¹Doutoranda em Ciência Animal, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Email: bruna_biava@hotmail.com

²Professora da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Email: morais.mariazinha@gmail.com

³Graduandos em Zootecnia, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Email: rafataylor80@gmail.com; dener_vida@hotmail.com; raffaeljosias@gmail.com; barbarabrixner@hotmail.com; belladellgado@hotmail.com; camiladegodoy-93@hotmail.com

Resumo: Dentre os cereais produzidos no país o milho possui grande importância na alimentação animal, pois é o principal ingrediente utilizado nas dietas devido à alta disponibilidade e valor nutricional. O milho pode ser classificado como duro, farináceo e semiduro, essa qualificação varia conforme sua vitreosidade, que é uma característica relacionada ao tipo de amido em função da proporção amilose:amilopectina. Existem interações entre o tipo de amido, densidade da matriz protéica e resistência do pericarpo que podem dificultar a penetração de microrganismos e a ação de enzimas o que reflete na digestibilidade total do amido. Quanto maior a maturidade e vitreosidade do grão menor a digestibilidade desse milho. Quanto maior a interferência sobre a matriz proteica maior será a digestibilidade total em relação ao grão inteiro, e a combinação de um ou mais processamentos poderá resultar em melhor aproveitamento animal, e quanto maior a digestão do amido no rúmen menor será a perda fecal de amido. Existe diferença na capacidade de aproveitamento do amido entre raças, sendo os zebuínos com maiores perdas fecais os que menos aproveitam quando comparados aos animais cruzados e europeus. Conclui-se que deve haver um cuidado na escolha do milho tendo como base a vitreosidade e a escolha do animal, buscando através dos métodos de processamento melhorar o desempenho e eficiência animal, reduzindo as perdas fecais de amido.

Palavras-chave: amido, amilase, processamento, *Zea mays*

STRUCTURAL CHARACTERISTICS CORN GRAIN ON THE STARCH DIGESTIBILITY IN CATTLE

Abstract: Among cereals in the country, the maize has great importance in animal feed because it is the main ingredient used in diets due to the high availability and nutritional value. Corn can be classified as flint, dent and semi flint, this qualification is as a vitreousness, which is a characteristic related to the type of starch in amylose: amylopectin proportion. There are interactions between the type of starch, the protein matrix density and pericarp resistance that may hinder the penetration of micro-organisms and the action of enzymes which reflects the overall starch digestibility. The higher grain maturity and vitreousness smallest digestibility of this corn. The higher the interference of the protein matrix higher is total digestibility compared to grain, and a combination of one or more processings can result in better animals utilization, and higher starch digestion in the rumen less fecal loss of starch. There is a difference in starch utilization capacity between races, and the zebu with bigger fecal loss that compared to the crossbreds and european animals. It was concluded that there must be careful in choosing the corn based on the vitreousness and the choice of animal, searching through the processing methods to improve animal performance and efficiency, reducing fecal loss of starch.

Keywords: amylase, processing, starch, *Zea may*





INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de grão de milho (MAPA, 2015), e abastece a demanda interna de consumo humano e animal. O milho é o principal ingrediente utilizado nas dietas em confinamento devido a sua elevada disponibilidade no mercado e valor nutricional.

Há uma grande variedade de milho produzido no país, com diferentes graus de vitreosidade, característica relacionada ao tipo de amido em função da relação amilose:amilopectina. A composição do amido e sua interação física com a matriz proteica do grão podem alterar sua digestibilidade (Rooney & Pflugfelder, 1986). O amido do milho é disposto em forma de grânulos revestidos por corpos protéicos (Paes, 2006) o que dificulta o acesso e ação de enzimas.

Grande parte da digestão do amido no rúmen ocorre cinco horas após a ingestão (Owens, 1988). O aumento da quantidade de amido na dieta resulta no aumento da digestão de amido no rúmen, mas a comparação da proporção de amido digerido no rúmen com a digestão do trato digestivo total diminui (Huntington, 1997). A taxa de passagem da digesta depende dos padrões de motilidade e tamanho das partículas, isso é influenciado pela forma em que o milho é ofertado, com ou sem processamento.

O aproveitamento do amido na dieta é influenciado por alguns fatores relacionados ao próprio grão e características do amido, participação na dieta, tipo do processamento do grão, e outros inerentes ao animal (local de digestão e capacidade de aproveitamento) associados ao desempenho. O perfil de carboidratos exerce uma influência sobre a taxa de digestão e produtos da fermentação ruminal determinando a utilização de nutrientes e o desempenho animal (Bitencourt, 2012).

Objetivou-se com essa revisão de literatura elucidar as características do grão de milho e sua classificação a partir da descrição do amido. Descrever os locais de digestão do amido no animal e como a manipulação da dieta (processamento) pode ter efeito sobre o local de digestão. Por fim relatar se existe diferença entre as raças sobre a capacidade de aproveitamento e digestibilidade do amido.

DESENVOLVIMENTO

Características estruturais do grão de milho

O grão de milho é subdividido nas estruturas: pericarpo, endosperma, gérmen e ponta (Paes, 2006). O pericarpo é uma camada de células densas e pouco vacuoladas, e que quanto mais denso, ou seja, quanto mais compactas as células mais sensíveis à alta temperatura, como por exemplo, o efeito de processamento para secagem dos grãos (José et al., 2005). O pericarpo é uma barreira que atua então na permeabilidade da água (umidade) no grão. Segundo Beauchemin et al., (1994) outra função seria sua interferência na digestibilidade do grão, atuando como uma barreira física contra o ataque dos microorganismos e enzimas o que dificulta a digestibilidade. Esta camada representa cerca de 5% do peso do grão, é rica em fibra, porém pobre em amido e proteína (Fornasieri Filho, 1992).

O endosperma corresponde a mais de 80% do peso do grão, é constituído de 86% de amido, 10% de proteína e menores quantidades de cinzas e gordura (Fornasieri Filho, 1992). Têm-se o amido como constituinte principal do endosperma e é caracterizado pela amilose e amilopectina que são unidas por pontes de hidrogênio, mantidos dispostos em forma de grânulos. Estes grânulos de amido são pseudocristais organizados de maneira amorfa ou de forma organizada com regiões de alta e baixa cristalinidade (Rooney & Pflugfelder, 1986). Conforme Theurer (1986), a proporção de amilose e amilopectina varia entre os grãos de cereais.

Os grânulos de amido são envoltos por uma matriz proteica (Duvick, 1961; Wolf et al., 1952), que é esparsa e fragmentada e cuja densidade varia com a localização dos grânulos do grão. Conforme Davide (2009) e Pratt et al. (1995) os grânulos de formato de esferas estão dispersos no endosperma farináceo, já os grânulos helicoidais são mais adensados ou compactados e se encontram na região vítrea que é densa e bem desenvolvida.

A estrutura ou organização física do endosperma depende da interação entre os grânulos de amido e os corpos proteicos, aspecto importante na textura do grão maduro (Duvick, 1961). A fração proteica é composta por proteínas de reserva divididas em duas frações zeínas (prolaminas) e não-zeínas (albumina, globulinas e glutelinas) (Gibbon & Larkins, 2005). A matriz do endosperma é constituída principalmente por glutelinas. Os corpos proteicos são formados em grande parte por prolaminas, que promove a ligação



entre o amido e a matriz do endosperma. O endosperma vítreo possui corpos proteicos maiores e numerosos que no farináceo (Wolf et al., 1952), além de possuírem maior conteúdo de alfa- e gama-zeínas (Dombrink-Kurtzman & Bietz, 1993; Paiva et al., 1991). Segundo Hamaker et al. (1995) as zeínas do milho representam entre 30 a 60% da proteína presente no grão de milho, e conforme Bitencourt (2012) as zeínas possuem grande importância na nutrição de ruminantes. Ao comparar diferentes grãos de milho em diferentes estágios de maturidade observa-se que o milho farináceo, opaco e grãos imaturos contêm menos prolamina do que milho duro e grãos maduros (Davide, 2009).

Em função da distribuição dos grânulos de amido e da matriz proteica, pode-se classificar o endosperma em dois tipos: farináceo e vítreo. Geralmente na periferia do grão contém o endosperma vítreo que confere dureza ao grão (Davide, 2009). A proporção entre o endosperma vítreo e farináceo e endosperma total, é denominada de vitreosidade, fator principal de definição da textura do grão (Shull et al., 1990). Paiva et al. (1991) destacam que a vitreosidade está diretamente relacionada com a composição química do endosperma, e as principais diferenças se devem à composição proteica. Philippeau et al. (2000) reportaram uma correlação positiva entre a quantidade de zeínas (prolaminas) e a vitreosidade do grão, que foi determinada por dissecação manual do endosperma. Mesmo que os híbridos de milho possuam pouca variação na quantidade de amido, os mesmos podem diferir consideravelmente quanto a sua vitreosidade (Szasz et al., 2007).

Pereira et al. (2008) estudaram os mecanismos associados a textura do grão quanto a descrição estrutural e bioquímica da vitreosidade e qualidade proteica. Os resultados indicam que a dureza ou a vitreosidade está associada ao teor de proteína no grão, devido aos corpos proteicos com alta síntese de zeínas que permitem um melhor empacotamento dos componentes do endosperma.

O embrião ou gérmen representa cerca de 11% do peso do grão e é rico em lipídeos e proteína, porém pobre em amido (Fornasieri Filho, 1992). No gérmen é onde está a carga genética para gerar uma nova unidade vegetal, rico em proteína.

O grão de milho possui classificação conforme a relação de endosperma vítreo e farináceo, com textura do tipo: dentado ou farináceo (*Dent*), duro ou vítreo (*Flint*) e semiduros ou dentados. Quanto mais endosperma vítreo mais duro, em contra partida quanto mais endosperma farináceo grão tipo dentado (Correa et al., 2002; Cruz et al., 2004). Desta forma a textura do grão que se caracteriza pela proporção entre as quantidades de endosperma vítreo e farináceo faz com que a vitreosidade do grão seja o fator determinante para a classificação.

Há uma grande variação da vitreosidade no milho produzido no país, onde grande parte do milho cultivado é classificado como duro, com valores de vitreosidade entre 64,2 e 80,0% do endosperma, densidade de 1,268 g/cm³ e contem maior concentração de prolaminas-zeínas envolvendo os grânulos de amido na matriz proteica (Correa et al., 2002).

Segundo Bitencourt (2012), para classificar o milho a indústria e empresas produtoras de sementes consideram o aspecto visual dos grãos, desta forma quando o grão apresenta extremidade superior lisa e arredondada é classificado como grão duro, e quando o milho possuir extremidade superior enrugada, como dentado.

Os grãos de milho usados na alimentação animal contêm proporções variadas dos dois tipos de endosperma (Davide, 2009). Portanto é importante conhecer as características do amido que possuem relação com a digestão e interferem no local de digestão e aproveitamento pelo animal. O amido é digerido por enzimas do animal e dos microrganismos (Berchielli et al., 2006), contudo a taxa de digestão é variável tanto em quantidade quanto ao local de digestão.

Tipos de amido e digestão no trato gastrintestinal

O amido é a principal unidade de reserva energética vegetal, e na semente possui papel importante para a germinação. De modo geral o amido se apresenta como blocos de carboidratos de α -D-glicose de duas formas: amilose e amilopectina. A proporção de amilose pode variar conforme a espécie e dentro de espécie. A amilose é um polímero linear com ligações α -1,4 entre as suas unidades de glicose disposto em dupla hélice, e apresenta capacidade de se ligar ao iodo formando um composto azul (Berchielli et al., 2006). A amilopectina é um polímero maior e ramificado, com cadeias lineares de D-glicose (α -1,4) e com pontos de ramificações (α -1,6) a cada 20 a 25 moléculas de glicose (Rooney & Pflugfelder, 1986). A diferença na estrutura da amilopectina pode exercer propriedades funcionais do amido como a viscosidade, capacidade de hidratação e susceptibilidade às amilases (Berchielli et al., 2006).



Os grânulos de amido são pseudocristais que possuem regiões cristalinas e amorfas, as quais podem influenciar na utilização do amido. A região cristalina, também chamada de micelar, é uma estrutura organizada composta principalmente de amilopectina (Rooney & Pflugfelder, 1986), em forma de estruturas helicoidais duplas estabilizadas por pontes de hidrogênio entre hidroxila (Van Soest et al., 1996). Já a região amorfa é rica em amilose com algumas ramificações de amilopectina e apresenta menor densidade que a área cristalina (Rooney & Pflugfelder, 1986).

Alguns fatores podem gerar variação na digestibilidade do amido como: relação de amilopectina e de amilose, localização e densidade da matriz, característica da camada externa do grânulo, presença da matriz protéica revestindo o grânulo de amido, o método de processamento do grão e a inclusão de fibra na dieta (Harmon & Taylor, 2005; Owens & Zinn, 2005; Turgeon Junior et al., 1983).

No milho existe dificuldade de ataque do amido pelos microrganismos amilolíticos, pois a matriz protéica que envolve os grânulos de amido é resistente à adesão e penetração (MCAllister et al., 1993), o que reduz a hidrólise enzimática (Harmon & Taylor, 2005).

Correa et al. (2002), Pereira et al. (2008) e Ngonyamo-Majee et al. (2008) avaliaram a relação entre a degradabilidade ruminal *in situ* do amido e da matéria seca do milho e a vitreosidade do endosperma, e obtiveram resultados semelhantes, ou seja, uma correlação negativa entre a vitreosidade do endosperma e a degradabilidade do amido e da matéria seca do milho, demonstrando desta forma que a medida que a vitreosidade aumenta a degradabilidade diminui.

Existe forte correlação negativa entre vitreosidade e degradabilidade do amido com menor digestibilidade no rúmen (Taylon & Allien 2005; Philippeau & Michalet-Doureau, 1998) e degradabilidade total do amido (Correa et al., 2002), porém estes efeitos negativos na digestão do amido associados com o endosperma vítreo podem ser solucionados por meio de práticas como a ensilagem (fermentação) e o processamento do milho com alto teor de umidade (Szasz et al., 2007).

Ainda Correa et al. (2002) observaram que o aumento da vitreosidade e da densidade dos híbridos, com o avançar da maturidade, foi acompanhado pela redução na disponibilidade ruminal do amido. Da mesma forma Pereira et al. (2008), estudaram a degradabilidade ruminal de dois híbridos de milho (farináceo e dois vítreos) e avaliaram o efeito da maturidade do grão (colhidos nos estádios dentado inicial, metade da linha do leite e linha negra), obtiveram resultado similar sobre degradabilidade ruminal nos estádios dentado inicial e metade da linha do leite. No entanto observaram efeito negativo da maturidade sobre a degradabilidade ruminal conforme maior vitreosidade do grão.

Como alternativa para maximizar a digestibilidade ruminal e digestão total do amido do milho, o ideal seria promover o rompimento da matriz protéica e/ou aumento da área de exposição ao ataque dos microrganismos que podem ser obtidos por meio de diferentes métodos de processamento de grãos (Spicer et al., 1986). Como por exemplo, o aquecimento na presença ou não de água induz a solubilização do amido e diminui a cristalinidade (Berchielli et al., 2006) favorecendo a digestão do amido.

Aproveitamento do amido nas diferentes partes do trato gastrintestinal

O trato digestivo em ruminantes pode ser dividido em três partes: rúmen-retículo (digestão por fermentação microbiana), abomaso e intestino delgado (digestão por enzimas) e intestino grosso (fermentação). A fermentação gera perdas de incremento calórico (metano e calor) e produção de ácidos graxos voláteis, enquanto que a digestão no intestino delgado fornece glicose. Em dietas com alta concentração de carboidratos não-fibrosos é importante o aporte de proteína degradável no rúmen que atenda a demanda de ácidos graxos voláteis (AGV) e amônia, requeridos para os microrganismos fermentadores (Berchielli et al., 2006). O excesso de AGV ou amônia são prejudiciais na manutenção do ambiente ruminal adequado. Existem vários fatores relacionados com quantidade de amido que chega ao intestino delgado, como a quantidade ingerida, fonte de amido, tamanho de partícula, taxa de digestão e taxa de passagem no rúmen.

O amido que não foi digerido no rúmen atinge o intestino delgado onde será digerido de maneira semelhante aos monogástricos, obtendo valores para digestibilidade intestinal do amido variando de 17,3 a 84,9% (Harmon, 1992). O uso de dietas com alto teor de amido potencialmente digerível no rúmen reduz a quantidade digerida no intestino delgado (Theurer et al., 1999).

A digestão pós-ruminal do amido é realizada por enzimas de origem pancreática (α -amilase) e de células da parede do intestino delgado (principalmente maltase e isomaltase). A produção e secreção de amilase pancreática dependem da quantidade de amido que chega ao intestino, e a atividade dessa enzima



é influenciada pelo pH, onde seu ponto ótimo de ação seria em pH 6,8 e com decréscimo a medida que aumenta acidez. Em relação à maltase atuam sobre a digestão das moléculas segregadas do amido e isomaltase age sobre as ligações α -(1→6) (Berchielli et al., 2006). Segundo Russell et al. (1981) o aumento da idade não influencia na atividade das enzimas maltase e isomaltase. Conforme Taniguchi et al. (1995) a digestão do amido no intestino possui um limite máximo de capacidade de digestão sendo até 800g/dia de amido em novilhos de corte e quantidades superiores causam o amolecimento das fezes. Essa capacidade máxima de digestão no intestino se deve a quantidade limitada de produção de amilase, maltase e isomaltase além de possíveis inibidores, capacidade de absorção limitada de glicose, tempo insuficiente de hidrólise do amido e o não acesso das enzimas ao amido devido a uma barreira física, como por exemplo, a matriz protéica (Owens et al., 1986). Ainda sabe-se que há uma relação entre a digestibilidade total e o teor de amido fecal (figura 2), relacionando a capacidade de digestão e quantidade de amido fornecido.

Têm-se levantado especulações se a amilase pancreática seria o fator limitante da degradação intestinal do amido (Huntington & Junell, 2010). Alguns autores relatam que a produção do pâncreas é limitada e não responde ao aumento de concentração de amido da dieta (Kreikemeier et al., 1990; Larsen & Kristensen, 2009). Contudo, Kreikemeier e Harmon (1995) avaliaram em novilhos a infusão abomasal de glicose, dextrose e amido de milho, observaram que a digesta ileal, era composta em grande parte por dissacarídeos e pouca glicose livre, e concluíram que a digestão seria limitada pela baixa atividade das dissacaridasas. Ainda Harmon (2009) observou em sua revisão que a ingestão de amido parece não interferir nas concentrações das enzimas das células com borda em escova do intestino. Desta forma tem a influência de vários fatores sobre a digestibilidade do amido e apenas um fator de maneira exclusiva (Huntington & Junell, 2010).

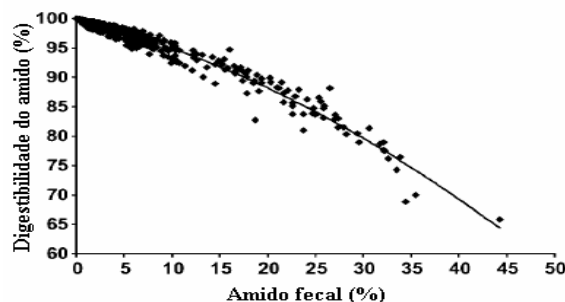


Figura 2. Relação entre a digestibilidade do amido no trato total (%) e o teor de amido fecal (%). Adaptado: Zinn et al. (2007).

O amido que escapa da digestão do intestino delgado é fermentado no intestino grosso ou pode ser eliminado nas fezes. No intestino grosso ocorre a fermentação do amido, tendo novamente perdas por gases e calor, além do não aproveitamento da proteína microbiana. Desta forma Nocek e Tamminga (1991) afirmaram ocorrer perda potencial de proteína microbiana, produzida na fermentação do amido no intestino grosso.

Taylor e Allen (2005) avaliaram grãos de milho com diferentes vitreosidades, um tratamento com 3% de vitreosidade (milho farináceo) e outro com 67,2% de vitreosidade (milho vítreo). Avaliados em vacas canuladas no rúmen e no duodeno, e observaram valores de 57 e 35% para digestibilidade ruminal aparente, 62,1 e 46,3% para digestibilidade ruminal do amido, 39,3 e 56,8% para digestibilidade pós-ruminal do amido, 83,6 e 90,8% de fluxo de amido para o duodeno e 96,3 e 91,7% de digestibilidade aparente total, respectivamente para o milho farináceo e vítreo. Observa-se menor digestibilidade do grão vítreo no rúmen, no entanto o valor da digestibilidade total se aproxima do farináceo o que sugere uma digestão compensatória nos intestinos.

Fornecer amido degradável no rúmen é importante para maximizar a produção de proteína microbiana e com isso reduzir a perda ruminal de amônia (Clark et al., 1992), o que reduz as perdas fecais de amido. Pode-se manipular a proporção de amido digerido no rúmen ou intestino através de processamento do grão (Theurer et al., 1999). Porém, quando ocorre maior digestão ruminal do amido



isso pode deprimir o consumo (Allen, 2000) e aumentar chances de acidose ruminal (Oba & Allen, 2003).

A maior digestibilidade ruminal de amido pode ser uma desvantagem em relação a digestão intestinal, em função de perdas via metano e calor no rúmen, de acordo com Owens et al. (1986) a digestão intestinal do amido é 42% energeticamente mais eficiente que a ruminal. Contudo, quando ocorre o processamento do grão ocorre maior digestibilidade total do amido em relação ao não processado, dessa forma as perdas ruminais por metano e calor seriam compensadas pela maior síntese de proteína microbiana o que contribuiria para melhor desempenho animal (Peres, 2011). Apesar de mais eficiente a digestão no intestino delgado do que a ruminal, a glicose absorvida é utilizada pelas células intestinais (Larsen & Kristensen, 2009; Reynolds et al., 2001).

Aproveitamento de amido versus diferença racial

Há um relato na literatura de diferença no aproveitamento do amido entre as raças, isso é atribuído a diferenças fisiológicas quanto na produção de enzimas e aproveitamento ou uso do amido pelos animais que resultariam em diferença no desempenho e eficiência animal. Channon et al. (2004) sugerem que existe uma correlação genética entre a perda de amido fecal e a eficiência alimentar. O amido fecal é uma variável indicativa de aproveitamento de amido dietético (Zinn et al., 2002), serve também para estimar a energia líquida de manutenção e ganho oriundo do grão de milho (Owens & Zinn, 2005).

Em pesquisas brasileiras foi observado que os zebuínos possuem limite máximo na curva de consumo com menor concentração energética do que bovinos europeus e cruzados (Putrino et al., 2002; Almeida & Lanna, 2003). Existem controvérsias sobre a característica de maior vantagem que os bovinos europeus e cruzados têm em relação aos zebuínos em dietas de alto concentrado, se é em função da diferença de tamanho do trato gastrointestinal, microbiota ou diferenças no metabolismo quanto ao aproveitamento do amido (Moore et al., 1975). Contudo, o que tem se observado é que animais zebuínos ou cruzados com maior grau de sangue zebuíno apresentam maiores perdas fecais de amido. Caetano (2008) observou que animais anelados podem apresentar 28% de perdas de amido a mais do que animais cruzados e/ou europeus.

O trabalho feito por Olbrich Jr. (1996), no qual comparou animais Brahman e Angus submetidos a diferentes dietas com proporções distintas de silagem de milho:concentrado, teve como indicativo o amido fecal e observaram que os novilhos da raça Brahman possuem menor capacidade ou habilidade de digestão do amido em relação ao Angus.

Caetano (2008) trabalhou com animais em confinamento com uma dieta a base de concentrado, cana-de-açúcar e milho moído em diferentes grupos genéticos, e observou que o Nelore teve maior teor de amido fecal (11%) do que animais cruzados (7,6%), e que os machos tiveram maiores perdas fecais de amido (12,6% MS) do que as fêmeas (6,1% MS).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

São muitos os fatores que envolvem a eficiência do uso do milho pelo animal, desde a escolha do grão até fatores relacionados a capacidade de aproveitamento do animal nas diferentes raças. Neste contexto ressalta a importância do processamento do milho como medida para melhorar a degradabilidade do amido o que corrobora com melhor eficiência animal, além de influenciar no sítio de digestibilidade do amido. Desta forma a formulação da dieta deve ser pensada buscando o melhor benefício associando a produção com eficiência animal.

LITERATURA CITADA

- ACARI, M.A.; SANTOS, M.V. Mais milho para produção de leite e menos milho nas fezes. **Revista Leite Integral**, p. 32-36, 2013.
- ALLEN, M.S. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, v. 83, n. 7, p. 1598-1624, 2000.
- ALMEIDA, R.; LANNA, D.P.D. Influence of breed on performance and dry matter intake by feedlot bull calves in Brazil. *Journal of Animal Science*, Savoy, v. 81, suppl. 1, p. 111, 2003.
- BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. *Nutrição de Ruminantes*. Jaboticabal: Funep, 2006.



- BITENCOURT, L.L. Substituição de milho moído por milho reidratado e ensilado ou melaço de soja em vacas leiteiras. 2012. 130f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras, MG, Lavras, 2012.
- CAETANO, M. Estudo das perdas de amido em confinamentos brasileiros e do uso do amido fecal como ferramenta de manejo de bovinos confinados. 2008. 76p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- CHANNON, A.F.; ROWE, J.B.; HERD, R.M. Genetic variation in starch digestion in feedlot cattle and its association with residual feed intake. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, Collingwood, v. 44, p. 469-474, 2004.
- CLARK, J.H.; KLUSMEYER, T.H.; CAMERON, M.R. Microbial protein synthesis and flows of nitrogen fractions to the duodenum. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 75, n. 8, p. 2304-2323, Aug. 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.3008-3012, 2002.
- CRUZ, J.C. et al. Cultivares de milho disponíveis no mercado de sementes do Brasil para a safra 2004/05. 2004. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/>>. Acesso em: jan. 2016.
- DAVIDE, M.C. Controle genético de caracteres associados à dureza dos grãos e à degradabilidade ruminal de milhos tropicais. 2009. 88p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.
- 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.
- DUVICK, D.N. Protein granules of maize endosperm cells. *Cereal Chemistry*, Saint Paul, v. 5, p. 1337-1348, 1961.
- FORNASIERI FILHO, D. A cultura do milho. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 273p.
- GIBBON, B.; LARKINS, B. A. Molecular genetic approaches to developing quality protein maize. *Trends in Genetics*, v. 4, n. 4, p. 227-233, 2005.
- HAMAKER, B.R. et al. Efficient procedure for extracting maize and sorghum kernel proteins reveals higher prolamin contents than the conventional method. *Cereal Chemistry*, v. 72, n. 5, p. 583-588, 1995.
- HARMON, D.L. Understanding starch utilization in the small intestine of cattle. *Asian- Australian Journal of Animal Science*, Seoul, v. 22, n. 7, p. 915-922, July 2009
- HARMON, D.L. Dietary influences on carbohydrases and small intestinal starch hydrolysis capacity in ruminants. *J. Nutr.*, 122:203, 1992.
- HARMON, D.L.; TAYLOR, C.C. Factors influencing assimilation of dietary starch in beef and dairy cattle. In: *SOUTHWEST NUTRITION CONFERENCE, 2005. Nebraska, Proceedings...* Nebraska, 2005. p. 55-66.
- HOOVER, W.H.; MILLER-WEBSTER, T.K. Role of sugars and starch in ruminal fermentation. In: *PROCEEDINGS TRI-STATE DAIRY NUTRITION CONFERENCE, 1998, Ohio. Proceedings...* Ohio: Ohio State University, 1998. p. 1-16.
- HUNTINGTON, G.; JUNELL, B. Starch digestion, glucose absorption and metabolism in beef cattle. In: *SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 3., 2010, Viçosa, MG. Anais...* Viçosa, MG: UFV, 2010. p. 1-22.
- HUNTINGTON, G.B. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *Journal of Animal Science*, v. 75, p. 852-867, 1997.
- JOSÉ, S.C.B.R. et al. Características físicas do pericarpo de sementes de milho associadas com a tolerância à alta temperatura de secagem. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 27, n. 1, p. 125-131, 2005.
- KREIKEMEIER, K.K.; HARMON, D.L. Abomasal glucose, maize starch and maize dextrin infusions in cattle: small-intestinal disappearance, net portal glucose flux and ileal oligosaccharide flow. *British Journal of Nutrition*, Cambridge, v. 73, n. 5, p. 763-772, May 1995.
- KREIKEMEIER, K.K. et al. Steam-rolled wheat diets for finishing cattle: effects of dietary roughage and feed intake on finishing steer performance and ruminal metabolism. *Journal of Animal Science*, Savoy, v. 68, p. 2130-2141, 1990.



- LARSEN, M.; KRISTENSEN, N.B. Effect of abomasal glucose infusion on splanchnic and whole-body glucose metabolism in periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 92, n. 3, p. 1071-1083, Mar. 2009.
- MAPA. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola-Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Disponível em: <www.ibge.gov.br> Acesso em: nov. 2015.
- McALLISTER, T.A. et al. Effect of ruminal microbial colonization on cereal grain digestion. *Journal of Animal Science*, v. 70, n. 2, p. 571-579, 1990.
- MOORE, R.L.; ESSIG, H.W.; SMITHSON, L.J. Influence of breeds of beef cattle on ration utilization. *Journal of Animal Science*, Savoy, v. 41, n. 1, p. 203-207, 1975.
- NGONYAMO-MAJEE, D. et al. Relationships between kernel vitreousness and dry matter degradability for diverse corn germplasm: II. Ruminal and post-ruminal degradabilities. *Animal Feed Science and Technology*, v. 142, p. 259-274, 2008.
- NOCEK, J.E.; TAMMINGA, S. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 74, n. 3/4, p. 3598-3629, May 1991.
- OBA, M.; ALLEN, M.S. Dose-response effects of intraruminal infusion of propionate on feeding behavior of lactating cows in early or midlactation. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 86, n. 9, p. 2922-2931, 2003.
- OLBRICH JUNIOR, J.F. The effect of corn particle size and corn silage level on the performance of Angus (*Bos taurus*) and Brahman (*Bos indicus*) steers. 1996. 181 p. Thesis (PhD in Animal Science) - University of Florida, Gainesville, 1996.
- OWENS, F.N. Ruminal fermentation. The ruminant animal: Digestive physiology and nutrition.1 ed. D. C. Church, ed. Wavel and Press, Inc., Prospect Heights, Illinois. 1988.
- OWENS, F.N.; ZINN, R.A. Corn grain for cattle: influence of processing on site and extent of digestion. In: SOUTHWEST NUTRITION CONFERENCE, 2005. Nebraska, Proceedings...Nebraska, 2005. p. 86-112.
- OWENS, F.N.; ZINN, R.A.; KIN, Y.K. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *Journal of Animal Science*, v. 63, p. 1634-1648, 1986.
- PAES, M.C.D. Aspectos Físicos, Químicos e físicos do Grão de Milho. Circular Técnica, Embrapa Milho e Sorgo. 2006.
- PAIVA, E. et al. Quantitation and distribution of γ -zein in the endosperm of maize kernels. *Cereal Chemistry*, v. 68, n. 3, p. 276-279, 1991.
- PEREIRA, R.C. et al. Relationship between structural and biochemical characteristics and texture of corn grain. *Genetics and Molecular Research*, v. 7, n. 2, p. 498-508, 2008.
- PERES, M.S. Processamento de grãos de milho do tipo flint ou duro e adequação protéica em rações para bovinos em terminação – desempenho animal e digestibilidade do amido. 2011. 88f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011.
- PHILIPPEAU, C.; LANDRY, J.; MICHALET-DOREAU, B. Influence of the protein distribution of maize endosperm on ruminal starch degradability. *Journal of the Science Food and Agriculture*, v. 80, n. 3, p. 404-408, 2000.
- PHILIPPEAU, C.; MICHALET-DOREAU, B. Influence of genotype and stage of maturity of maize on rate of ruminal starch degradation. *Animal Feed Science and Technology*, v. 68, n. 1, p. 25-35, 1997.
- PRATT, R. C. et al. Association of zein classes with maize kernel hardness. *Cereal Chem.* v. 72, p. 162–167. 1995
- PUTRINO, S.M. et al. Desempenho de tourinhos Brangus e Nelore alimentados com diferentes proporções de concentrado. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002, Recife. Anais... Recife: SBZ, p. 4. 2002.
- REYNOLDS, C.K. et al. Effects of post-rumen starch infusion on milk production and energy metabolism in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 84, n. 10, p. 2250-2259, 2001.
- ROONEY, L.W.; PFLUGFELDER, R.L. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *J. Anim. Sci.*, v. 63, p. 1607, 1986.



- RUSSEL, J.B.; COTTA, M.A.; DOMBROWSKI, D.B. Rumen bacterial competition in continuous culture: *Streptococcus bovis* versus *Megasphaera elsdenii*. *Appl. Environ. Microbiol.*, v. 41, p. 1394-1399, 1981.
- SHULL, J. M. et al. Development of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) endosperm in varieties of varying hardness. *Food Structure*, v. 9, n. 3, p. 253-267, 1990.
- SPICER, L.A.; THEURER, C.B.; SOWE, J.; NOON, T.H. Ruminant and post-ruminant utilization of nitrogen and starch from sorghum grain-, corn- and barley-based diets by beef steers. *Journal of Animal Science*, v. 62, p. 521-530, 1986.
- SZASZ, J.I. et al. Influence of endosperm vitreousness and kernel moisture at harvest on site and extent of digestion of high-moisture corn by feedlot steers. *Journal of Animal Science*, v. 85, n. 9, p. 2214-2221, 2007.
- 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, n. 4, p. 1413-1424, 2005.
- THEURER, C.B. et al. Steam-processed corn and sorghum grain flaked at different densities alter ruminal, small intestinal, and total tract digestibility of starch by steers. *Journal Animal Science*, Albany, v. 77, p. 2824-2831, 1999.
- TURGEON JR, O.A.; BRINK, D.R.; BRITTON, R.A. Corn particle size moistures roughage level and start utilization in finishing steers diets. *Journal of Animal Science*, v. 57, n. 3, p. 739-749, 1983.
- WOLF, M.J. et al. Structure of the mature corn kernel:III., microscopic structure of the endosperm of dent corn. *Cereal Chemistry*, v. 29, p. 349-361, 1952.
- VAN SOEST, J.J.G. et al. Crystallinity in starch bioplastics. *Industrial Crops and Products*, v. 5, p. 11-22, 1996.
- ZINN, R.A.; OWENS, F.N.; WARE, R.A. Flaking corn: processing mechanics, quality standards, and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, Savoy, v. 80, p. 1145-1156, 2002.