

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
CURSO DE ZOOTECNIA

JENIFER LIMA DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA MOAGEM NA DIGESTIBILIDADE DOS
NUTRIENTES EM RAÇÕES EXTRUSADAS PARA CÃES E GATOS**

Porto Alegre

2019

JENIFER LIMA DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA MOAGEM NA DIGESTIBILIDADE DOS
NUTRIENTES EM RAÇÕES EXTRUSADAS PARA CÃES E GATOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito para
obtenção do Grau de Zootecnista,
Faculdade de Agronomia,
Universidade Federal do Rio Grande
do Sul.

**Orientador: Alexandre de Mello
Kessler**

Porto Alegre
2019

JENIFER LIMA DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA MOAGEM NA DIGESTIBILIDADE DOS
NUTRIENTES EM RAÇÕES EXTRUSADAS PARA CÃES E GATOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como
requisito para obtenção do Grau de Zootecnista, Faculdade de Agronomia,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Data de aprovação: __/__/____.

Alexandre de Mello Kessler, Prof. Dr. – UFRGS
Orientador

Maitê de Moraes Vieira, Prof^a.Dr^a.– UFRGS
Membro da Banca

Bruna Cristina Kuhn Gomes, Doutoranda – UFRGS
Membro da Banca

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Antonio e Rejane,
que sempre me apoiaram e incentivaram
em todos os momentos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Aos meus amados pais, Rejane e Antonio, que me proporcionaram a oportunidade de me tornar quem sou, pela confiança depositada em mim todos esses anos, e por terem me ensinado todo cuidado e carinho aos animais. A todos da minha família que sempre estiveram presentes em minha vida.

Ao meu namorado Raul, pelo amor, paciência e apoio.

Aos meus gatos: Oliver, Whisk, Minie, Simon e Miu, responsáveis por grande parte da alegria da minha vida.

Aos meus queridos amigos que conheci na faculdade e com quem tive a oportunidade de conviver e compartilhar momentos incríveis.

Aos amigos que fiz durante os estágios curriculares e bolsas da faculdade.

Ao meu orientador, Prof. Alexandre, pelas oportunidades de estágio na área de produção de rações, que me revelaram ainda mais paixão pela área.

RESUMO

Sabe-se que há aumento na digestibilidade dos cereais destinados a cães e gatos através do processo de extrusão, fato este relacionado à gelatinização do amido. Entretanto, características físicas do alimento, como o grau de moagem e a granulometria influenciam diretamente esse aproveitamento. Assim, menores granulometrias permitem maior gelatinização do amido durante o processo de extrusão, havendo maior ação das enzimas digestivas sobre os nutrientes da dieta resultando em uma melhor digestibilidade. Tendo em vista a falta de estudos realizados sobre essas características físicas relacionadas ao aproveitamento dos nutrientes, essa temática é de grande importância para a indústria *pet food*, pois viabiliza o processo de produção e também possibilita uma melhor digestibilidade das rações. Sendo assim, o presente estudo possui como objetivo avaliar, através de revisão bibliográfica, a influência da moagem e da granulometria representada pelo diâmetro geométrico médio de diferentes grãos utilizados sobre o coeficiente de digestibilidade aparente dos nutrientes presentes em rações extrusadas para cães e gatos. O amido é a maior fonte de energia dos grãos utilizados em rações animais, e este possui papel importante por estar ligado diretamente a qualidade final do extrusado, contribuindo para maior expansão e coesão entre os ingredientes e nutrientes da mistura. A melhor moagem dos ingredientes das rações apresentou um maior aproveitamento dos nutrientes e melhor gelatinização do amido. Contudo, o grau de moagem e a granulometria foi dependente do ingrediente utilizado na dieta. A redução do diâmetro geométrico médio não resultou em aumento de digestibilidade das dietas com fonte de arroz, já para o milho e o sorgo a digestibilidade foi maior com menor granulometria.

Palavras-chave: Moagem. extrusão. digestibilidade. amido.

ABSTRACT

It is known that there is an increase in the digestibility of cereals destined to dogs and cats through the extrusion process, a fact related to the gelatinization of the starch. However, the physical characteristics of the food, such as the degree of grinding and granulometry, directly influence this performance. Thus, smaller granulometry allows greater gelatinization of the starch during the extrusion process, with greater action by the digestive enzymes on the nutrients of the diet resulting in a better digestibility. Considering the lack of studies carried out on these physical characteristics related to the use of nutrients, this theme is of great importance for the pet food industry, as it enables the production process and also allows a better digestibility. The objective of this study was to evaluate the influence of milling and granulometry through the mean geometric diameter of different grains used in the diet in response to the apparent digestibility coefficient of the nutrients present in extruded diets for dog and cats. Starch is the major energy source of grains used in animal feed, and this has an important role because it is directly linked to the final quality of the extrudate, which contributes to greater expansion and cohesion between the ingredients and nutrients of the mixture. The grinding of the feed ingredients showed a better utilization of the nutrients and better gelatinization of the starch. However, the degree of milling and granulometry was dependent on the ingredient used in the diet. The mean geometric diameter reduction did not result in an increase in the digestibility of the diets with rice source. For corn and sorghum, the digestibility was higher according to the lower grain size.

Keywords: Grinding. extrusion. digestibility. starch.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Fluxograma de produção de ração extrusada.....	14
Figura 2 – Sistema do processo de extrusão.....	17
Figura 3 – Canhão da extrusora com rosca simples e rosca dupla.....	18
Figura 4 – Moinho de martelos.....	20
Figura 5 – Polímeros de amilose e amilopectina.....	24
Figura 6 – Representação gráfica dos valores médios dos coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) do amido das dietas experimentais.....	29

Lista de tabelas

Tabela 1 – Resultados dos testes de granulometria das fontes de carboidratos utilizados na fabricação das dietas experimentais.....	26
Tabela 2 – Composição química das dietas experimentais.....	27
Tabela 3 – Coeficientes de digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia bruta das rações experimentais. Valores médios.....	27
Tabela 4 – Coeficientes de digestibilidade aparente e energia metabolizável das dietas experimentais.....	30
Tabela 5 – Distribuição do tamanho de partículas, diâmetro geométrico médio (DGM), das dietas experimentais para cães.....	31
Tabela 6 – Composição química e parâmetros de qualidade das dietas experimentais para cães.....	31
Tabela 7 – Consumo e digestibilidade aparente dos nutrientes de dietas experimentais moídas em diferentes tamanhos de peneira e extrusadas sob duas conformações de extrusora, fornecidas para cães.....	32
Tabela 8 - Distribuição granulométrica das misturas de matérias-primas trituradas com peneiras de 0,5 e 1,2 mm.....	33
Tabela 9 - Características de um alimento para gato moído com dois diâmetros geométricos médios (DGM) de matérias-primas e extrusados com seis áreas abertas de extrusora.....	34
Tabela 10 - Consumo e digestibilidade aparente total do trato e características fecais de alimentos para gatos moídos a dois diâmetros geométricos médios (DGM) de matérias-primas e extrusados com duas áreas abertas de extrusora.....	35

Lista de abreviaturas, siglas e símbolos

ATM – Atmosfera

CDA - Coeficiente de digestibilidade aparente

DGM - Diâmetro geométrico médio

EEA - Extrato etéreo ácido

EB - Energia bruta

EM - Energia metabolizável

ENN - Extrativos não nitrogenados

FB - Fibra bruta

MS - Matéria seca

MO - Matéria orgânica

PB - Proteína bruta

mm – Milímetros

µm - Micrômetro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo geral	13
2.2 Objetivos específicos	13
3 REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1 Extrusão	13
3.1.1 Processo de extrusão	16
3.2 Moagem	18
3.2.1 Processo de moagem	20
3.3 Granulometria	21
3.4 Digestibilidade	22
3.4.1 Carboidratos	22
3.4.1.1 Amido	23
3.5 Avaliação da influência da moagem na digestibilidade dos nutrientes em rações extrusadas para cães e gatos	26
4 CONCLUSÃO	36
REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

A população de animais de estimação no Brasil, segundo estimativas pela ABINPET (2018) é de 132,4 milhões, sendo o segundo maior país do mundo em população de cães e gatos e quarto maior do mundo em população total de animais de estimação. O faturamento do mercado *pet* brasileiro em 2017 foi o terceiro maior do mundo, gerando um total de R\$ 20,3 bilhões, sendo 68,6% deste montante representada pela área *pet food*, o segmento que mais cresce.

O crescimento do mercado para alimentos destinados a cães e gatos tem se tornado importante, evidenciado, pela expansão de marcas comerciais prontamente destinadas ao consumo, mais específicas e mais sofisticadas. Há uma ampla variedade de ingredientes e subprodutos usados, mas poucos estudos sobre a digestibilidade de alguns ingredientes (CARCIOFI, 2008).

As rações comerciais para animais de estimação são classificadas conforme seu processamento em seca, semi-úmida e úmida. O maior segmento da indústria *pet food* é composto pelos alimentos secos, e desses, 95% são oriundos da tecnologia de extrusão (PACHECO, 2016).

Extrusão é a conversão de um material sólido em líquido através da aplicação de calor e trabalho mecânico, em um curto espaço de tempo (RESCHSTEINER, 2005). Existem dois tipos de extrusão, a convencional e a termoplástica, as quais serão detalhadas na sequência.

A extrusão convencional também chamada de extrusão a frio é utilizada para a fabricação de massas alimentícias e embutidos cárneos, gerada através de baixa temperatura e trabalho mecânico. Já a termoplástica, é utilizada para a produção de extrusados expandidos, *pellets*, ração animal, plásticos e biofilmes. Esta extrusão é obtida através de altas temperaturas e pressão, combinada a vários processos como a mistura, cisalhamento, cozimento e modelamento (CARCIOFI & PUTAROV, 2016). Esta última, a termoplástica, que será abordada com maior destaque neste trabalho.

A extrusão permite mudanças físicas e químicas dos ingredientes, mudando suas qualidades e propriedades, elevando seu valor nutricional com eficiência e baixo custo relativo. Isso se dá por conta da aplicação elevada de energia termomecânica no processo, que induz a alterações desejáveis e vantajosas aos alimentos destinados à cães e gatos. Dentro dessas alterações, constam o aumento

da digestibilidade dos cereais, a melhora da palatabilidade dos alimentos, as modificações de atributos texturais que melhoram a apreensão e mastigação, a inativação de fatores antinutricionais, a destruição de microrganismos, o aumento de vida de prateleira, a ampliação das possibilidades de uso de matérias primas e a desnaturação de proteínas que favorecem sua digestibilidade (CARCIOFI & PUTAROV, 2016).

O aumento da digestibilidade dos cereais através da extrusão apresenta efeito relevante aos carnívoros, pois, devido à gelatinização e plasticização do amido, torna-se mais digestível. Os grãos de cereais são comumente os maiores constituintes das rações para animais de companhia, representando 30 a 60% da matéria seca (MURRAY et al. 1999) e possuem influência direta na necessidade técnica da extrusora, que demanda de quantidades adequadas de amido para que o processo ocorra (CARCIOFI & PUTAROV, 2016).

As características físicas do alimento, como o grau de moagem e a granulometria, também influenciam diretamente no aproveitamento pelos animais, e segundo Hilcko et al. (2009), o tamanho das partículas dos ingredientes da dieta repercute diretamente, visto que menores granulometrias permitem maior gelatinização do amido durante o processo de extrusão e conseqüentemente melhor digestibilidade, pois há uma maior ação pelas enzimas digestivas sobre os nutrientes da dieta.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Realizar uma revisão de literatura acerca da influência da moagem no processo de extrusão de rações secas para animais de companhia.

2.2 Objetivos específicos

- Revisar o processo da extrusão na indústria de rações para cães e gatos;
- Revisar a influência do tamanho da partícula dos ingredientes na extrusão, e sua influência na digestibilidade dos nutrientes para cães e gatos.

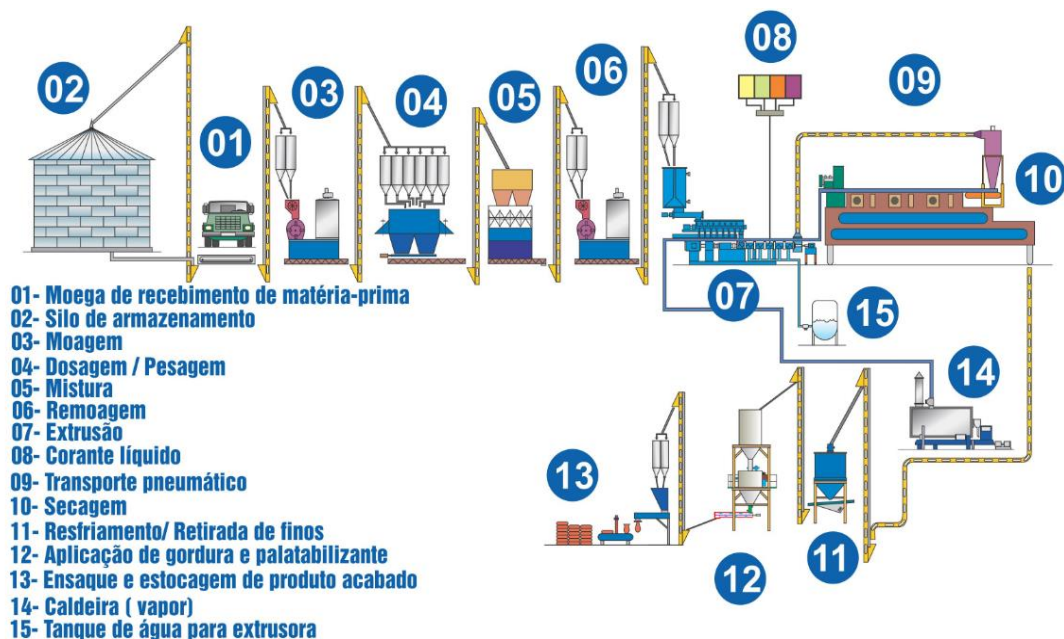
3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Extrusão

Extrusão é um processo industrial, baseado na conversão de um material sólido em líquido através da aplicação de calor e trabalho mecânico, em que esse material é forçado através de uma matriz (RESCHSTEINER, 2005). O processo possui a aplicação de alta temperatura em curto espaço de tempo (high temperature – short time – HTST), com período de permanência no interior do extrusor variando entre 10 a 270 segundos (1 a 2 minutos em média) em que sofrem a ação de vapor, da temperatura (130-180°C) e da pressão (34 a 37 atm) que se tornam responsáveis pela cocção final da mistura e pela gelatinização do amido (MURAKAMI, 2010).

As etapas que compreendem a produção de rações extrusadas desde o recebimento da matéria prima até a finalização como produto acabado estão exemplificadas na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma de produção de ração extrusada.



Fonte: Site Ferraz Máquinas e Engenharias LTDA. Disponível em: <http://www.ferrazmaquinas.com.br/conteudo/fluxograma-de-producao-de-racao-fareladaextrusada.html>> Acesso em: 06 de jun. 2019.

No decorrer da extrusão dos alimentos, o tamanho das partículas de cereais e a configuração da extrusora induzem a alterações físicas nos ingredientes, que podem modificar sua absorção e metabolismo no organismo animal, com prováveis benefícios à saúde. No decurso deste processo, dietas para cães e gatos podem passar por mudanças físicas e químicas do qual alteram a qualidade final do produto. A extrusão envolve mudanças como a formação de compostos de *Maillard*, provenientes da reação entre aminoácidos alcalinos e açúcares redutores, sendo o primeiro fornecedor de um grupamento amina e o segundo de um grupamento carbonila e originando no final da reação substâncias que podem conferir cor e aroma ao produto final, mas podendo gerar indisponibilidade de aminoácidos para o uso animal. Entretanto, pode o processo texturizar e desnaturar proteínas, tornando mais digestível o alimento por conta de mudanças na sua estrutura, além de ser capaz de inativar fatores proteicos nutricionalmente ativos por meio da destruição da integridade de suas estruturas e inibir suas atividades (ROBERTI FILHO, 2013).

Sabe-se que os grãos são os maiores constituintes das rações para cães e gatos, porque são mais baratos que os ingredientes de origem animal, e também

devido à necessidade técnica da extrusora que requer quantidades adequadas de amido para processar o alimento. O ganho em digestibilidade e palatabilidade dos cereais pode ser considerado como o efeito mais evidente obtido através da extrusão em virtude da gelatinização e plasticização do amido, que torna-se mais digerível pelas enzimas do trato digestório dos carnívoros. O processo de extrusão pode ser influenciado diretamente pela forma física e tamanho do grânulo do amido. De modo geral, os ingredientes amiláceos estão ligados diretamente à qualidade final do extrusado, visto que proporcionam maior coesão entre os ingredientes e nutrientes da mistura (CARCIOFI & PUTAROV, 2016).

No decorrer do processo, os grânulos de amido recebem umidade, calor, atrito mecânico, corte e pressão ocorrendo assim o fenômeno de gelatinização provocado pela quebra de pontes de hidrogênio, os grupos hidroxilas das glicoses das áreas cristalinas são hidratados e o grânulos incham, derretem e conseqüentemente perdem sua estrutura cristalina (CARCIOFI & PUTAROV, 2016). O grau de moagem (tamanho de partículas) juntamente com as condições de extrusão (tempo de retenção, umidade, transferência de energia térmica e mecânica) determinam o índice de gelatinização.

Ocorre também o aumento da viscosidade dos grânulos conforme o progressivo aumento de temperatura e umidade, que fazem com que absorvam água e percam sua birrefringência (CARCIOFI & PUTAROV, 2016). As moléculas, nos grãos, de amilose e amilopectina são compostas por cadeias de glicose e organizam-se em estruturas cristalinas altamente ordenadas denominadas grânulos. Esta organização concede a característica de birrefringência, típica de substâncias cristalinas organizadas (GONÇALVES, 2016).

No interior do canhão, o amido gelatinizado pode se associar com a gordura presente e originar complexos, como o amido-lipídio, que são originados pelo encapsulamento de moléculas de triglicérides no interior das cadeias de amilose. Esses complexos de amilose-lipídios podem alterar a textura e expansão dos *kibbles* (grão de ração formado), pois quanto maior o conteúdo interno de gordura da ração, menor é a eficiência da extrusão, reduzindo o seu cozimento e proporcionando a formação de *kibbles* pouco expandidos e duros (CARCIOFI & PUTAROV, 2016).

A extensão da gelatinização do amido gerada pelo processo de extrusão se expressa em porcentagem, tornando-se um diagnóstico importante para aferição e

monitoramento da eficiência do processo de cozimento do alimento (GONÇALVES, 2016).

O amido quando devidamente extrusado, proporciona digestibilidade aparente superior a 95% para gatos e 98% para cães (CARCIOFI & PUTAROV, 2016). Como citado por Roberti Filho (2013), amostras de amido gelatinizado são mais susceptíveis à degradação pela alfa-amilase do que amostras de amido cru.

O alimento com cozimento inadequado ou mal extrusado, é capaz de levar o animal a apresentar quadros de diarreia. Entretanto, quando há excesso de cozimento, provoca deficiências, podendo haver indisponibilidade de alguns nutrientes da ração. Portanto, há a necessidade de ajuste destes nutrientes, pois há perda significativa daqueles que são sensíveis ao calor. Um exemplo é a taurina para gatos, que tem aumentada significativamente a sua inclusão na dieta em função das perdas no cozimento, para que não ocorra deficiência no animal MURAKAMI (2010).

3.1.1 Processo de extrusão

O sistema do processo de extrusão compõe-se essencialmente de um alimentador, um pré-condicionador, a extrusora e por fim, a matriz e o corte (Figura 2).

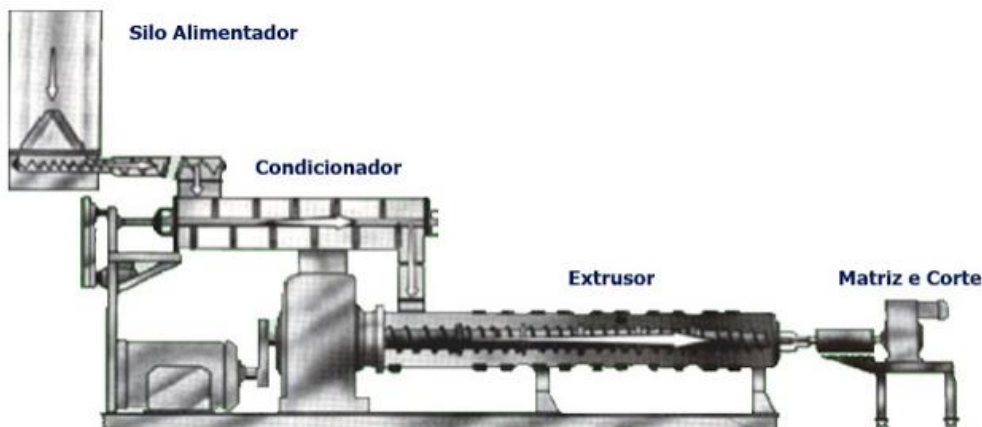
O processo de extrusão acontece através de uma rosca-sem-fim que força a massa em direção à matriz. A pressão e a temperatura se elevam durante o caminho, e ao sair do extrusor faz com que a massa se expanda por conta da pressão decair rapidamente e pela água que vaporiza instantaneamente (RESCHSTEINER, 2005).

O alimentador é o responsável pela entrada de um fluxo contínuo e controlado da mistura seca dos ingredientes moídos anteriormente, que se encaminha para o pré-condicionador e, posteriormente para o canhão da extrusora (BAZOLLI, 2007).

O processo de extrusão compreende as etapas de condicionamento, extrusão, corte, secagem, recobrimento e resfriamento. A mistura anteriormente moída e homogeneizada entra no processo por meio de um silo alimentador, do qual chega ao pré-condicionador da extrusora e, aplica-se energia térmica à massa através da injeção direta de vapor e água (BALLER, 2017). Este pré-condicionador é

responsável por homogeneizar a mistura de ingredientes e tornar a massa uniforme, aumentando a umidade e temperatura, resultando na maior estabilidade da extrusora e da qualidade do produto final (BALLER, 2017; BAZOLLI, 2007).

Figura 2 – Sistema do processo de extrusão.



Fonte: Adaptado de CARCIOFI (2016).

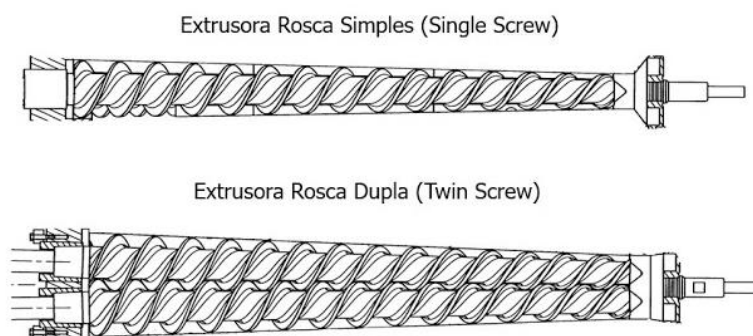
A incorporação de energia térmica, no pré-condicionador, além de aumentar a temperatura e umidade da massa, tem como objetivo promover o início do cozimento do amido, o qual favorece a hidratação interna dos grânulos, a plasticização, a sanitização, a estabilidade da extrusora e a qualidade do produto final (PACHECO, 2016). A umidade da massa comumente é mantida entre 10 a 25% e a temperatura entre 70 e 90°C, e é nesta etapa do processo que podem ser inseridos carne fresca, óleos e ou outros aditivos líquidos (BAZOLLI, 2007).

Em seguida, após a massa sair do pré-condicionador, ela entra na extrusora, que é formada fundamentalmente de um tubo com um sistema de rosca-sem-fim, chamado canhão da extrusora (BAZOLLI, 2007). Existem dois tipos (Figura 3), de rosca: a simples utilizada em formulações que são ricas em carboidratos e pobres em gordura, com alta flexibilidade de expansão e boa estabilidade de processo, e as roscas duplas para formulações com altos níveis de proteína e gordura, baixos níveis de carboidratos e de difíceis processamentos, exercendo alta estabilidade durante a extrusão (MURAKAMI, 2010).

O canhão da extrusora é o responsável pela compressão da massa e geração de energia mecânica. O atrito provocado pela ação da rosca gera a energia térmica, que eleva a temperatura da massa e propicia o cozimento do amido.

Quando a massa chega ao fim do canhão da extrusora, a pressão pode chegar a 37 atm, a temperatura a 150°C e a umidade a 28% (BAZOLLI, 2007).

Figura 3 – Canhão da extrusora com rosca simples e rosca dupla.



Fonte: Site Friend Pet.

Disponível em:<<http://www.friendpet.blog.br/2015/11/como-as-dietas-caes-gatos-sao-fabricadas.html>>

Acesso em: 06 de jun. 2019.

A última parte do sistema de extrusão é a matriz, que possui a função de restringir a saída do produto para que gere a pressão essencial para a aplicação de energia mecânica, e também possui como função o formato final da partícula, através do formato do orifício da matriz e da velocidade de corte das facas (BAZOLLI, 2007).

3.2 Moagem

Para que ocorra a extrusão dos ingredientes utilizados na dieta, primeiramente deve-se reduzir o tamanho das partículas, a fim de, proporcionar uma mistura homogênea dos ingredientes e favorecer a extrusão. A redução da partícula é exercida através de meios mecânicos, não havendo alteração das propriedades químicas. E as etapas que compreendem o processo são o corte, esmagamento, trituração e moagem (FRAIHA, 2005).

Ao reduzir o tamanho da partícula, aumenta-se a área de superfície do grão, que conseqüentemente permite uma maior interação com enzimas digestivas, melhorando a digestibilidade e também a homogeneidade dos ingredientes da mistura (GOODBAND et al., 1995).

O tamanho da partícula retrata o diâmetro médio das partículas individuais ou a finura. A maior parte da energia para as rações animais são oriundas de grãos cereais, portanto a maneira como tal é processada é tão importante quanto sua composição química (FRAIHA, 2005).

O primeiro processamento das matérias-primas ao chegar em uma fábrica de ração é a moagem, e que também corresponde por grande parte do custo do mesmo, segundo Fraiha (2005), e da qual estima-se que 3% de toda a energia consumida no mundo seja utilizada para a redução do tamanho das partículas nas indústrias (BAZOLLI, 2007). Mesmo que a moagem proporcione a mistura homogênea dos ingredientes, facilite o processo de extrusão e assim melhore a qualidade final dos produtos, ainda assim responde por grande parte dos custos na produção de rações para alimentação animal (BAZOLLI, 2007). Neste sentido, torna-se fundamental o conhecimento sobre os benefícios da redução de partícula em rações animais, a fim de otimizar a eficiência econômica (FRAIHA, 2005).

Segundo Bellaver e Nones (2000), o coração de uma fábrica de rações é a moagem e a mistura, visto que a junção dessas duas etapas se reflete em um forte impacto na qualidade final do produto. De modo geral a redução do tamanho das partículas pela moagem, prensagem e ou amassamento melhoram o desempenho animal, sendo assim, controlar o processo de moagem em uma fábrica de rações é de extrema importância. A checagem diária do tamanho das partículas e das condições do equipamento tem importante relevância.

Sabe-se que o tamanho das partículas das matérias-primas afeta a textura e uniformidade do produto final. Além disso, no processo de extrusão, um tamanho de partícula uniforme promove a absorção homogênea de umidade e o cozimento durante a extrusão, o que evita partículas duras parcialmente cozidas no produto final (ROKEY; PLATTNER; SOUZA, 2010).

Na chegada da fábrica, os grãos devem ser pré-moídos em peneiras com abertura de 1 mm ou maior, anteriormente à mistura. A dieta formulada e misturada passa pela remoagem, antes da extrusão, para que possa atingir o tamanho de partícula desejado. A etapa final de moagem é realizada através de uma tela com aberturas de 1,2 mm, pois, em aberturas de matriz menores que 3 mm de diâmetro, o tamanho máximo de partícula deve ser de um terço da abertura da matriz (ROKEY; PLATTNER; SOUZA, 2010).

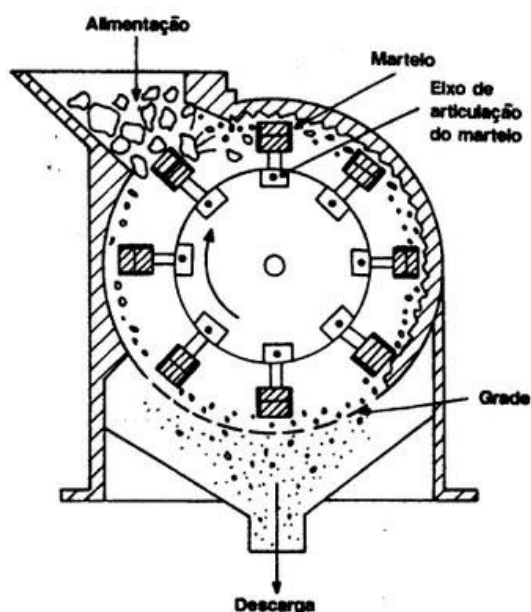
Segundo Bazolli (2007), as fábricas de rações para cães no Brasil normalmente utilizam peneira de 1,2 mm. Hilcko et al. (2009), verificaram que as indústrias, principalmente fabricantes de alimentos completos dos tipos Premium e Super premium, adotam a prática da moagem fina (0,6 - 0,8mm).

Em geral, a moagem dos alimentos ocorre a 1,6 mm, e sabe-se que a redução do diâmetro das partículas dos constituintes da ração animal não tem por objetivo principal a alteração das características nutricionais do produto, mas sim a melhoria dos aspectos visuais do mesmo (BAZOLLI, 2007).

3.2.1 Processo de moagem

Nas fábricas de rações animais, o equipamento mais utilizado para redução do tamanho das partículas é o moinho de martelos (Figura 4), por conta de sua versatilidade na moagem de diferentes materiais e também facilidade de manutenção. O moinho de martelos resume-se em um conjunto de facas rombas ou “martelos”, com alguns milímetros de espessura, perfiladas paralelamente umas às outras, e presas a um eixo de alta rotação. Há uma peneira que está fixada abaixo deste sistema, e apresenta forames com diferentes dimensões, conforme o grau de moagem que se espera obter (FRAIHA, 2005).

Figura 4 – Moinho de martelos.



Fonte: Site Metálica. Disponível em: <<http://wwwo.metlica.com.br/artigos-tecnicos/britadores-e-moinhos>> Acesso em: 06 de jun. 2019.

A matéria prima penetra na câmara de moagem pela ação da gravidade e entra diretamente em contato com a extremidade funcional dos martelos em alta rotação. Parte do material será reduzido ao estado semi-moído ou totalmente moído pela ação dos martelos, podendo ser influenciado pelas características do material. Esta é a única etapa pela qual o material é propelido contra os forames da peneira. Em seguida, o material é puxado pelos martelos para a zona de aceleração, em que as partículas equiparam a velocidade do martelo em rotação, que acontece no decorrer de um pequeno percurso da rotação simultâneo aos martelos que continuam o trabalho de redução das partículas pelo atrito da massa tangenciando a peneira perfurada. À medida que a partícula reduz de tamanho, ela se afasta da ação dos martelos e aproxima-se da peneira, reduzindo sua velocidade pelo atrito, que possibilita que a mesma seja expulsa pelos forames da peneira por ação da força centrífuga e pressão. Para preservar a maior eficiência do processo a energia de deformação deve ser mantida no menor nível, que é proporcionado pelas altas velocidades dos martelos (FRAIHA, 2005).

A fim de otimizar a eficiência econômica deve-se atentar à competência do processo de moagem, que varia conforme o ingrediente utilizado e possui uma influência direta na produtividade e consumo de energia dos moinhos de martelos, também podendo variar pela área útil da peneira, pela velocidade periférica dos martelos, pela disposição dos martelos e também pela velocidade do alimentador. Outro fator importante é a velocidade e disposição dos martelos do moinho, pois quanto maior a velocidade periférica, maior será o impacto com o ingrediente, e conseqüentemente menor o tamanho de partícula e maior eficiência do moinho. A relação da área útil da peneira terá um aumento de capacidade de saída de ingrediente quanto maior for sua área perfurada, aumentando significativamente a produção. A velocidade do alimentador dos ingredientes na câmara do moinho é algo que deve ser constante e uniforme, como sua correta distribuição de ingredientes por toda a área da peneira (BAZOLLI, 2007).

3.3 Granulometria

A granulometria refere-se à ação de medir o tamanho das partículas. Logo após a moagem o material desloca-se ao peneiramento, que indicará o tamanho das partículas dos ingredientes, e, portanto, poderão influenciar na digestibilidade dos

nutrientes e na maximização pela resposta do animal. O tamanho das partículas também pode influenciar no consumo de energia elétrica nos equipamentos. Nutricionalmente, quanto menor for o tamanho da partícula do alimento, maior será o contato com os sucos digestivos e assim contribuindo à digestão e absorção. Em contrapartida, em produtividade, quanto maior o tamanho das partículas maior a economia de energia e maior eficiência de moagem (BELLAVÉR & NONES, 2000).

Portanto, para se atingir uma adequada mistura de ração, é desejável que o tamanho das partículas dos ingredientes tenha pouca variabilidade e uma distribuição normal na mistura. Logo, deve-se atentar à granulometria dos ingredientes utilizados, pois é um fator a ser ponderado previamente à mistura (BELLAVÉR & NONES, 2000).

3.4 Digestibilidade

A avaliação nutricional é essencial, visto que proporciona a alimentação dos animais com maior precisão e eficiência. A digestibilidade é definida como sendo a fração do alimento consumido que não é recuperada nas fezes, e, portanto sendo considerada como percentagem da ingesta, nomeada como coeficiente de digestibilidade (ANDRIGUETTO, 1934).

A digestibilidade é um dos principais parâmetros para avaliar nutricionalmente alimentos destinados à cães, pois mostra o real aproveitamento pelo organismo animal, através da absorção dos nutrientes (JOSÉ, 2009).

3.4.1 Carboidratos

Os carboidratos são as principais fontes de energia para os mamíferos, e podem ser divididos segundo o número de açúcares que os formam (BAZOLLI, 2007). É o principal componente de energia das plantas, atingindo 60% a 90% do peso de matéria seca (MS). A classe dos carboidratos compreende os elementos carbono, hidrogênio e oxigênio (CASE et al. 2011).

Dividem-se em monossacarídeos, dissacarídeos, oligossacarídeos e polissacarídeos. Os monossacarídeos são constituídos por carboidrato com somente

um açúcar, já os dissacarídeos são formados por dois açúcares, os oligossacarídeos são os carboidratos que são constituídos por três a dez açúcares, e por fim, os polissacarídeos, que são constituídos por mais de dez açúcares na sua composição, e deste último consta o amido (BAZOLLI, 2007).

Há outra classificação dos carboidratos, em que são classificados como polissacarídeos não amiláceos e amidos, em razão do tipo de ligação química entre seus açúcares e sua consequente suscetibilidade à digestão enzimática pelos mamíferos. Os polissacarídeos não amiláceos, conhecidos como fibras, possuem a ligação beta (1-4) que une seus açúcares e não são acessíveis às enzimas digestivas pelos monogástricos, mas sim somente pelas enzimas bacterianas e fúngicas. Como exemplo a celulose, a hemicelulose e a cutina, sendo localizadas na parede externa das sementes dos cereais, no caule de gramíneas e leguminosas e na madeira de árvores. Enquanto os amidos são polissacarídeos que possuem a ligação alfa, e diferentemente das fibras estes são acessíveis à digestão enzimática pelos monogástricos (BAZOLLI, 2007).

O amido representa a maior fonte de energia nas rações extrusadas, cerca de 40 a 55% da matéria seca, concedendo 30 a 60% de sua energia metabolizável (CARCIOFI, 2008).

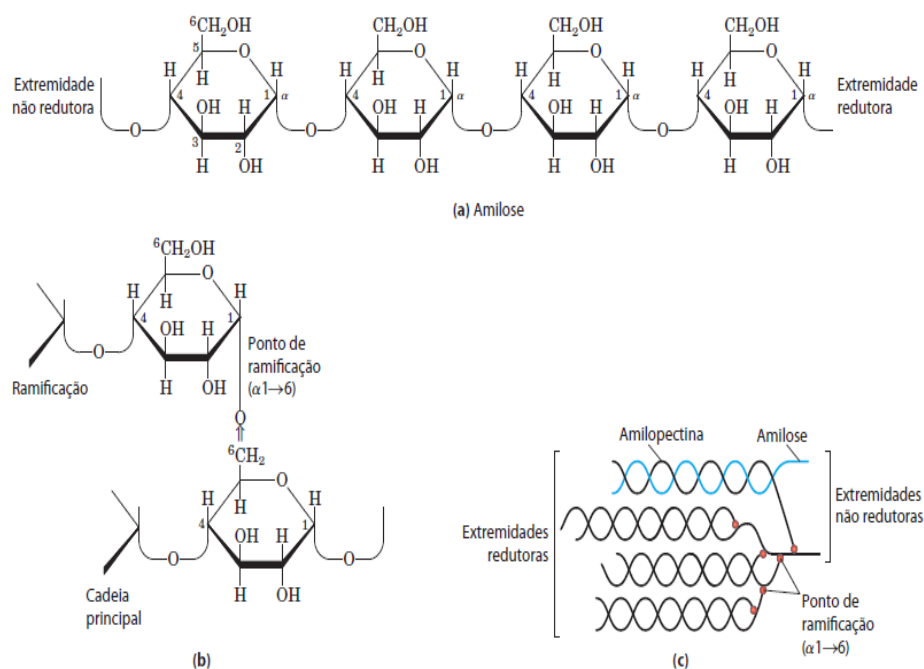
3.4.1.1 Amido

O amido nas plantas encontra-se na forma de grânulos, que são formados por dois tipos de polímeros (Figura 5), a amilose e a amilopectina (BAZOLLI, 2007; NELSON & COX, 2014). A forma altamente ordenada desse grânulo de amido concede a birrefringência, tipicamente de substâncias cristalinas. Os grânulos de amido são insolúveis em água à temperatura ambiente, provavelmente devido às várias pontes de hidrogênio presentes em sua estrutura e isto limita o uso de grânulos crus na alimentação animal (ROBERTI FILHO, 2013).

A amilose constitui-se de cadeias longas, não ramificadas, de resíduos de D-glicose conectadas por ligações alfa (1-4), com massas moleculares que variam entre alguns milhares e até mais de um milhão de daltons. E em relação à amilopectina, esta é altamente ramificada, suas ligações glicosídicas que unem os resíduos de glicose sucessivos nas cadeias de amilopectina são alfa (1-4) e já nos

pontos de ramificações, que ocorrem a cada 24 a 30 resíduos, são ligações alfa (1-6), e pode ter massa molecular até 200 milhões de daltons (NELSON & COX, 2014).

Figura 5 – Polímeros de amilose e amilopectina e seu agrupamento.



Fonte: NELSON & COX (2014).

No animal, o amido ingerido na dieta é hidrolisado por alfa-amilases, enzimas que rompem as ligações glicosídicas alfa (1-4) nas unidades de glicose (NELSON & COX, 2014). Pelo fato da ausência de amilase salivar, em cães e gatos a digestão deste inicia-se no estômago (ROBERTI FILHO, 2013).

Ainda que exista a vulnerabilidade à ação enzimática pelos monogástricos, existe uma porção do amido que é resistente à hidrólise, e essa digestão incompleta pode ser por duas razões, que se divide entre os fatores intrínsecos e os extrínsecos (BAZOLLI, 2007).

Nos fatores intrínsecos envolve-se a inacessibilidade física do amido, ou seja, quando o amido encontra-se envolvido por uma estrutura celular, como nos grãos e sementes integrais ou parcialmente moídas, que se tornam inacessíveis à ação enzimática. Outro fator é a resistência dos grânulos à ação enzimática, pois depende de sua composição em amilopectina e amilose e de sua estrutura cristalina, essa última tendo relação com a difração aos raios-X, pois as diferentes formas dos grânulos conferem maior resistência à ação enzimática. O último fator, a formação do amido retrogradado, que é a associação das moléculas de amilose e

amilopectina, formado enquanto ocorre o resfriamento do amido gelatinizado, acontecendo assim a sua recristalização e tornando-o mais resistente à digestão (BAZOLLI, 2007). Sendo assim, a estrutura torna-se resistente à hidrólise pela amilase, chamada de amido resistente, uma porção de amido formado que passa intacto pelo intestino delgado. Considera-se também como amido resistente grãos inteiros ou grosseiramente moídos, pois estes também se apresentam mais inacessíveis à ação das enzimas (ROBERTI FILHO, 2013).

Nos fatores extrínsecos, constam o tempo de trânsito intestinal, a concentração de amilase disponível para quebrar o amido e também a presença de componentes que possam retardar a hidrólise enzimática advindos da dieta, fatores esses que podem levar a uma menor digestibilidade do amido no intestino delgado (BAZOLLI, 2007).

O amido contribui para a expansão e ligação do produto final. A fração de amilose possui propriedades de ligação maiores do que a fração de amilopectina. Elevar o teor de amido pode favorecer a diminuição da densidade aparente dos produtos extrusados. Tipicamente os níveis de amido são 30% em alimentos para gatos e cães filhotes e 40% nos demais alimentos secos para cães (ROKEY; PLATTNER; SOUZA, 2010).

Segundo Svihus, Uhlen e Harstad (2005) a distribuição e a forma do tamanho dos grânulos de amido são consideradas importantes para as propriedades funcionais do amido, pois estes variam entre os grãos cereais. O tamanho do grânulo de amido pode afetar a digestibilidade, uma vez que a relação entre a área de superfície e o volume de amido, e assim o contato entre o substrato e a enzima, diminui à medida que o tamanho do grânulo aumenta. Portanto, cereais com pequenos grânulos (aveia e arroz) têm maior digestibilidade do que milho, trigo e batata com maiores grânulos de amido.

A maioria dos amidos gelatinizará quando aquecido acima de 80°C. A gelatinização aumenta acentuadamente a susceptibilidade à degradação amilolítica devido à perda de estrutura cristalina. O processamento da extrusora geralmente resulta em uma gelatinização e desintegração mais completa dos grânulos de amido (SVIHUS; UHLEN; HARSTAD, 2005).

3.5 Avaliação da influência da moagem na digestibilidade dos nutrientes em rações extrusadas para cães e gatos

Diversos autores como Bazolli (2007), Hilcko et. al (2009) e Roberti Filho (2013) que realizaram estudos com diferentes diâmetros geométricos médios (DGM), determinados pela porcentagem de partículas retidas em um conjunto de peneiras, dos principais ingredientes amiláceos das rações utilizadas no processo de extrusão destinadas à cães, com o intuito de se analisar os aspectos digestivos. Outro estudo relacionado avaliou essa influência em rações para gatos (GONÇALVES, 2016).

Segundo a pesquisa realizada por Bazolli (2007), teve-se como objetivo avaliar nas rações extrusadas para cães, a influência do grau de moagem em três fontes de amido, o arroz, o milho e o sorgo pela medição do coeficiente de digestibilidade aparente (CDA). O DGM dos ingredientes foi definido através do uso de um conjunto de peneiras, gerando DGM de 277, 311, 521 μm para o arroz, 360, 451, 619 μm para o milho e 314, 439, 594 μm para o sorgo (Tabela 1). As dietas foram preparadas numa extrusora experimental de rosca simples. As dietas experimentais foram analisadas com relação à sua composição química (Tabela 2).

Tabela 1 – Resultados dos testes de granulometria das fontes de carboidratos utilizados na fabricação das dietas experimentais.

Peneira		Porcentagem retida em cada peneira								
		ARROZ			MILHO			SORGO		
ABNT	mm	Fina ¹	Média ²	Grossa ³	Fina ¹	Média ²	Grossa ³	Fina ¹	Média ²	Grossa ³
14	1,400	0,0	0,4	2,4	0,3	0,9	2,4	0,0	0,8	1,2
16	1,200	0,1	0,6	2,7	0,2	0,7	2,7	0,2	0,8	2,3
18	1,000	0,2	1,9	10,0	0,2	1,4	12,1	0,3	3,0	11,9
25	0,710	0,3	4,2	18,2	0,3	4,0	16,3	0,4	7,6	19,8
35	0,500	34,7	34,7	34,8	37,5	48,2	41,8	36,4	46,3	41,3
60	0,350	4,7	6,2	5,5	14,9	15,6	7,3	8,2	7,0	5,4
120	0,125	38,3	31,7	18,4	43,3	27,4	16,0	42,5	26,6	12,4
fundido	0	21,7	20,3	8,0	3,2	1,9	1,6	12,0	7,9	5,6
DGM		277	311	521	360	451	619	314	439	594
DPG		2,6	2,6	2,5	2,4	2,4	2,3	2,2	2,1	2,2

DGM = diâmetro geométrico médio

DPG = desvio padrão geométrico

¹ peneira de 0,8 mm de abertura

² peneira de 1,5 mm de abertura

³ peneira de 3,0 mm de abertura

Fonte: Adaptado de Bazolli (2007).

Tabela 2 – Composição química das dietas experimentais.

	Composição química analisada ¹								
	ARROZ			MILHO			SORGO		
	Fina	Média	Grossa	Fina	Média	Grossa	Fina	Média	Grossa
MS (%)	92,9	93,2	92,3	92,9	92,6	93,2	92,2	92,3	93,1
Nutriente	Valores sobre a matéria seca								
PB (%)	26,4	26,0	25,4	26,8	27,1	27,3	28,2	27,7	27,9
EEA (%)	11,6	11,6	12,0	12,0	12,8	12,1	13,0	12,6	13,8
FB (%)	5,6	6,5	5,8	2,9	2,9	2,9	3,0	2,9	2,9
MM (%)	7,9	7,6	7,6	7,6	7,6	7,7	7,8	7,9	8,0
FDT (%)	5,9	6,7	6,5	6,4	6,7	6,9	6,7	6,2	6,4
Amido (%)	42,7	41,6	42,7	44,3	42,9	43,1	41,4	42,7	41,0
Gelatinização	90,6	80,1	76,8	79,9	73,8	63,2	86,7	71,7	62,4
EB (kcal/kg)	4453	4472	4449	4462	4500	4516	4453	4497	4498

¹ Foram feitas três dietas com composição de ingredientes idênticas, variando quanto ao grau de moagem das fontes de amido (benedeira de 0.8mm, 1.5mm e 3.0mm).

Fonte: Adaptado de Bazolli (2007).

Tabela 3 – Coeficientes de digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia bruta das rações experimentais. Valores médios.

	Coeficientes de Digestibilidade Aparente (%)								
		MS	MO	Amido	ENN	PB	EEA	FB	EB
Arroz									
	Fina	79,6	83,4	99,49	89,7	84,1	94,9	1,6	84,8
	Média	79	82,7	99,59	89,6	84,0	94,9	5,0	84,1
	Grossa	79,8	83,1	99,48	89,8	81,9	95,3	10,4	81,9
	Média do Ingrediente	79,5^A	83,1^A	99,52^A	89,7^A	83,3^A	95,0^A	5,7^A	83,7^A
Milho									
	Fina	80,5	84,5	99,50	88,5	81,0	93,7	8,4	85,0
	Média	82,1	85,8	99,49	89,2	82,8	94,1	18,0	86,2
	Grossa	75,9	79,9	97,41	83,4	76,2	91,0	9,0	80,4
	Média do Ingrediente	79,5^A	83,4^A	98,8^B	87,0^B	80,0^B	92,9^B	11,8^A	83,9^A
Sorgo									
	Fina	83,2	87,0	99,66	90,6	83,6	94,3	28,9	86,7
	Média	79,9	84,1	99,07	88,1	80,1	92,8	14,9	84,4
	Grossa	75,9	80,0	97,83	83,7	74,9	91,4	14,2	80,2 ^b
	Média do Ingrediente	79,7^A	83,7^A	98,9^B	87,5^B	79,5^B	92,8^B	19,3^B	83,7^A

MS= matéria seca, MO= matéria orgânica, ENN= extrativos não nitrogenados, PB= proteína bruta, EEA= extrato etéreo ácido, FB= fibra bruta, EB= energia bruta.

A, B - Médias na mesma coluna sem uma letra maiúscula em comum diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Resultados válidos entre as diferentes fontes de amido.

Fonte: Adaptado de Bazolli (2007).

Bazolli (2007) destacou em seu trabalho que não houve diferença no CDA da MS entre as fontes de carboidratos (Tabela 3). Todavia, verificou-se diferença entre

as moagens e interação entre as suas fontes de carboidratos com as diferentes moagens.

Portanto, observou-se efeito da moagem conforme a fonte de carboidrato utilizado na dieta.

A moagem não afetou o CDA da MS e da MO das dietas com arroz. Já em dietas à base de milho, obteve-se melhora conforme havia redução do DGM. Para o sorgo, foi percebido melhora no CDA dos nutrientes conforme redução do DGM.

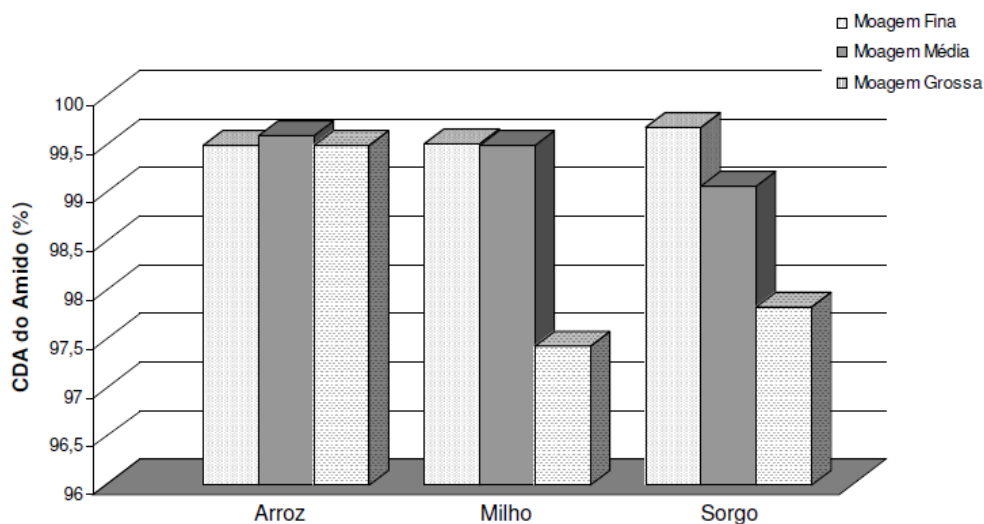
Houve diferença no CDA do amido e do ENN entre as fontes de carboidratos, sendo similares para as dietas com milho e sorgo, e melhores para a dieta à base de arroz. Esse efeito, entretanto, é referente ao ingrediente utilizado, visto que a redução das partículas não resultou em aumento do CDA do Amido e do ENN dos nutrientes nas dietas com a fonte de arroz, e já para o sorgo a digestibilidade foi maior conforme menor a granulometria (Figura 6).

Não houve efeito da moagem no CDA do EEA e PB nas dietas à base de arroz, contudo, o CDA desses nutrientes foi maior do que nas dietas à base de milho e sorgo.

Com relação à FB, esta apresentou alta variação no CDA, não tendo influência nas dietas com fonte de arroz e milho, mas para as dietas contendo sorgo obteve-se melhora com a menor granulometria.

A redução do DGM dos ingredientes melhorou também a gelatinização do amido durante o processo da extrusão. Houve influência do índice de gelatinização sobre a digestibilidade dos ingredientes, sendo similar à redução do tamanho das partículas.

Figura 6 – Representação gráfica dos valores médios dos coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) do amido das dietas experimentais.



Fonte: BAZOLLI (2007)

Em outro estudo, Hilcko et al (2009) avaliaram os efeitos da granulometria da dieta sobre a digestibilidade e a metabolizabilidade da energia de rações secas extrusadas para cães. A energia metabolizável foi estimada segundo a AAFCO (2004): $EM (kcal g^{-1}) = \{kcal g^{-1} EB \text{ ingerida} - kcal g^{-1} EB \text{ das fezes} - [(g PB \text{ ingerida} - g PB \text{ das fezes}) \times 1,25kcal g^{-1}]\} / g \text{ ração ingerida}$. E os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) das dietas, foram determinados conforme equação: $CDA\% = [(nutriente \text{ ingerido} - nutriente \text{ excretado}) / nutriente \text{ ingerido}] \times 100$.

Dos ingredientes utilizados na dieta, o milho foi a principal fonte de amido. Estes foram moídos em peneiras de 0,8; 1,0; 1,2 e 1,5 mm, obtendo rações com DGM de 468, 476, 499 e 588 μm , respectivamente.

Ocorreu uma relação negativa entre o DGM e os CDA da PB, EEA, ENN e metabolizabilidade da energia. O aumento na granulometria da dieta resultou em redução na digestibilidade dos nutrientes e na energia metabolizável (Tabela 4). Não foi observado efeito do DGM sobre o CDA da MS. Já para o CDA da FB apresentou alto coeficiente de variação que pode estar atribuído aos baixos teores de fibra das dietas.

Tabela 4 – Coeficientes de digestibilidade aparente e energia metabolizável das dietas experimentais.

Parâmetros	DGM (μm)			
	468	476	499	588
Consumo de matéria seca	1461	1436	1462	1473
	Coeficiente de digestibilidade aparente (%)			
Matéria seca	88,27	87,55	86,24	86,51
Proteína bruta	76,63	73,57	73,38	70,29
Extrato etéreo ácido	72,41	70,00	65,96	66,78
Fibra bruta	56,11	67,55	62,56	81,98
Extrativos não nitrogenados	80,29	79,28	77,89	74,14
Energia metabolizável (kcal/kg)	2840,08	2769,03	2727,36	2607,15

DGM - Diâmetro geométrico médio

Fonte: Adaptado de Hilcko (2008).

O grau de gelatinização do amido tem relação inversamente proporcional ao tamanho do grão, visto que quanto menor a partícula, maior será sua área superficial específica e conseqüentemente maior superfície de exposição à temperatura, notando-se aumento na digestibilidade dos alimentos quando utilizadas partículas de menor granulometria.

Os resultados obtidos explicitam a possibilidade de ocorrência de prejuízos ao desenvolvimento dos animais, por meio da redução do aproveitamento dos nutrientes da dieta, quando há utilização de ingredientes grosseiramente moídos. A EM diminuiu com o maior DGM. Pôde-se observar o aumento linear da eficiência de utilização da energia advinda dos alimentos por parte dos animais, ocasionado pela redução do tamanho das partículas (HILCKO et al., 2009).

É importante considerar o grau de moagem dos ingredientes no processo industrial, haja vista que, quando se utiliza partículas de menor granulometria na dieta, melhora-se a digestibilidade dos nutrientes, mas ocorre também maior gasto de energia e menor eficiência do processo produtivo na fábrica. Desta forma, são necessários mais estudos relacionados às diferentes granulometrias para cães, e a avaliação de diferentes ingredientes, taxa de passagem, qualidade do extrusado e ponto ótimo entre digestibilidade e eficiência produtiva na fábrica de ração (HILCKO et al., 2009).

Roberti Filho (2013) comparou dietas para cães à base de milho moídas no moinho de martelos com quatro diferentes tamanhos de peneira, 0,5, 0,8, 1,4 e 2 mm, e com quatro diferentes DGM: 169, 248, 252, 290 μm e duas configurações de extrusão (Tabela 5 e 6).

Tabela 5 – Distribuição do tamanho de partículas, diâmetro geométrico médio (DGM) das dietas experimentais para cães.

Item	Tamanho da peneira do moinho, mm			
	0,5	0,8	1,4	2,0
Abertura de peneira, µm	% de partículas retidas			
1000	0,0	0,0	0,1	1,2
500	0,2	15,2	17,3	26,0
250	20,4	33,6	31,8	26,1
105	62,9	40,2	36,0	38,3
Fundo	16,6	11,1	14,9	8,4
DGM, µm	169	248	252	290

Fonte: Adaptado de Roberti Filho (2013).

Tabela 6 – Composição química e parâmetros de qualidade das dietas experimentais para cães.

Item	Tamanho da peneira do moinho, mm							
	0,5		0,8		1,4		2,0	
	Configuração da extrusora							
	A ¹	B ²	A	B	A	B	A	B
Composição Química, % sobre a matéria seca								
Matéria seca	94,9	94,0	94,6	95,0	94,3	94,3	94,3	95,0
Matéria mineral	6,9	6,9	6,7	6,7	7,5	7,5	7,1	7,1
Proteína bruta	24,5	24,6	25,2	25,2	24,7	24,9	24,3	23,9
Extrato etéreo hidrólise ácida	13,4	14,2	14,6	15,3	15,2	14,9	16,2	14,6
Amido	42,3	40,8	42,1	40,8	41,0	40,3	41,3	41,5
Fibra dietética	12,1	12,8	11,6	13,5	12,7	13,5	10,1	11,9
Parâmetros de qualidade de processamento								
Densidade do croquete, g/L	360	340	390	360	430	440	425	390
Gelatinização do amido, %	84,6	89,7	80	87,00	73,24	77,61	66,4	75,33
Amido resistente, %	0,59	0,56	1,45	0,74	1,9	1,26	3,39	1,86
Força de corte, kgf	2,96	3,21	3,28	3,91	3,58	3,07	3,56	3,08

¹ Saída da matriz com 63,6 mm² de área aberta

² Saída da matriz com 23,7 mm² de área aberta

Fonte: Adaptado de Roberti Filho (2013).

O autor verificou que a configuração da extrusora apresentou efeito negativo na gelatinização do amido, mas não modificou a digestibilidade dos nutrientes. A restrição da área aberta da extrusora elevou em 6 pontos de porcentagem a gelatinização do amido, mas o aumento do DGM reduziu esta em 20 pontos de porcentagem.

A digestibilidade dos nutrientes diminuiu conforme os tamanhos das partículas da dieta aumentaram (Tabela 7). A diminuição da digestibilidade analisada foi relacionada à diminuição na gelatinização do amido (de 86% para 69%) e à

indisponibilidade dos grânulos inteiros, grosseiramente moídos por conta do aumento do tamanho das peneiras.

Tabela 7 – Consumo e digestibilidade aparente dos nutrientes de dietas experimentais moídas em diferentes tamanhos de peneira e extrusadas sob duas conformações de extrusora, fornecidas para cães.

Item	Configuração da extrusora	Tamanho da peneira, mm			
		0,5	0,8	1,4	2,0
Consumo de ração, g/cão/d					
	A (63,6 mm ²) ¹	227,6	231,5	246,0	240,9
Matéria Seca	B (23,7 mm ²) ¹	248,2	226,3	228,2	240,7
	Média	237,9	228,9	237,1	240,8
Coefficientes de digestibilidade aparente					
	A (63,6 mm ²) ¹	81,5	82,3	78,3	79,6
Matéria Seca	B (23,7 mm ²) ¹	85,6	80,9	78,9	81,2
	Média	81,7	81,6	78,6	80,3
	A (63,6 mm ²) ¹	85,2	85,7	82,6	83,4
Matéria orgânica	B (23,7 mm ²) ¹	85,6	84,7	83,4	84,9
	Média	85,4	85,2	83,0	84,1
	A (63,6 mm ²) ¹	84,6	84,2	80,9	81,4
Proteína bruta	B (23,7 mm ²) ¹	85,4	84,4	82,2	83,0
	Média	85,0	84,3	81,5	82,2
	A (63,6 mm ²) ¹	91,2	92,6	89,9	91,2
Gordura	B (23,7 mm ²) ¹	92,2	91,1	91,0	90,3
	Média	91,7	92,2	90,6	90,7
	A (63,6 mm ²) ¹	99,9	99,9	99,9	99,9
Amido	B (23,7 mm ²) ¹	99,9	99,9	99,9	99,9
	Média	99,9	99,9	99,9	99,9
	A (63,6 mm ²) ¹	85,7	85,9	82,9	83,8
Energia	B (23,7 mm ²) ¹	85,8	85,1	83,7	85,2
	Média	85,8	85,5	83,3	84,5

¹Saída da matriz com 63,6 mm² de área aberta

²Saída da matriz com 23,7 mm² de área aberta

Fonte: Adaptado de ROBERTI FILHO (2013).

Gonçalves (2016) formulou uma dieta à base de milho, para manutenção de gatos, moída em moinho de martelos com dois tamanhos diferentes de peneiras: 0,5 ou 1,2 mm, obtendo dois DGM, 195 µm e 254 µm, respectivamente (Tabela 8). Estas duas misturas com DGM diferentes foram extrusadas em extrusora de rosca única, utilizando seis configurações diferentes de matriz, com seis áreas abertas: 59; 118; 177; 236; 294; 353 mm²/ton/h. Para obter a área aberta da extrusora desejada,

foram utilizados os seguintes diâmetros abertos: 7,1; 14,1; 21,3; 28,3; 35,3 e 42,4 mm².

Tabela 8 - Distribuição granulométrica das misturas de matérias-primas trituradas com peneiras de 0,5 e 1,2 mm.

Item	Tamanho da peneira da tela do moinho de martelo (mm)	
	0,5	1,2
Tamanho da tela de peneira (µm)	Partículas retidas (%)	
1000	0,0	0,0
840	0,0	0,0
595	0,0	3,0
500	0,0	5,0
420	0,0	9,9
297	2,0	13,9
210	43,9	35,6
125	52,0	29,7
fundo	2,0	3,0
Diâmetro geométrico médio (µm)	195	254
Desvio padrão geométrico (µm)	1,33	1,58

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2016).

A gelatinização do amido e a digestibilidade in vitro (Tabela 9) da matéria orgânica não foram influenciadas pela área aberta da extrusora, apenas pelo tamanho das partículas das matérias-primas. Alimentos com DGM de 195 µm apresentaram grau de gelatinização do amido quase 9 pontos percentuais maior que os alimentos com DGM de 254 µm. A maior digestibilidade in vitro da matéria orgânica também foi verificada para os alimentos com DGM de 195 µm.

O DGM das matérias-primas influenciou todos os parâmetros da macroestrutura da ração. Obteve-se maior expansão de *kibble* no DGM de 195 µm, correlacionado aos vários resultados, incluindo a maior gelatinização do amido.

Avaliação da digestibilidade dos gatos (Tabela 10), verificou-se interação entre tamanho de partícula de matéria-prima e a área da extrusora para MS, MO e PB. Para os alimentos extrusados com área de produção mais restritiva (de 59 mm²/ton/h), a matéria-prima moída a 195 µm de DGM resultou em menor digestibilidade da MS, MO e proteína bruta do que a ração mais grossa (254 µm de MGD).

Gonçalves (2016) avaliou apenas dois tamanhos de partículas da matéria-prima, e o tratamento com maior tamanho de matéria-prima (DGM de 254 µm), foi

menor que o menor tratamento testado por Bazolli (2007) que foi de 360 μm para a dieta à base de milho e Hilcko et al. (2009), que foi de 468 μm . Dessa maneira, é possível que a matéria-prima utilizada tenha sido reduzida o suficiente para ser digerida adequadamente pelos gatos, pois apenas 8% das partículas de matéria-prima eram maiores que 500 μm nos alimentos com DGM de 254 μm .

A gelatinização do amido é uma análise que pode ser usada para monitorar o processamento da extrusão. Aparentemente, 88,5% de gelatinização do amido parece ser adequado à digestibilidade dos nutrientes mas a combinação de gelatinização muito alta do amido (> 95%) e DGM muito baixo pode ser indesejável, pois a digestibilidade dos nutrientes pelos gatos não melhora quando a gelatinização do amido ultrapassa 88,5% ou quando o DGM é reduzido abaixo de 254 μm . Destaca-se que a gelatinização muito alta, em uma mistura de matéria-prima que não é muito fina com DGM de 254 μm , não reduziu a digestibilidade da proteína, provavelmente devido a não favorecer o desenvolvimento de danos às proteínas.

Tabela 9 - Características de um alimento para gato moído com dois diâmetros geométricos médios (DGM) de matérias-primas e extrusados com seis áreas abertas de extrusora.

Item	DGM (μm)	Área aberta da extrusora ($\text{mm}^2/\text{ton/h}$)					
		59	118	177	236	294	353
Gelatinização do amido (%)							
	195	95,3	96,0	97,3	95,9	96,7	96,2
	254	89,4	86,3	86,5	87,8	87,3	88,5
	Média	92,4	91,2	91,9	91,9	92,0	92,4
Digestibilidade <i>In Vitro</i> da matéria orgânica							
	195	0,862	0,860	0,858	0,853	0,871	0,875
	254	0,853	0,849	0,843	0,854	0,845	0,848
	Média	0,856	0,855	0,851	0,854	0,858	0,862

DGM= Diâmetro geométrico médio da matéria prima.

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2016).

Tabela 10 - Consumo e digestibilidade aparente total do trato e características fecais de alimentos para gatos moídos a dois diâmetros geométricos médios (DGM) de matérias-primas e extrusados com duas áreas abertas de extrusora.

Item	DGM (μm)	Área aberta da extrusora ($\text{mm}^2/\text{ton/h}$)	
		59	353
Ingestão de alimentos (g de MS/kg/d)			
	195	11,5	12,0
	254	10,8	11,3
	Média	11,2	11,7
Digestibilidade aparente total do trato			
	195	0,768	0,793
Matéria seca	254	0,804	0,803
	Média	0,786	0,798
	195	0,812	0,832
Matéria orgânica	254	0,844	0,841
	Média	0,828	0,837
	195	0,888	0,893
Gordura bruta	254	0,898	0,915
	Média	0,893	0,904
	195	0,801	0,831
Proteína bruta	254	0,851	0,836
	Média	0,826	0,834
	195	0,999	0,999
Amido	254	0,999	0,999
	Média	0,999	0,999
	195	0,834	0,854
Energia bruta	254	0,870	0,860
	Média	0,852	0,857
	195	0,649	0,652
Umidade	254	0,616	0,656
	Média	0,633	0,654

DGM= Diâmetro geométrico médio da matéria prima.

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2016).

4 CONCLUSÃO

Com relação aos diferentes grãos utilizados, como o arroz, milho e sorgo, estes não apresentaram diferença no CDA. Entretanto, se obteve diferença entre o CDA e a interação destes com as moagens dos ingredientes. A redução do DGM não resultou em aumento de digestibilidade das dietas com arroz, já para o milho e o sorgo a digestibilidade foi maior conforme menor granulometria. O que pode estar relacionado ao menor tamanho de grânulo de amido, pois cereais com pequenos grânulos como o arroz têm maior digestibilidade do que o do milho que possui grânulos maiores.

Há elevado aumento na digestibilidade do milho, este sendo o principal ingrediente amiláceo utilizado, quando há a redução na granulometria da dieta para cães. Não foram verificados para gatos os mesmos valores de DGM que para cães. Entretanto, os valores avaliados apresentaram também aumento na digestibilidade quando esses eram reduzidos de tamanho. A redução do tamanho de partícula favoreceu também a gelatinização do amido. A boa moagem parece mais importante do que a configuração da extrusora (redução da área aberta) pois tem mais efeito sobre a digestibilidade. Aparentemente, o aumento de pressão na extrusora pela redução da área aberta não aumenta a gelatinização do amido.

REFERÊNCIAS

- ABINPET. **Mercado Pet Brasil 2018**. Disponível em: <<http://abinpet.org.br/mercado/>> Acesso em: 22 mai. 2019.
- ANDRIGUETTO, J. M. et al. **Nutrição animal: as bases e os fundamentos da nutrição animal. Os alimentos**. 5. ed. São Paulo: Nobel, 1934. 395 p. v. 1.
- BALLER, M. A. **Umidade da massa no extrusor sobre os parâmetros de processamento, macroestrutura, cozimento do amido e palatabilidade de alimentos extrusados para gatos**. 2017. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Medicina veterinária, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2017.
- BAZOLLI, R. S. **Influência do grau de moagem de ingredientes amiláceos utilizados em rações extrusadas sobre os aspectos digestivos e respostas metabólicas em cães**. 2007. 82 f. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária - Clínica Médica) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.
- BELLAVER, C.; NONES, K. **A importância da granulometria, da mistura e da peletização da ração avícola**. Simpósio Goiano de avicultura, 4., 2000, Goiânia.
- CARCIOFI, A. C. Fontes de proteína e carboidratos para cães e gatos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Jaboticabal, v. 37, p. 28-41, 2008.
- CARCIOFI, A. C.; PUTAROV, T. C. **Amido e cozimento: criando funcionalidade com a extrusão termoplástica**. Congresso CBNA PET, 15., 2016, Campinas.
- CASE, L. P. et al. **Canine and feline nutrition: a resource for companion animal professionals**. 3. ed. Estados Unidos da América: Mosby Elsevier, 2011. 538 p.
- DUARTE, A. et al. Avaliação nutricional de cereais extrusados para cães. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 30, n. 6, p. 1177-1183, nov./dez., 2006.
- FRAIHA, M. et al. **Benefício do investimento energético na redução do tamanho de partículas na alimentação animal**. SIMPEP, 12., 2005, Bauru.
- GONÇALVES, K. N. V. **Granulometria da matéria prima e configuração da extrusora sobre os parâmetros de processo, características do extrusado e digestibilidade de rações para gatos**. 2016. 114 f. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária - Clínica Médica Veterinária) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2016.

GOODBAND, R. D. et al. The Effects of Diet Particle Size on Animal Performance, **Kansas State University**, 6. p. 1995.

HILCKO, K. P. **Avaliação de diferentes graus de moagem em dietas para cães**. 2008. 44 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

HILCKO, K. P. et al. Diferentes graus de moagem em dietas para cães. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.8, p.2511-2515, nov, 2009.

JOSÉ, V. de A. **Digestibilidade e valores energéticos de alimentos extrusados para cães**. 2009. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

MONTI, M. **Fibra para cães**: efeitos sobre o processamento de extrusão, digestibilidade, fermentação microbiana, tempo de retenção intestinal e palatabilidade de rações para cães. 2015. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Medicina Veterinária, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2015.

MURAKAMI, F. Y. **Impacto da adição de água no processo de extrusão sobre a digestibilidade e propriedades físico-químicas da dieta para cães**. 2010. 40 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

MURRAY, S. M. et al. Evaluation of selected high-starch flours as ingredients in canine diets. **Journal of Animal Science**, 77:2180–2186, 1999.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014. 1250 p. Tradução: VEIGA, A. B. G. et al.; Revisão técnica: TERMIGNONI, C. et al.

PACHECO, P. D. G. **Aplicação de energia térmica no condicionador na extrusão de alimentos para cães**. 2016. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Zootecnia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2016.

RECHSTEINER, M. S. **Produção, digestibilidade e amido resistente em biscoitos extrusados a partir de farinha e fécula de batata doce e mandioca**. 2005. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2005.

ROBERTI FILHO, F. de O. **Influência da granulometria da matéria-prima e da configuração da extrusora no conteúdo de amido resistente, digestibilidade, fermentação intestinal e respostas metabólicas de cães**. 2013. 68 f. Dissertação

(Mestrado) - Faculdade De Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

ROKEY, G. J.; PLATTNER, B.; SOUZA, E. M. de. Feed extrusion process description. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 510-518, 2010.

SVIHUS, B.; UHLEN, A. K.; HARSTAD, O. M. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. **Animal Feed Science and Technology**, 122, p. 303–320, 2005.