

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

**UMIDADE DA MASSA NO EXTRUSOR SOBRE OS PARÂMETROS DE
PROCESSAMENTO, MACROESTRUTURA, COZIMENTO DO AMIDO E
PALATABILIDADE DE ALIMENTOS EXTRUSADOS PARA GATOS.**

Mayara Aline Baller

Médica Veterinária

2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

**UMIDADE DA MASSA DO EXTRUSOR SOBRE OS PARÂMETROS DE
PROCESSAMENTO, MACROESTRUTURA, COZIMENTO DO AMIDO E
PALATABILIDADE DE ALIMENTOS EXTRUSADOS PARA GATOS.**

Mayara Aline Baller

Orientador: Prof. Dr. Aulus Cavalieri Carciofi

Dissertação de Mestrado apresentado à
Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias–UNESP, Campus Jaboticabal,
como pré-requisito para a obtenção do título
de Mestre em Medicina Veterinária (Clínica
Médica Veterinária).

2017

Baller, Mayara Aline
B191u Umidade da massa sobre os parâmetros de processamento, macroestrutura, cozimento do amido e palatabilidade de alimentos extrusados para gatos / Mayara Aline Baller. – – Jaboticabal, 2017 ix, 57 p. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017
Orientador: Aulus Cavalieri Carciofi
Banca examinadora: Jane Maria Bertocco Ezequiel, Fabiano César Sá.

Bibliografia

1. Umidade da massa. 2. Extrusão. 3. Gelatinização do amido. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 619:636.084.5:636.8

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: UNIDADE DA MASSA NO EXTRUSOR SOBRE OS PARÂMETROS DE
PROCESSAMENTO, MACROESTRUTURA, COZIMENTO DO AMIDO E
PALATABILIDADE DE ALIMENTOS EXTRUSADOS PARA GATOS

AUTORA: MAYARA ALINE BALLER

ORIENTADOR: AULUS CAVALIERI CARCIOFI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em MEDICINA
VETERINÁRIA, área: CLÍNICA MÉDICA VETERINÁRIA pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. AULUS CAVALIERI CARCIOFI
Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Profa. Dra. JANE MARIA BERTOCCO EZEQUIEL
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Pesquisador Dr. FÁBIANO CESAR SÁ
Companion Animal Nutritionist, Wanger Service Team / Valinhos-SP

Jaboticabal, 23 de fevereiro de 2017.

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

MAYARA ALINE BALLER – Nascida em 27 de Janeiro de 1993, em Concórdia – SC. Graduada em Medicina Veterinária pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense – Campus Concórdia em Dezembro de 2014. Foi bolsista de extensão do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense – Campus Concórdia (2013-2014) na área de nutrição de cães obesos sob a supervisão da Profª Mcs. Amanda D'Ávila Verardi. Realizou estágio curricular na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, supervisionado pelo Prof. Dr. Luciano Trevisan. Atualmente é aluna de mestrado no Laboratório de Pesquisa em Nutrição e Doenças Nutricionais “Prof. Dr. Flávio Prada” na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus Jaboticabal na área de nutrição de cães e gatos, com ênfase em processamento de rações extrusadas secas para cães e gatos, pelo programa de Medicina Veterinária (Clínica Médica Veterinária), bolsista Capes, sob orientação do Prof. Dr. Aulus Cavalieri Carciofi.

Dedico

Aos meus pais Marisa e Almiro Baller, e irmã Aihanna Carolina Baller.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por mais essa oportunidade. À Nossa Senhora das Graças que segue comigo sempre e ilumina meus caminhos.

Aos meus amados pais, pelo amor, compreensão e estímulos. Agradeço a confiança depositada em mim todos esses anos, não existem palavras para demonstrar quanto sou grata por tudo. Amo vocês!

A minha irmã, Aihanna, pelo amor, alegria, companheirismo e paciência, que até mesmo nas brigas, está sempre ao meu lado, me apoiando e acreditando em mim.

À toda minha família, avós, madrinha, Maria, tios, tias, primos e primas e cunhado que mesmo distante, estão no meu coração e sempre presentes em minha vida, agradeço imensamente por todo o apoio e carinho recebidos.

Aos meus queridos amigos que mesmo distante, e com muito saudades, contribuíram, incentivaram e acreditaram, dando todo o apoio ao longo desses dois anos.

Ao meu querido orientador, Professor Aulus, pelo qual tenho grande e sincera admiração pessoal e profissional. Agradeço em especial pela oportunidade, paciência e ensinamento. Por sempre me incentivar e por acreditar em mim.

As minhas queridas amigas Shayane, Luciana, Tatiana e Marieli que tive a oportunidade de conviver e compartilhar momentos incríveis em Jaboticabal. Em especial, para a minha querida amiga Shayane, que hoje já é minha família, minha irmã de coração. Agradeço a amizade, o carinho, o companheirismo e paciência, e pelos momentos de alegria.

A todos os colegas e amigos do laboratório de nutrição, em especial aos meus grandes amigos Francine e Peterson, mas também a Mariana, Karina, Raquel, Érico, Camila, Thaila, Bruna, Ana Paula, Fernanda, Ludmilla, Mayara, Katiani e Michele pela grande ajuda, pela paciência e aprendizagem. Tenho muito orgulho de fazer parte dessa incrível equipe.

A Professora Dra Jane Maria Bertocco Ezequiel e o Dr. Fabiano César Sá, pela participação da banca de defesa desta dissertação, por poder contar com sua compreensão e por todas as sugestões e contribuições.

A todos os funcionários do laboratório de nutrição Diego, Elaine pelo cuidado especial com os animais e Cláudia por toda a ajuda com as análises.

Aos funcionários da Fábrica de Rações da FCAV/UNESP, Lucas e Hélio, obrigada pelos ensinamentos e pela amizade.

A Guabi Pet Care pelo apoio ao Laboratório de Pesquisa em Nutrição e Doenças Nutricionais de Cães e Gatos da FCAV/UNESP.

A Manzoni Industrial pela doação da extrusora, na qual esta pesquisa foi realizada.

A Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior – Capes, pela bolsa de estudo concedida para o desenvolvimento deste projeto.

A todos que direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão dessa fase.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT -	viii
LISTA DE TABELAS	ix
CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais	14
1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 Processo de Extrusão	15
2.2 Umidade da massa no processo de extrusão	16
2.3 Efeitos da umidade da massa sobre os nutrientes.....	18
3. OBJETIVO	22
4. REFERÊNCIAS.....	23
 CAPÍTULO 2 –	 28
RESUMO.....	29
ABSTRACT.....	30
1. Introdução	31
2. Materiais e métodos	32
2.1 Delineamento e tratamentos experimentais	32
2.2 Cálculos de EME e ETE	36
2.3 Macroestrutura do kibbles	36
2.4 Gelatinização do amido e digestibilidade <i>in vitro</i>	37
2.5 Lisina reativa	39
2.6 Avaliação de complexação de gorduras.....	39
2.7 Teste de Palatabilidade	40
2.8 Análises Bromatológicas	40
2.9 Análises Estatísticas.....	41
3. Resultados	41
3.1 Processamento dos tratamentos.....	41
3.2 Macroestrutura do <i>kibbles</i> , gelatinização do amido e digestibilidade <i>in vitro</i>	45
3.3 Lisina Reativa.....	48
3.4 Avaliação de complexação das gorduras.....	48
3.5 Teste de palatabilidade	49
4. Discussão.....	50
5. Conclusão	54
6. Referências	54

UMIDADE DA MASSA DO EXTRUSOR SOBRE OS PARÂMETROS DE PROCESSAMENTO, MACROESTRUTURA, COZIMENTO DO AMIDO E PALATABILIDADE DE ALIMENTOS EXTRUSADOS PARA GATOS

RESUMO - A adição de água é uma das variáveis que otimiza o processo de extrusão, uma vez que favorece o umedecimento dos ingredientes e transferência de calor, proporcionando o cozimento adequado; ocasiona mudanças na viscosidade e nas características macroestruturais dos *kibbles* reduzindo o desgaste da rosca extrusora; e se adicionada em quantidades suficientes, diminui a taxa de ocorrência da reação de Maillard. Apesar de sua importância, não se localizaram estudos sobre os melhores intervalos de umidade de processamento para a produção de rações para gatos. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da umidade da massa no canhão da extrusora sobre os parâmetros de processamento, macroestrutura dos *kibbles*, balanço de massa e energia, gelatinização do amido e teor de lisina reativa em alimentos extrusados para gatos. Uma fórmula padrão para gatos foi extrusada, e durante o processo de extrusão foram adicionadas seis diferentes quantidades de água no canhão extrusor, correspondendo as umidades da massa de 22%, 27%, 30%, 32%, 35% e 37% (tratamentos). O alimento foi produzido em extrusora de rosca simples e as condições de processamento foram estabilizadas para a dieta 22%, não sendo alteradas para as demais dietas. Os parâmetros registrados foram a temperatura do pré-condicionador, temperatura, pressão e produtividade da extrusora. Amostras de ração foram coletados a cada 15 minutos na saída da extrusora, sendo considerado cada coleta uma unidade experimental. A energia mecânica específica e a energia térmica específica, transferidas à massa, foram calculadas de acordo com Riaz (2007). A lisina reativa foi avaliada pelo método da O-metilisourea (Moughan e Rutherford, 1996). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas por contrastes polinomiais ($P < 0,05$). A adição de água aumentou a umidade de processamento de forma linear ($P < 0,001$), o que resultou em diminuição da pressão e temperatura de extrusão, redução quadrática da aplicação de energia mecânica específica (EME) ($P < 0,001$), redução quadrática na densidade aparente e específica, e na expansão radial e longitudinal ($P < 0,01$), sem alterar a força de ruptura e a gelatinização do amido das dietas. Houve ainda um aumento da lisina ligada, indicando maior complexação do aminoácido ($P < 0,001$). Conclui-se que uma elevada umidade da massa no canhão leva à uma redução da EME, da temperatura, da pressão, da gelatinização do amido, explicado pelo aumento da fluidez da massa e consequente redução do cisalhamento. Por outro lado, a baixa umidade da massa reduziu a expansão, a temperatura e o *flash-off* ou vaporização da água, fenômeno chave na formação celular e expansão do extrusado.

Palavras-chave: energia mecânica, extrusão, gelatinização do amido.

IN-BARREL MOISTURE ON THE PARAMETERS OF EXTRUSION PROCESS, MACROESTRUTURE, STARCH GELATINIZATION AND PALATABILITY ON EXTRUDED FOOD FOR CATS.

ABSTRACT - The addition of water is one of the variables that maximizes the extrusion process, since it favors the hydration of the ingredients and the heat transfer, providing a proper cooking; it also causes changes in the viscosity and macrostructural characteristics of the kibbles, reducing the wear of the extruder thread; if added in sufficient amounts it decreases the occurrence of Maillard reaction. Despite their importance, there are no studies evaluating the best processing moisture ranges for the production of cat food. The objective of this work was to evaluate the effects of the in-barrel moisture on the processing parameters, kibble macrostructure, mass and energy balance, starch gelatinization and reactive lysine content of extruded foods for cats. A standard formula for cats was extruded, and during the extrusion process six different amounts of water were added to the extruder barrel, corresponding to the moistures of 22%, 27%, 30%, 32%, 35% and 37% (treatments). The feed was extruded in a single screw extruder and the processing conditions were stabilized for the 22% diet, they were not changed for the other diets. The productivity, pressure and temperatures of the conditioner and of the extruder were recorded. Feed samples were collected every 15 minutes at the end of the extruder, each sample was considered an experimental unit. The specific mechanical energy and specific thermal energy transferred to the mass were calculated according to Riaz (2007). The reactive lysine was evaluated by the O-methylisourea method (Moughan and Rutherford, 1996). The data were submitted to analysis of variance (ANOVA) and the means were compared by polynomial contrasts ($P < 0.05$). Addition of water linearly increased the processing moisture ($P < 0.001$), which resulted in a decrease in extrusion pressure and temperature, quadratic reduction of specific mechanical energy application ($P < 0.001$), quadratic reduction in density apparent and specific, radial and longitudinal expansion ($P < 0.01$), without altering the breaking strength and the starch gelatinization of the diets. There was also an increase in the bound lysine indicating greater amino acid complexation ($P < 0.001$). It is concluded that an increase in in-barrel moisture leads to a reduction in the EME, the temperature, the pressure, the starch gelatinization, explained by the increase of the fluidity mass and consequent reduction of the shear. On the other hand, a low in-barrel moisture reduced expansion, a temperature and flash off, a key phenomenon in the cell formation and expansion of the extrudate.

Keywords: mechanical energy, extrusion, starch gelatinization.

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Composição de ingredientes do alimento para gatos empregada no estudo.....	33
Tabela 2. Composição química da ração farelada e das rações experimentais para gatos após extrusão com diferentes umidades da massa no canhão da extrusor, antes da cobertura (100 g/kg, da MS).....	41
Tabela 3. Tratamentos experimentais e gelatinização do amido no pré-condicionador de rações extrusadas para gatos com diferentes quantidades de umidade da massa no canhão extrusor.....	43
Tabela 4. Macroestrutura do <i>kibbles</i> , gelatinização do amido e digestibilidade <i>in vitro</i> na MO de rações extrusadas para gatos, com diferentes aplicações de umidade da massa no canhão extrusor.....	45
Tabela 5. Lisina total, lisina reativa, lisina ligada e conteúdo de lisina ligada na ração farelada em rações extrusadas para gatos. Valor em g/kg da matéria seca.....	47
Tabela 6. Teores de extrato etéreo e extrato etéreo hidrolise ácida de rações extrusadas para gatos processadas com diferentes umidades da massa no canhão extrusor. Resultados do produto antes do recobrimento com gordura.....	48

CAPÍTULO 1

CONSIDERAÇÕES GERAIS

CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui aproximadamente 52,2 milhões de cães e 22,1 milhões de gatos, números que posicionam o país em segundo lugar no “*ranking*” mundial quanto a quantidade de animais de estimação, vindo atrás apenas dos Estados Unidos (ABINPET, 2013). Atualmente, cerca de 95% dos alimentos extrusados secos para cães e gatos são produzidos com tecnologia high-temperature-short-time (HTST), onde a mistura de ingredientes é umedecida, e exposta a alta temperatura, pressão e cisalhamento, em um período relativamente curto de tempo (SPEARS; FAHEY, 2004). Busca-se atualmente produzir rações cuidadosamente processada e com elevada qualidade, o que é nutricionalmente e comercial importante para atrair o consumidor durante a decisão de compra.

A extrusão é uma operação altamente versátil que pode ser aplicada a uma variedade de processamentos de alimentos. Os extrusores são usados para cozinhar, formatar, sanitizar, texturizar e moldar uma mistura homogênea de ingredientes, pela aplicação de umidade, pressão, temperatura e fricção mecânica em um curto espaço de tempo, condições que aumentam a qualidade, produtividade e reduzem custo de produção (RIAZ, 2007; TRAN et al., 2008). A umidade da massa em processamento é importante pois favorece o umedecimento das partículas do ingrediente, melhorando a transferência de energia e o cozimento do amido (RIAZ, 2007; FRAME, 1994). O teor de umidade da massa é influenciado pela umidade da matéria prima, aplicação de vapor e água no condicionador e no canhão da extrusora. A umidade da massa exerce efeito significativo na macroestrutura dos extrusados, uma vez que influencia diretamente a formação de estrutura celular e a expansão dos *kibbles* (ONWULATA et al., 2001).

No entanto, a extrusão também pode promover efeitos indesejáveis, incluindo destruição de vitaminas, oxidação de lipídeos, destruição e redução na disponibilidade de aminoácidos, principalmente da lisina, envolvida na reação de Maillard (LANKHORST et al., 2007).

O presente estudo teve como objetivo geral estudar a influência da umidade da massa no canhão extrusor sobre a macroestrutura dos extrusados, os parâmetros de processamento, cozimento e palatabilidade de alimentos para gatos

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Processo de Extrusão

A extrusão é uma operação altamente versátil que pode ser aplicada em diversos processos industriais, como na fabricação de polímeros termoplásticos, metalurgia, cerâmicas e em processos alimentícios, como por exemplo, na fabricação de massas pré-cozidas, *snacks*, cereais matinais e também na alimentação animal. Os extrusores são usados para cozinhar, formatar, sanitizar e texturizar uma massa homogeneia de ingredientes, pela combinação de umidade, pressão, temperatura e fricção mecânica, em um curto espaço de tempo. Essas condições resultam em aumento da qualidade, da produtividade e redução do custo de produção (RIAZ, 2007).

O processo de produção de alimentos extrusados inclui as etapas de condicionamento, extrusão, corte, secagem, recobrimento e resfriamento. Uma mistura previamente moída e homogeneizada entra neste processo através do silo alimentador, chegando ao pré-condicionador da extrusora. Neste local, adiciona-se energia térmica à massa, pela injeção direta de vapor, e água. Outros líquidos também podem ser adicionados, como óleos, emulsões, aditivos, dentre outros. O pré-condicionador é composto por barras cilíndricas, com pás dispostas radialmente girando a uma velocidade variável, sendo responsável por homogeneizar a mistura de ingredientes e transformá-la em massa uniforme (BAZOLLI, 2007). A adição de água e vapor nessa etapa de condicionamento tem como objetivos aumentar a umidade e a temperatura da massa, favorecendo a hidratação interna dos grânulos de amido e, conseqüentemente, o cozimento do amido, a plasticização da massa e a sanitização do produto. Desta forma, a umidade auxilia no aumento da estabilidade e produtividade da extrusora, e na qualidade do cozimento e texturização do produto final (RIAZ, 2000).

Após o condicionamento, ocorre a etapa de extrusão propriamente dita. O equipamento consiste em um canhão com um sistema de rosca sem fim (simples ou duplo), que gira a uma velocidade variável (RIAZ, 2012). Nessa etapa adiciona-se energia mecânica pela compressão e cisalhamento da massa dentro do tubo extrusor, promovida pela rotação do parafuso que comprime a massa contra seu revestimento e matriz no final do tubo. O processo gera pressão e cisalhamento, elevando a temperatura. Adicionalmente, no canhão extrusor também é possível adicionar energia térmica na forma de injeção de vapor direto. Toda essa energia adicionada à massa permite, em poucos segundos e a um baixo teor de umidade (20 a 35%), adequado cozimento do amido e desnaturação de proteínas (GIBSON, ALAVI, 2013). Além de vapor, água também pode ser adicionada no canhão extrusor. Esta é necessária para intumescimento e gelatinização do amido, gerando viscosidade e favorecendo a transferência de energia mecânica. No entanto, se excessiva pode atuar como um lubrificante, e consequentemente reduzir o cisalhamento e aumentar a fluidez da massa, a redução da fricção mecânica não possibilita adequado aumento da temperatura e pressão, com redução da leitura da amperagem do motor (FRAME, 1994).

No fim do canhão extrusor existe o sistema de corte, composto por facas com rotação variável, responsáveis por cortar a massa para a formatação desejada. Durante a secagem, etapa posterior ao corte, o produto é direcionado ao secador para redução de sua umidade para valores entre 5 e 10%, e atividade de água abaixo de 0,6 com objetivo de estabilidade microbiológica. Quando o produto possui umidade elevada entre 30 e 35%, há necessidade de esforços extras no secador, afim de manter a retirada do excesso de umidade. Para isso há um conjunto de fatores que incluem ser respeitado para a remoção e uniformização da taxa de umidade, controle adequado de temperatura, fluxo de ar e tempo de retenção.

2.2 Umidade da massa no processo de extrusão

A umidade da massa dentro do canhão extrusor durante o processamento pode variar entre 10 e 40%, a depender do tipo de equipamento e das características químicas e físicas das matérias primas e formulação. Esta é a somatória da umidade da matéria prima, umidade advinda da condensação do vapor e da água adicionados,

tanto no pré-condicionador como no canhão da extrusora. A umidade é ponto crítico de processamento, pois determina a hidratação das partículas dos ingredientes, o cozimento do amido, a transferência de energia mecânica e a texturização dos extrusados (RIAZ, 2007). A umidade de processamento apresenta efeito direto sobre a expansão do *kibbles*, pois age como um plastificante em ingredientes amiláceos, modulando a viscosidade da massa e, conseqüentemente, a transferência de energia mecânica específica, resultando em diferentes celularidades, densidades e texturas (FRAME, 1994; ONWULATA et al., 2001; DING et al., 2005). Teores de umidade superiores a 40% atuam como lubrificante dentro do canhão extrusor. Indica-se sua utilização no processamento de rações extrusadas quando se utilizam configurações com alta energia mecânica, para evitar a queima da massa e melhorar sua estabilidade; ou quando os alimentos são ricos em gorduras (FRAME, 1994).

Redução do teor de umidade abaixo de 20% resulta em aumento do atrito e força de cisalhamento no canhão da extrusora, elevando a pressão e temperatura dentro do mesmo. Pois a viscosidade do material também sobe, compensando o aumento da pressão (acima de 80 bars) (FRAME, 1994). Dessa forma, altas taxas de pressão são observadas em sistemas de extrusão que utilizam umidade da massa inferior a 20%, que resultam em baixa expansão dos *kibbles* e ainda podem ocasionar a formação de dextrinas, pois a quantidade de água não será suficiente para hidratar adequadamente o amido (RIAZ, 2007). Acredita-se que teores mais baixos de umidade da massa também reduzam a palatabilidade e contribuam para a destruição de nutrientes termo-sensíveis, como a lisina e o ácido ascórbico (VAN ROOIJEN, 2015).

Outra importante função da umidade da massa é o fenômeno conhecido como “*flash-off*”, ou vaporização da água, que irá determinar a formação da estrutura celular do *kibble*. Dentro do canhão extrusor a massa de ingredientes e água encontra-se altamente pressurizada (40 – 80 bars) e com temperaturas elevadas (130-180 °C), quando o *kibble* sai pela matriz e entra em contato com a atmosfera ambiente sua pressão interna é instantaneamente liberada, através da vaporização de sua umidade interna, resultando na formação de estrutura celular e expansão (RIAZ, 2000). Esse efeito depende da umidade, pressão e temperatura da massa, bem como do tipo de

matéria prima e quantidade de amido gelatinizado presente, normalmente a perda de água por vaporização é de 2 à 5% da umidade da massa (RIAZ, 2007).

2.3 Efeitos da umidade da massa e principais modificações que a extrusão pode causar aos nutrientes

Durante a etapa de condicionamento, a massa de ingredientes recebe a adição de água, tanto na forma líquida como vapor, aumentando a umidade da massa e a temperatura. Esse aumento da umidade e da temperatura favorecem a hidratação dos grânulos de amido, iniciando o processo de gelatinização. O amido é o principal substrato para que a extrusão ocorra de forma adequada. Como regra, teor de umidade da massa mais elevado promove maior gelatinização do amido, no entanto isto é verdadeiro desde que se tenha transferência de energia mecânica suficiente durante a extrusão para romper as ligações das estruturas cristalinas de amilose e amilopectina (RIAZ, 2007; TRAN, 2008).

O processo de gelatinização do amido tem também consequências sobre os lipídeos do alimento. No canhão do extrusor, o amido gelatinizado, especificamente as cadeias de amilose, formam complexos com a gordura naturalmente presente nos ingredientes (GIBSON e ALAVI, 2013). Os complexos amilose-lipídeos são formados pela encapsulação do triglicéride no interior da molécula de amilose. As consequências dessa ligação para o animal, em relação ao aproveitamento do alimento, não estão ainda consolidadas em estudos com cães e gatos. Adicionalmente, a formação de complexos amilose-lipídeos é reação importante durante o processo de extrusão, pois altera a textura e expansão dos *kibbles*. Quanto maior a adição de gordura na massa menor será a eficiência da transferência de energia mecânica, reduzindo o cozimento do amido e levando à formação de *kibbles* pouco expandidos e densos (CHEFTEL, 1986).

Os efeitos da extrusão sobre a proteína podem ser benéficos ou prejudiciais às características físico-químicas do produto final. Dentre os efeitos benéficos, por meio da temperatura elevada e umidade, o processo de extrusão permite a inativação de fatores antinutricionais, como por exemplo a destruição dos inibidores de tripsina (VAN DER POEL et al., 1990; ALONSO et al., 2000; SINGH, GAMLATH & WAKELING, 2007) e hemaglutinina (PONCIANO NETO, 2015). No estudo de Björck & Asp (1983), por exemplo, os autores concluíram que a melhor qualidade da proteína em farelo de

soja foi obtida através de uma temperatura no canhão da extrusora de 153°C, com um teor de 20% de umidade da massa e utilizando um tempo de residência no extrusor de dois minutos, obtendo-se redução de 89% dos inibidores de tripsina. Já no estudo de Ponciano Neto (2015), conduzido em nosso laboratório, inativação completa de hemaglutinina e tripsina presentes no feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cru foram obtidas durante o processamento das produção das rações, com temperatura e umidade na saída do condicionador ($90,62 \pm 3,28^\circ\text{C}$ e $23,20 \pm 2,23$), canhão da extrusora ($135,19 \pm 7,38^\circ\text{C}$ e $40,56 \pm 2,87\%$) e secador ($108,34 \pm 4,71^\circ\text{C}$ e $3,93 \pm 0,58\%$).

Outro benefício do processo de extrusão é a desnaturação das proteínas, tornando-as mais susceptíveis às enzimas digestíveis, aumentando a sua digestibilidade pelos animais (VAN ROOIJEN, 2015). No estudo de Oliveira (2016), também conduzido em nosso laboratório, a extrusão elevou o coeficiente de digestibilidade aparente da proteína de uma dieta para cães de 83,7% para 86,7%.

Em relação aos efeitos indesejáveis do tratamento termomecânico, destacam-se dano a alguns aminoácidos através de reações como as de *Maillard*, reticulação proteína-proteína e formação de complexos proteína-lípido e proteína-carboidrato (BJÖRCK & ASP, 1983). As reações de *Maillard* são importantes nos alimentos, podendo ser benéficas ou não. Pouco se conhece destas em relação aos alimentos para cães e gatos. A reação de *Maillard* ocorre em alimentos que contêm proteínas e açúcares redutores, durante o processamento térmico ou armazenamento prolongado (WILLIAMS et al., 2006). A reação de *Maillard* é dividida em três fases inicial, avançada e final. Na fase inicial, essa reação ocorre pela ligação de um grupo carbonila de um açúcar redutor com um grupo amina de uma proteína, resultando na formação de uma base reversível de Schiff (VAN ROOIJEN, 2015). Essa fase não é restrita a aminoácidos, pode ter a participação de outros grupos amino, advindos de peptídeos. A base de Schiff pode sofrer ao longo do processo, um rearranjo de Amadori, resultando na formação do composto de Amadori (ϵ -N-desoxicetosililisina). Os produtos de Amadori são reversível apenas sob certas condições.

A intensidade da reação de *Maillard* é influenciada pela temperatura, tempo de aquecimento, teor de umidade, pressão, pH e cisalhamento. A taxa de reação aumenta com a redução da umidade, o aumento da temperatura, do tempo de processo, da força de cisalhamento, da pressão e em pH alcalino de 6 à 8 pH (VAN

BOEKEL 2010; VAN ROOIJEN, 2015). Um estudo realizado por Lankhorst et al., (2007) avaliou a influência da temperatura (110, 130 e 150°) e umidade (200 e 300 g/kg) sobre o teor de lisina, e concluiu que estas temperaturas não influenciaram nos teores de lisina presentes na ração. Segundo Cheftel (1986), isso acontece porque a temperatura de processamento na qual as proteínas sofrem danos são maiores que 180°C, portanto temperaturas inferiores a citada devem ser utilizadas para minimizar os efeitos negativos da reação de *Maillard* sobre o produto final. Na fase avançada da reação de *Maillard*, aumentando-se o processamento ou o armazenamento, o composto de Amadori pode reagir através de várias vias (rearranjo, condensação, oxidação e desidratação), levando à formação de produtos da reação de *Maillard* avançado (PRM). Estes compostos são ricos em potencial oxidativo e, portanto, tendem a ser pró-oxidativos. Na fase final, os produtos da reação de *Maillard* reagem com os grupos amino livres, encontrados por exemplo na lisina, para produzir compostos estáveis, as melanoidinas que são responsáveis pela cor castanha característica dos alimentos aquecidos (VAN ROOIJEN, 2015). A reação de *Maillard* pode ser interessante em alimentos para cães e gatos, pois os compostos formados, tais como cetonas e aldeídos, podem proporcionar sabor e cor desejados ao alimento processado. Mas também pode ser responsável pela diminuição na qualidade nutricional de alimentos extrusados (CAMIRE, 1991). A ocorrência excessiva desta reação pode levar à diminuição da disponibilidade de aminoácidos essenciais, como a lisina. Em alimentos para cães e gatos, formulados com altos teores de proteína, o grupamento ϵ -amino presente em abundância na lisina é o primeiro a se ligar aos açúcares redutores (glicose, maltose e lactose), pois esse grupamento amina é altamente reativo às ligações peptídicas (VAN ROOIJEN, 2015).

No organismo, quando presentes, esses produtos são capazes de modificar propriedades estruturais e funcionais da proteína, e uma vez modificados a taxa de reparo tecidual é dificultada, resultando em acúmulo de produtos finais da reação de *Maillard*. Esse acúmulo tem sido correlacionado a uma série de etiologias, tanto em animais como em seres humanos, entre elas Diabetes mellitus, osteoartrites, doenças neurodegenerativas, portanto, doenças relacionadas com a idade (ALDRICH, 2006; VAN ROOIJEN, 2015).

Entre os aminoácidos essenciais na alimentação de cães e gatos, a lisina é considerada um aminoácido limitante em produtos formulados à base de milho. Avaliar a retenção de lisina durante o processo de extrusão é particularmente importante, porque é um aminoácido altamente reativo, por conter em sua estrutura dois grupos aminas disponíveis. A perda da disponibilidade de lisina resulta na diminuição do valor nutricional da proteína, sendo assim, a lisina serve como indicador de danos que podem ocorrer à proteína durante o processo de extrusão (SINGH, GAMLATH & WAKELING, 2007).

O teor de lisina de uma amostra normalmente é determinado, por meio de aquecimento das proteínas e hidrólise das ligações peptídicas por um ácido, resultando em aminoácidos livres que são quantificados por cromatografia. Desta forma, o valor de lisina total corresponde às moléculas de lisina livre e de lisina ligada que foi revertida à lisina livre após a hidrólise ácida (VAN ROOIJEN, 2015). A lisina ligada corresponde à quantidade de lisina que teve sua estrutura molecular modificada durante o processo de extrusão, na primeira fase da reação de Maillard, resultado da formação de produtos de Amadori (VAN ROOIJEN, 2015). O valor de lisina reativa pode ser obtido utilizando-se o método O-metilsoureia (OMLU), que determina a quantidade de lisina contendo o grupo ϵ -amino reativo. Esse componente (OMLU) liga-se apenas aos grupo ϵ -amino livre reativos da lisina. Nas rações extrusadas a quantidade de lisina reativa é resultado da seleção de ingredientes e das condições de processamento empregadas durante a extrusão (TRAN et al, 2007). A razão entre lisina total e reativa representa a quantidade de lisina que foi ligada durante o processo de extrusão, mas voltou a sua forma normal após a hidrólise ácida. Esta razão é considerada uma propriedade indicativa da qualidade do processo de extrusão, diretamente relacionada aos efeitos do tratamento termomecânico (TRAN, 2008).

A qualidade da proteína presente em rações extrusadas corresponde ao seu teor de proteína e a disponibilidade dos aminoácidos. Em um estudo realizado por Williams et al., (2006) avaliando 14 rações extrusadas para cães filhotes e 19 rações para cães adultos, concluíram que embora ocorra a formação de lisina ligada durante o processo de extrusão, havia em todas as dietas quantidades suficientes de lisina para satisfazer as necessidades nutricionais diárias dos cães. Além disso, afirma que a proporção de lisina nas dietas que foi danificada durante o processo de extrusão

torna-se indisponível para os cães. Estudando o efeito dos produtos de reação de Maillard sobre a digestibilidade de proteínas, Oste et al. (1986) verificou que os compostos com menor peso molecular inibiram a N-amino peptidase, e esta inibição resultou na redução da absorção de proteínas no sistema digestivo. As implicações ao organismo de se consumir alimento com importante proporção de lisina ligada seria a limitação do uso da lisina para a síntese de proteína corporal, com redução do valor biológico da proteína alimentar (WILLIAMS et al., 2006; VAN ROOIJEN, 2015).

No entanto, tanto as consequências biológicas do consumo do composto como as condições e parâmetros de extrusão que podem levar à sua formação, dentre estes especificamente a umidade de processo, são pouco conhecidos para cães e gatos.

3. OBJETIVO

Esta dissertação de mestrado teve como objetivo avaliar o efeito da umidade da massa no canhão extrusor sobre os parâmetros de processamento, macroestrutura dos extrusados, gelatinização do amido, digestibilidade *in vitro*, razão de lisina ligada e palatabilidade de alimentos para gatos.

4. REFERÊNCIAS

ALDRICH, G. Rendered products in pet food. *Essential rendering*. p.159, 2006.

ALONSO, R.; AGUIRRE, A.; MARZO, F. Effects of extrusion and traditional processing methods on anti-nutrients and in-vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. **Food Chemistry**, v.68, p.159-165, 2000.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE ALIMENTOS PARA ANIMAIS DE ESTIMAÇÃO – **ANFALPET**, 2014.

ASSOCIATION OF AMERICAN FEED CONTROL OFFICIALS. **Official Publication**, 2010. Association of American Feed Control Officials, 2010.

ASSOCIATION OF AMERICAN FEED CONTROL OFFICIALS. AAFCO. **Official publication**, 2009. Washington. 2009.

ASSOCIATION OF THE OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official and tentative methods of Analysis. 18. ed. Arlington. **AOAC International**. 2002.

ASSOCIATION OF THE OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official and tentative methods of analysis. 16. ed. Arlington. **AOAC International**. 1995.

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. 82f. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

BJÖRCK, I.; ASP, N.G. The effects of extrusion cooking on nutritional value, a literature review. **Journal of Food Engineering**, p. 281-308, 1983.

CAMIRE, M.E. Protein functionality modification by extrusion cooking. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 68:200-205, 1991.

CARCIOFI, A.C.; PALAGIANO, C.; SA, F.C.; MARTINS, M.S.; GONÇALVES, K.N.V.; BAZOLLI, R.S.; SOUZA, D.F.; VASCONCELLOS, R.S. Amylase utilization for the extrusion of dog diets. **Animal Feed Science and Technology**, v.177, p.211– 217, 2012.

CARCIOFI, A.C.; DE-OLIVEIRA, L.D.; VELÉRIO, A.G.; BORGES, L.L.; CARVALHO, F.M.; BRUNETTO, M.A.; VASCONCELLOS, R.S. Comparison of micronized whole soybeans to common protein sources in dry dog and cat diets. **Animal Feed Science and Technology**, v.151, p.251-260, 2009.

CARCIOFI, A.C.; TAKAKURA, F.S.; DE-OLIVEIRA, L.D; TESHIMA, E.; JEREMIAS, J.T.; BRUNETTO, A.M.; PRADA, F. Effects of six carbohydrate sources on dog diet digestibility and post-prandial glucose and insulin response. **Journal Animal Physiology Animal Nutrition**, v.92, p.326–336, 2008.

DE-OLIVEIRA, L. D., CARCIOFI, A. C., OLIVEIRA, M. C. C., VASCONCELLOS, R. S., BAZOLLI, R. S., PEREIRA, G. T., and PRADA, F. Effects of six carbohydrate sources on diet digestibility and postprandial glucose and insulin responses in cats. **Journal of Animal Science**, v.86, p.2237–2246, 2008.

CASE, L.P.; CAREY, D.P.; HIRAKAWA, D.A.; DARISTOTLE, L. **Canine and feline nutrition: A resource for companion animal professionals**. Mosby, Inc., St. Louis, Missouri, USA, 2000.

CHEFTEL J.C. Nutritional effects of extrusion cooking. **Food Chemical**. 20, 263-283, 1986.

CRANE, S.W.; GRIFFIN, R.W.; MESSENT, P.R. **Introduction to commercial pet foods**. In: HAND. M. et al. Small animal clinical nutrition. 4 ed. Kansas: Mark Morris Institute. p.111-126. 2000.

DING, Q.B., AINSWORTH, P., TUCKER, G., MARSON, H. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-expanded snacks. *J. Food Eng.* 66, 283–289, 2005.

DEFFENBAUGH, L. Optimizing pet food, aquatic and livestock feed quality. In: Riaz, M.N., editor, **Extruders and expanders in pet food, aquatic and livestock feeds**. Agrimedia GmbH, Clenze, Germany, p.327-342, 2007.

DONA, A. C.; PAGES, G.; GILBERT, R. G.; KUCHEL, P. W. Digestion of starch: *In vivo* and *In vitro* kinetic models used to characterize oligosaccharide or glucose release. **Carbohydrate Polymers**. v.83, p.1775-1786, 2010.

ERWIN, E. S.; MARCO, G. J.; EMERY, E. M. Volatile fatty acid analyses of blood and rumen fluid by gas chromatography. **Journal of Dairy Science**, v.44, p.1768-1771, 1961.

FEDIAF - The European Pet Food Industry Federation. **Nutritional guidelines for complete and complementary pet food for cats and dogs**. The European Pet Food Industry Federation, Bruxelles, 2011.

FRAME, M. D. **The technology of extrusion cooking**. 1 ed. 1994.

GIBSON, M.; ALAVI, S. Pet Food Processing-Understanding Transformations in Starch during Extrusion and Baking. **Cereal Foods World**, v.58, n.5, p.232-236, 2013.

GRIFFIN, R. W. Palatability testing: Parameters and analyses that influence test conclusions. In: KVAMME, J. L.; PHILLIPS, T. D. **Petfood technology**. Illinois Mt Morris, p.187-193, 2003.

HULLÁR, I.; FEKETE, S.; SZOCS, Z. Effect of extrusion on the quality of soybean-based catfood. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.80, p.201–206, 1998.

HENDRIKS, W.H., Sritharan, K. Apparent ileal and fecal digestibility of dietary protein is different in dogs. **Journal of Nutrition**, v.132, n.6, p.1692-1694, 2002.

HERVERA, M.D.; BAUCCELLS, F.; BLANCH, C.; CASTRILHO, M. Prediction of digestible energy content of extruded dog food by in vitro analyses. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.91, p.205–209, 2007.

LANKHORST, C.; TRAN, Q.D.; HAVENAAR, R.; HENDRIKS, W.H.; VAN DER POEL, A.F.B. The effect of extrusion on the nutritional value of canine diets as assessed by *in vitro* indicators. **Animal Feed Science and Technology**, v.138, p.285–297, 2007.

LILLARD, D.A. Effect of processing on chemical and nutrition changes in food lipids. **Journal of Food Protection**, v.46, n.1, p.61-67, 1983.

LIN, S.; HSIEH, F.; HUFF, H.E. Effects of lipids and processing conditions on lipid oxidation of extruded dry pet food during storage. **Animal Feed Science Technology**, v.71, p.283-194, 1998.

MURRAY, S.M.; FLICKINGER, A.E.; PATIL, A.R.; MERCHEN, N.R.; BRENT JR, J.L.; FAHEY JR, G.C. *In vitro* fermentation characteristics of native and processed cereal grains and potato starch using ileal chyme from dogs. **Journal Animal Science**, v.79, p.435–444, 2001.

NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of dogs and cats**. Whashington. DC: The National Academy. 2006, 398p.

OLIVEIRA, M. C. C. **Efeito da fibra solúvel e insolúvel e do teor de proteína sobre a saciedade e respostas hormonais em gatos**. 2016. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2016.

ONWULATA, C.I.; SMITH, P.W.; KONSTANCE, R.P.; HOLSINGER, V.H. Incorporation of whey products in extruded corn, potato or rice snacks. **Food Research International**, v.34, p.679-687, 2001.

OSTE, R.E.; DEHLQVIST, A.; SJÖSTROM, H.; NOREN, O.; MILLER, R., Effect of Millard reaction products in protein digestion, in vivo studies. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 34, p. 355–358, 1986.

PRYCE, J. D. A modification of the Barker-Summerson method for the determination of lactic acid. **The Analyst**, v.94, p.1121-1151, 1969.

PONCIANO NETO, B. Avaliação do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) partido como ingrediente em alimentos extrusados para gatos. 2015. 76f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Maringá, Maringá, 2015.

RATNAYAKE, W. S.; JACKSON, D. S. Starch gelatinization. **Advances in Food and Nutrition Research**. v.55, 2009.

RATNAYAKE, W. S.; JACKSON, D. S. **Starch: sources and processing**. In: Encyclopedia of Food Science. Food Technology and Nutrition. 2nd ed. Rev. New York: John Wiley & Sons, p.5567-5572, 2003.

RIAZ, M. N. Extruders in food applications, In: RIAZ M. N. **Introduction to extruders and their principles**. CRC Press, p.1-23, 2000.

RIAZ, M. N. Extrusion basics. In: KVAMME, J. L.; PHILLIPS, T. D. **Petfood technology**. Illinois Mt Morris. p.347-360. 2003.

RIAZ, M.N. **Extruders and Expanders in Pet Food, Aquatic and Livestock Feeds**. Agrimedia, Clenze, p. 400, 2007.

ROKEY, G.; PLATTNER, B. Process description. In: **Pet food production**. Wenger Mfg, Inc., Sabetha, KS USA 66534, p.1-18, 1995.

SÁ, F.C.; VASCONCELLOS, R.S.; BRUNETTO, M.A.; FILHO, F.O.R; GOMES, M.O.S.; CARCIOFI, A.C. Enzyme use in kibble diets formulated with wheat bran for dogs: effects on processing and digestibility. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.97, p.51-59, 2013a.

SÁ, F.C.; SOUZA, E.M.; ROKEY, G.; VENTURINI, K.S; WERNECK, J.N.; GONÇALVES, K.N.V, CARCIOFI, A.C. Digestibility and palatability of foods for dogs and cats extruded with different amounts of mechanical and thermal energy. In: The WALTHAM® International Nutritional Sciences Symposium, 2013. Portland. **Abstracts...** Portland, 2013b, p.137.

SINGH, S; GAMLATH, S; WAKELING, L. Nutritional aspects of food extrusion: a review. **International Journal of Food Science and Technology**. v.42, p. 916-929. 2007.

SPEARS, J. K.; FAHEY JR., G. C. Resistant Starch as Related to Companion Animal Nutrition. **Journal of AOAC International**, v.87, p.787-791, 2004.

STROUCKEN, W.P.J.; VAN DER POEL, A.F.B.; KAPPERT, H.J.; EYNEN, A.C. Extruding vs pelleting of a feed mixture lowers apparent nitrogen digestibility in dogs. **Journal of Science Food Agriculture**, v.71, p.520-522, 1996.

TRAN, Q.D.; HENDRIKS, W.H.; VAN DER POEL, A.F. Effects of extrusion processing on nutrients in dry pet food. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.88, n.9, p.1487-1493, 2008.

TRAN, Q. D. **Extrusion processing: effects on dry canine diets**. Thesis (Doctorate in Feed Tecnology). Wageningen University. The Netherlands. 2008.

TRIVEDI, N.; BENNING, J. Palatability Keys. In: KVAMME, J. L.; PHILLIPS, T. D. **Petfood technology**. Illinois Mt Morris, p.178-179, 2003.

VAN BOEKEL, M.; FOGLIANO, V.; PELLEGRINI, N.; STANTON, C.; SCHOLZ, G.; LALLJIE, S.; SOMOZA, V.; KNORR, D.; JASTI, P. R.; EISENBRAND, G. A review on the beneficial aspects of food processing. **Molecular Nutricional. Food Reserch**. v 54, p.1215-1247. 2010.

VAN ROOIJEN, C. Maillard reaction products in pet food. Phd thesis Wageningen University. The Netherlands. 2015.

VAN DER POEL, A.F.B.; BLONK, J.; VAN ZUILICHEM, D.J.; VAN OORT, M.G., Thermal inactivation of lectins and trypsin inhibitor activity during steam processing of dry beans (*Phaseolus vulgaris*) and effects on protein quality. **Journal of Science Food Agriculture**, v.53, p.215-228, 1990.

VIEIRA, P.F. **Efeito do formaldeído na proteção de proteínas e lipídios em rações para ruminantes**. 1980. 98f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1980.

ZANOTTO, D. L., C. BELAVER. Método de determinação da granulometria de ingredientes para uso em rações de suínos e aves. **Comunicado Técnico EMBRAPA – Suíno e Aves**. CT 215. 1-5. 1996.

ZENG, M.; MORRIS, C.F.; BATEY, I.L.; WRIGLEY, C.W. Sources of variation for starch gelatinization, pasting, and gelation properties in wheat. **Cereal Chemistry**, v.74, p.63-71, 1997.

WILLIAMS, P. A; HODGKINSON, S. M; RUTHERFURD, S. M; HENDRIKS, W. H. Lysine content in canine diets can be severely heat damaged. American Society of Nutrition. **Journal Nutrition**. v. 136, p1998-2000, 2006.

CAPÍTULO 2 – Umidade da massa do extrusor sobre os parâmetros de processamento, macroestrutura, cozimento do amido e palatabilidade de alimentos extrusados para gatos¹.

¹Artigo redigido conforme as normas de publicação do *Animal Feed Science and Technology*, exceto o posicionamento das tabelas.

Umidade da massa do extrusor sobre os parâmetros de processamento, macroestrutura, cozimento do amido e palatabilidade de alimentos extrusados para gatos.

RESUMO - A adição de água é necessária para a extrusão adequada de alimentos para animais de estimação; Favorece o fluxo da massa, a hidratação do amido e a formação da estrutura celular. No entanto, os efeitos de diferentes umidade da massa não são completamente conhecidos para alimentos para gatos. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da umidade da massa no canhão extrusor sobre os parâmetros de processamento, macroestrutura dos *kibbles*, balanço de energia, gelatinização do amido e teor de lisina reativa em alimentos para gatos. Uma fórmula padrão para gatos foi extrusada com seis umidades da massa no canhão extrusor, 22%, 27%, 30%, 32%, 35% e 37%, respectivamente. Após a estabilização (30min), os parâmetros de extrusão foram registrados a cada 15 min, com quatro amostragens por tratamento (considerada a unidade experimental, $n = 4$). A ração farelada e as dietas extrusadas foram analisadas quanto à composição química. A energia mecânica específica, energia térmica específica e a macroestrutura dos *kibbles* foram calculadas de acordo com Riaz (2003). A palatabilidade das dietas foi comparada pelo método de duas vasilhas, com no mínimo 36 animais por comparação. Avaliou-se a quantidade de lisina total, reativa, ligada e a razão entre lisina ligada:total, da ração farelada e dos tratamentos com umidade da massa de 22% e 37%. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas por contrastes polinomiais utilizando o procedimento GLM do SAS ($P < 0,05$). A adição de água resultou em aumento da umidade da massa (IBM) processamento ($P < 0,001$), o que resultou em diminuição da pressão e temperatura de extrusão e redução quadrática na densidade aparente. A densidade específica, expansão radial e longitudinal apresentaram redução ($P < 0,01$). Houve redução linear da gelatinização do amido ($P < 0,01$) e da digestibilidade *in vitro* ($P < 0,01$) e não alterou a força de ruptura das dietas. Houve, ainda, aumento da lisina ligada indicando maior complexação do aminoácido ($P < 0,001$). Concluiu-se portanto, que a alta umidade da massa no canhão aumentou a fluidez da massa e reduziu o cisalhamento, explicando a redução nas EME, a temperatura, a pressão, e a diminuição da gelatinização do amido. O flash-off é um fenômeno-chave na formação celular e expansão de croquete, a baixa umidade da massa reduziu a expansão, mas o excesso de água reduziu a pressão, a temperatura, diminuindo também a vaporização de água.

Palavra-chave: energia mecânica, extrusão, gelatinização, lisina.

IN-BARREL MOISTURE ON THE PARAMETERS OF EXTRUSION PROCESS, MACROESTRUTURE, STARCH GELATINIZATION AND PALATABILITY ON EXTRUDED FOOD FOR CATS.

ABSTRACT: Water addition is required for proper extrusion of pet food; it favors dough flow, starch hydration and cell structure formation. However, the effects of different in-barrel moisture are not completely known for cat foods. The objective of this work was to evaluate the effects of the in-barrel moisture on the parameters processing, kibble macrostructure, energy balance, starch gelatinization and reactive lysine content in cat food. A standard formula for cats was extruded with six in-barrel moisture, 22%, 27%, 30%, 32%, 35% and 37%, respectively. After stabilization (30min), extrusion parameters was recorded at each 15 min, with four samplings per treatment (considered the experimental unit, $n = 4$). The raw material and extruded diets were analyzed for chemical composition. The specific mechanical energy (SME) and macrostructure of the kibbles was calculated according Riaz (2003). The palatability of the diets was compared by the method of two vessels, with at least 36 animals per comparison. The amount of total, reactive, bound lysine and the ratio of total lysine of the lean diet and treatments with 22% and 37% in-barrel moisture were evaluated. Results were submitted to variance analysis and compared by polynomial contrasts using the GLM procedure of SAS ($P < 0.05$). The addition of water resulted in increased mass moisture (IBM) processing ($P < 0.001$), which resulted in decreased extrusion pressure and temperature and quadratic reduction in bulk density. The specific density, radial and longitudinal expansion presented reduction ($P < 0.01$). There was a linear reduction of starch gelatinization ($P < 0.01$) and in vitro digestibility ($P < 0.01$) and did not alter the breaking strength of the diets. There was also an increase in the bound lysine indicating greater amino acid complexation ($P < 0.001$). It was concluded, therefore, that the high in-barrel moisture increased the fluidity of the mass and reduced the shear, explaining the reduction in the EME, the temperature, the pressure, and the decrease of the gelatinization of the starch. The flash-off is a key phenomenon in cell formation and kibble expansion, the low mass moisture reduced the expansion, but the excess water reduced the pressure, the temperature, also decreasing water vaporization.

Keywords: mechanical energy, extrusion, gelatinization, lysine.

1. Introdução

A extrusão é operação versátil que pode ser aplicada em diversos processos industriais, como a fabricação de massas pré-cozidas, *snacks*, cereais matinais e alimentos para animais de estimação (RIAZ, 2007; TRAN et al., 2008). Os alimentos extrusados secos correspondem a mais de 95% dos produtos comercializados no Brasil (SPEARS; FAHEY, 2004). No processo, os extrusores são usados para cozinhar, sanitizar, formatar e texturizar uma massa homogênea de ingredientes, pela combinação de umidade, pressão, temperatura e fricção mecânica em um curto espaço de tempo (RIAZ, 2007; MOSCICKI, 2011). Essas condições resultam em aumento da qualidade nutricional, segurança microbiológica e palatabilidade dos alimentos, a um baixo custo relativo em relação a outros processos industriais (RIAZ, 2007; TRAN et al., 2008; GIBSON, ALAVI, 2013).

A extrusão fornece energia mecânica específica (EME) através da compressão e cisalhamento da massa dentro do canhão extrusor e energia térmica específica (ETE) da injeção de vapor e água durante o processamento, que juntos promovem mudanças nas propriedades físico-químicas dos nutrientes e do produto final (GRIFFIN, 2003). Dentre as variáveis de processamento, a umidade assume destaque por favorecer a hidratação dos grânulos de amido, iniciando o processo de gelatinização; inativação de fatores antinutricionais; e melhora a transferência de energia mecânica e a texturização dos extrusados; e favorece o fluxo da massa dentro do canhão extrusor. (FRAME, 1994; ALONSO et al., 2000; RIAZ, 2007; PONCIANO NETO, 2015). O teor de umidade da massa é composto pela umidade da matéria prima, aplicação de vapor e água no condicionador e aplicação de vapor e água no canhão da extrusora. A umidade da massa exerce efeito significativo na macroestrutura dos extrusados, uma vez que influencia diretamente a estrutura celular e a expansão dos kibbles (ONWULATA et al., 2001).

Muitos estudos indicam que o processo de extrusão em porcentagem de umidades mais baixas favorecem a ocorrência de reações de *Maillard* (CHEFTEL, 1986; LANKHORST et al., 2007; TRAN et al., 2007; VAN ROOIJEN, 2015;). No entanto, com teores de umidade da massa mais altos, o excesso de água atua como fluidificante, reduzindo o cisalhamento e transferência de energia mecânica, e a eficiência do processamento (FRAME, 1994). A lisina é o primeiro ou segundo

aminoácido limitante em rações para cães e gatos, e está presente em quantidades limitantes na maioria dos grãos de cereais (CASE, 2000). A perda da disponibilidade de lisina resulta na diminuição do valor nutricional da proteína, sendo assim, a lisina serve como indicador de danos que podem ocorrer à proteína durante o processo de extrusão (SINGH, GAMLATH & WAKELING, 2007).

Apesar de sua importância, não se localizaram estudos sobre os melhores intervalos de umidade de processamento para a produção de rações para gatos. Diante disso, o presente estudo avaliou os efeitos da umidade da massa no canhão extrusor sobre os parâmetros de processamento, macroestrutura dos extrusados, gelatinização do amido, digestibilidade *in vitro*, razão de lisina ligada e palatabilidade de uma formulação para gatos.

2. Materiais e métodos

O experimento foi conduzido na Fábrica de Rações da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Jaboticabal, São Paulo. As análises de lisina foram realizadas no Agricultural Experiment Station Chemical Laboratorie, pertencente à Universidade de Missouri - Columbia, Missouri, EUA. O ensaio de palatabilidade foi conduzido pelo Panellis, Descalvado, Brasil. As análises de macroestrutura dos *kibbles* e análises bromatológicas foram realizadas no Laboratório de Pesquisa em Nutrição e Nutrição Clínica de Cães e Gatos “Prof. Dr. Flávio Prada”.

2.1 Delineamento e tratamentos experimentais

O estudo foi constituído pelo processamento de uma única formulação de ração para gatos, extrusada com seis diferentes teores de umidade da massa no canhão extrusor. O experimento seguiu delineamento inteiramente casualizado, com uma formulação, seis tratamentos (adições de água no canhão extrusor) e quatro repetições por tratamento. As repetições, ou unidades experimentais foram estabelecidas como os pontos de coleta de dados e amostras, a cada 15 minutos ao longo do processo de extrusão. Cada teor de umidade da massa, ou tratamento experimental, foi extrusado por aproximadamente uma hora e meia. Após

estabilização do equipamento aguardou-se 30 minutos e, então, amostragens foram colhidas à cada 15 minutos, sendo esta considerada a unidade experimental, com 4 repetições.

Uma ração padrão para gatos (Tabela 1) foi formulada de acordo com as recomendações nutricionais para animais adultos da FEDIAF (2014). Após a mistura dos ingredientes, estes foram moídos em moinho de martelos, equipado com peneira com crivos de 0,9 milímetros (Sistema Tigre de Mistura e Moagem, Tigre, São Paulo, Brasil). Um único lote de ingredientes e mistura foi utilizado no estudo. Após a moagem, a distribuição do tamanho das partículas foi determinada de acordo com o procedimento descrito por Zanotto e Bellaver (1996), usando um conjunto de peneiras com telas de 1,0 mm, 0,84 mm, 0,60 mm, 0,50 mm, 0,43 mm, 0,30 mm, 0,21 mm, 0,13 mm, 0,05 mm e o prato. Os valores finais foram calculados com o software Granulocalc (Embrapa-CNPSA, Concórdia, SC). A mistura de matérias primas obteve diâmetro geométrico médio de 209 μm .

Tabela 1.

Composição de ingredientes do alimento para gatos empregada no estudo.

Item	%
<i>Ingredientes</i>	
Milho	40,72
Farinha de vísceras de frango	33,80
Glúten de milho 60%	10,45
Polpa de Beterraba	4,0
Sal (Cloreto de sódio)	0,50
Cloreto de potássio	0,40
Premix mineral/vitamínico ¹	0,50
Cloreto de colina	0,35
L-lisina	0,25
DL-Metionina	0,20
Taurina	0,16
Antioxidante ²	0,05
Antifúngico ³	0,04
Gordura de frango ⁴	7,50
Palatabilizante líquido ⁵	1,0

¹ - Adicionado por Kg de ração: Vit. A 10.000UI, Vit. D3 1.350UI, Vit. E 60mg, Vit. K3 0,5mg, Vit. B1 15mg, Vit. B2 8mg, Vit. B6 10mg, Vit. B12 75mcg, Ácido pantotênico 20mg, Ácido fólico 1,2mg, Biotina 0,12mg, Niacina 80mg, Cobre 5mg, Ferro 60mg, Manganês 14mg, Iodo 1,2mg, Zinco 125mg, Selênio 0,2mg.

² – Naturox, Alltech Agroindustrial Ltda, cidade, país: BHA, BHT, galato de propila e carbonato de cálcio.

³ – Mould Zap: Propionato de amônia, ácido acético, ácido sorbico e ácido benzoico. Alltech do Brasil Agroindustrial Ltda

⁴ –Adicionado por cobertura, após secagem.

⁵ – Palatabilizante Líquido, SPF do Brasil, Descalvado, Brasil. Adicionado por cobertura, após secagem

As dietas foram extrusadas em extrusora de rosca simples (MEX 250, Manzoni, Campinas, Brasil), com capacidade de produção de 250 kg/h. A rosca extrusora empregada possuía 80mm de diâmetro, com cinco seções: inicial – passo simples sem anel de retenção; segunda – passo simples com anel de retenção pequeno; terceira – passo duplo não cortada com anel de retenção pequeno; quarta – passo

duplo não cortada com anel de retenção médio; quinta – cônica, de passo duplo e cortada. Foi empregada matriz com três furos redondos de três milímetros de diâmetro, resultando em área aberta média de 21,2 mm². A velocidade de rotação da rosca foi mantida em 538 rpm.

Durante todo o estudo a taxa de alimentação permaneceu constante, em aproximadamente 110 kg de ração farelada por hora, com uma área aberta de 192 mm²/ton. Os parâmetros de operação do condicionador não se alteraram, com tempo de residência de aproximadamente 180 segundos, infusão de aproximadamente 8% de água e adição de vapor direto de modo que a temperatura da massa à saída do condicionador ficasse próxima a 80°C e sua umidade 22%, para todos os tratamentos.

Para a extrusão dos tratamentos experimentais, foram realizadas seis diferentes adições de água no canhão extrusor. Estas corresponderam a, aproximadamente 0%, 6%, 9%, 12%, 15% ou 17% de adição de água em relação à taxa de alimentação de ração farelada. Vapor não foi adicionado na extrusora. Desta forma, o teor final de umidade de processamento foi calculado por balanço de massas simples, considerando a umidade da massa à saída do condicionador mais a adição de água direta no canhão extrusor. Para este cálculo, a massa à saída do condicionador foi amostrada ao longo do processamento e teve seu teor de umidade determinado em laboratório, em estufa à 105°C. O teor de umidade da massa foi então calculado como:

Umidade da massa no canhão extrusor (%) = umidade da massa à saída do condicionador (%) + porcentagem de água adicionada no canhão extrusor

Os parâmetros registrados foram: temperatura ambiente; temperatura da ração farelada; temperatura da água de processo; temperatura da massa na saída do condicionador; temperatura da camisa da extrusora em quatro pontos; temperatura e pressão internas do produto na saída da rosca extrusora; velocidade de rotação da rosca extrusora; velocidade de rotação da rosca de alimentação; velocidade de rotação das pás do condicionador; adição de água e de vapor no condicionador; velocidade de rotação das facas de corte; amperagem do motor da extrusora; produtividade horária de ração. Em cada tempo de observação foram também

colhidas amostras de ração farelada e de produto nas saídas do pré-condicionador, extrusora e secador. Depois da extrusão os *kibbles* foram secos em secador de ar forçado com duas passagens, operando a 105°C por 20 min.

2.2 Cálculos de energia mecânica específica e energia térmica específica

Com os dados obtidos durante a coleta foi calculada a implementação de EME, ETE e energia específica total (EET), de cada um dos tratamentos. A EME foi calculada de acordo com Riaz (2000), utilizando a seguinte equação:

$$EME = (\sqrt{3} \times \text{Voltagem} \times (At - Av) \times (\cos\phi \div 1000)) \times 1000 M$$

Onde:

Voltagem do motor = 220 V

At = amperagem do motor em trabalho (A)

Av = amperagem do motor vazio (A)

cos ϕ = fator de potência do motor (0.76)

M = Taxa de produtividade da extrusora (kg/h)

A ETE (kW-h / ton) foi calculada pelas equações de balanço de massa e de energia no condicionador e na extrusora de acordo com Riaz (2000). Determinaram-se os valores de entrada da alimentação e saída de massa total, água e vapor. Estes valores de massa e as calorias correspondentes especificamente a cada componente do sistema que foram usados, para calcular a quantidade de calor produzido.

2.3 Macroestrutura do kibbles

Para cada tratamento o comprimento, diâmetro e massa de 20 *kibbles*, coletados aleatoriamente (5 *kibbles* de cada unidade experimental), foram medidos e utilizados para se obter a taxa de expansão radial (ER), comprimento específico (Cesp) e a densidade específica dos *kibbles* (Dk), como descrito (KARKLE et al., 2012):

$$ER = \frac{d^2}{d_m^2}$$

$$C_{esp}(mm/g) = \frac{c}{m}$$

$$Dk(g/cm^3) = \frac{4m}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot c}$$

Onde: ER- expansão radial; d- diâmetro dos *kibbles*, em mm; d_m- diâmetro da abertura da matriz da extrusora, em mm; C_{esp} – comprimeto específico; c- comprimento dos *kibbles*, em mm; m- massa dos *kibbles*, em gramas; Dk- densidade específica dos *kibbles*.

A dureza dos *kibbles* foi determinada em cada tratamento, coletando aleatoriamente 20 *kibbles*, sendo 5 *kibbles* em cada unidade experimental. A umidade dos *kibbles* foi estabilizada em estufa (EST Modelo 532, Systens Eletro-Tech, Inc., Glenside, PA, USA) a 35°C durante 24 horas. Individualmente, cada *kibble* foi testado pelo teste de resistência à quebra em texturômetro (TA-XT2 SMS, Stable Micro Systems, Godalming, UK) com a força de modo de operação/compressão (50kgf), a velocidade pré-teste de 2 mm/s, velocidade durante o teste de 0,5 milímetros/s e velocidade antes de ensaio de 10 mm/s. Os dados obtidos foram analisados com o software Texture Expert (Stable Micro Systems, Godalming, GB).

Micrografias eletrônicas dos *kibbles* foram obtidas em microscópio electrónico de varredura por emissão de campo de varrimento (JEOL, JSM-7500F, Miaka, Tóquio, Japão), ajustado para 20 kV. Esta análise foi realizada no Instituto de Química da UNESP, campus de Araraquara. Todas as análises de imagens foram qualitativas, não submetidas à avaliação estatística. Foram realizadas imagens da superfície externa e interna. Para a avaliação interna, os croquetes foram cortados ao longo da direção mediana.

2.4 Gelatinização do amido e digestibilidade *in vitro* da MO

Amostras do condicionador e do secador foram coletadas em cada tratamento e mensurados a gelatinização do amido, pelo método de amiloglicosidase (Sá et al., 2013). Este procedimento determina quantitativamente a porcentagem de amido gelatinizado. Baseia-se no princípio de que o amido gelatinizado é facilmente digerido pela enzima amiloglicosidase para formar glicose, enquanto a enzima não atua no amido cru. O amido total também é determinado, e por diferença entre estes determinam-se as frações que estão ou não cozidas do nutriente. O índice de

gelatinização do amido será determinado segundo Sá et al. (2013a), sendo, para isso, 0,5 grama de amostra pesada em um tubo falcon (50ml). Em seguida, será adicionado 25 ml de água destilada, 10 ml de tampão acetato e 100 µl de enzima amiloglicosidase. Esta mistura será homogeneizada e permanecerá em banho-maria a 40°C por 4 horas. Posteriormente, a mistura será transferida para um balão de 100 ml que terá o seu volume completado com água destilada. Parte desta solução será centrifugada, durante 15 minutos, e 10 µl será transferida para um tubo contendo 1000 µl de glicose, que ficará por dez minutos em banho-maria. Em seguida, a leitura será feita em espectrofotométrico com leitura a 565 nm.

Os coeficientes de digestibilidade *in vitro* serão determinados segundo o método descrito por Hervera et al. (2007). As condições de incubação *in vitro* simulam os processos de digestão em duas etapas, no estômago e intestino delgado, utilizando-se um sistema enzimático contendo as enzimas pepsina e pancreatina, respectivamente. Amostras de rações extrusadas serão coletadas e moídas em moinho em moinho tipo faca (Modelo MOD 340, ART LAB, São Paulo-SP), com peneira de 1mm, para proceder a análise. Em seguida, um grama de cada amostra será pesada em frascos Erlenmeyer de 50ml.

Na primeira etapa ocorre a simulação da digestão gástrica, onde vinte e cinco ml de tampão fosfato (0,1 M, pH 6) serão adicionados a cada frasco, a amostra e o tampão serão homogeneizados por meio de agitação magnética. A esta mistura será adicionada 10ml de 0,2 M de HCl e o pH será ajustado para pH 2 com uma solução de 1M HCl e 1M NaOH. Em seguida, 1ml de solução de pepsina recentemente preparada será adicionado, contendo 10 mg de pepsina (3651 U / mg, Fluka 77152). Para evitar o crescimento bacteriano durante a incubação, 1ml de solução de cloranfenicol (0,5g em 100ml de etanol) será adicionada à mistura. Então, os frascos serão fechados e as amostras incubadas em um banho-maria a 39°C durante 2 horas com agitação constante.

Na segunda etapa ocorre a simulação da digestão pós-gástrica, após 2 horas de incubação, os balões serão resfriados e será adicionado 10ml de tampão fosfato (0,2 M, pH 6,8) e 5 mL de NaOH 0,6 M. O pH será ajustado a 6,8 com uma solução de HCl e NaOH. Em seguida, 1 ml de solução de pancreatina preparada na hora, contendo 100mg de pancreatina em pó, será adicionada em cada balão. Então, os

frascos serão colocados novamente incubados em banho-maria a 39°C, durante 4 horas, com agitação constante.

Após a segunda fase de incubação, o balão será resfriado e adicionado 5ml de ácido sulfossalicílico 20%. As proteínas solubilizadas, mas não digeridas serão precipitadas durante 30 minutos à temperatura ambiente. O resíduo não digerido será então recolhido em uma unidade de filtração, utilizando-se cadinhos de filtro de vidro. A mistura será transferida com água para o cadinho. Após lavagens sucessivas (a cada 3 min), duas vezes com 10ml de etanol a 96% e duas vezes com acetona a 99%, o resíduo não digerido será seco em estufa de ventilação forçada a 70°C, por 8 horas, e depois pesados. Para obter valores de digestibilidade da matéria orgânica, o resíduo não digerido presente cadinho será incinerado a 550°C, durante 4 horas e pesado.

2.5 Lisina reativa

As análises de lisina reativa foram realizados no Agricultural Experiment Station Chemical Laboratorie, pertencente à Universidade de Missouri - Columbia, Missouri, EUA. Foram selecionados os tratamentos T1 (22%), T6 (37%) e uma amostra representativa do lote de ração farelada, para a realização desta análise. Esta foi conduzida seguindo o método de O-metilisoureia (OMIU), descrito por Moughan e Rutherford (1996). Essa análise envolveu a incubação de 5 mg da amostra com 0,5 – 1,0 mL de 0,6 M OMIU em banho-maria com agitação a 21° C durante 3 dias. Neste método, o grupo ϵ -amino da lisina é convertido em homoarginina pelo uso de OMIU e a lisina reativa é calculada a partir da quantidade molar de homoarginina formada.

2.6 Avaliação de complexação de gorduras

A extrusão pode promover a formação de complexos amilose-lipídeos, a influência da extrusão foi analisada pela diferença entre as análises de extrato etéreo em hidrólise ácida (g/100 g - lipídeos totais) e extrato etéreo comum (g/100 g - lipídeos livres), os lipídeos complexados (g/100 g). A análise corresponde ao princípio de que após a hidrólise ácida da amostra todos os lipídeos são mensurados, enquanto que os lipídeos que foram complexados por influência do processamento da ração não são mensurados no método comum de extrato etéreo. O extrato etéreo (EE) foi

mensurado após extração com éter de petróleo pelo método de Soxhlet (método 920.39).

2.7 Teste de Palatabilidade

Três dietas foram produzidas com diferentes quantidades de umidade da massa no canhão da extrusora foram comparadas, da seguinte forma: 1) Baixa (22%) x média (32%); 2) – Baixa (22%) x alta (37%); 3) – Média (32%) x alta (37%). As rações foram encaminhadas para o teste de palatabilidade no centro de Panellis, Descalvaldo, SP. As rações encaminhadas continham apenas o recobrimento com 3% de gordura. Antes de realizar o teste, a umidade das rações é estabilizada em cada tratamento, posteriormente adicionou-se palatilizante (1%) e gordura (3,5%).

A primeira preferência (produto consumido em primeiro lugar) e palatabilidade (produto consumido em maior quantidade) foram comparada utilizando-se o método de dois pratos (GRIFFIN, 2003). Para isso 36 gatos, pertencentes a um painel devidamente treinado, foram alojados individualmente e testados em dois dias consecutivos. De manhã, após um período de 12 horas em jejum, os animais receberam a primeira refeição em duas bandejas, cada uma contendo um dos alimentos experimentais, que ficaram disponíveis aos animais durante trinta minutos. A posição dos pratos foi alternada na segunda refeição. A quantidade de alimento a ser oferecido foi calculada para superar a capacidade de consumo do animal, garantindo assim a ocorrência de sobras. Passado 30 minutos, as bandejas foram removidas, as sobras pesadas e o consumo calculado. Devido às grandes diferenças de peso corporal, os resultados foram calculados como o consumo relativo de cada dieta, durante os dois dias. Para determinar a palatabilidade dos alimentos, a taxa de consumo foi calculada pela fórmula:

Consumo relativo (%) = $(\text{Consumo alimento A} \times 100) / (\text{Consumo alimento A} + \text{Consumo alimento B})$.

2.8 Análises Bromatológicas

Foram determinadas em cada unidade experimental os teores de matéria seca (MS) (método: 934.01), matéria mineral (MM) (método:942.05) proteína bruta (PB),

extrato etéreo em hidrólise ácida (EEHA), e matéria mineral (MM) e fibra dietética (método 991.43), segundo a metodologia descrita pela AOAC (1995). As quantidades de amido das rações foram determinadas de acordo com o método de Miller (1959). A energia bruta (EB) foi determinada em bomba calorimétrica (1281, PARR Instruments, EUA). Todas as análises laboratoriais foram conduzidas em duplicata, sob um coeficiente de variação menor de 5%.

2.9 Análises Estatísticas

A análise seguiu um delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos e quatro repetições por tratamento. A unidade experimental (repetição) foi considerada a amostragem e tomada de dados a cada 15 minutos de intervalo, sendo no mínimo quatro por ração. Foram previamente avaliadas as pressuposições de normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo procedimento MIXED do SAS Software (versão 9.1, SAS Institute, Cary, NC, EUA). Quando diferenças forem obtidas no Teste F, médias foram comparadas médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Quando oportuno, contrastes polinomiais foram aplicados em função da umidade na massa no canhão extrusor ($P < 0,05$).

3. Resultados

3.1 Processamento dos tratamentos

A composição química foi semelhante entre os tratamentos para proteína bruta e extrato etéreo hidrólise ácida pois foram utilizados os mesmos lotes de ingredientes para a produção das rações, desdobradas em seis tratamentos (Tabela 2).

Tabela 2. Composição química da ração farelada e das rações experimentais para gatos após extrusão com diferentes umidades da massa no canhão da extrusor, antes da cobertura (100 g/kg, da MS).

Item	Tratamentos						
	Ração						
	Farelada	22%	27%	30%	32%	35 %	37%
Matéria Seca	92,20	98,64	97,82	97,62	97,47	97,01	93,54
Matéria Mineral	6,46	7,43	7,26	6,72	6,88	6,43	6,52
Proteína Bruta	33,76	34,00	34,45	33,99	34,23	34,41	35,74
Extrato Etéreo Hidrólise Ácida	6,58	6,62	6,45	6,93	6,91	6,77	6,98
Amido	33,99	36,83	36,70	37,32	37,04	36,61	35,09
Fibra Bruta ²	na ¹	2,59	2,36	2,95	2,38	2,51	2,56

1 – na = não analisado.

2 – Fibra Bruta = analisado em triplicada em um *pool* da ração extrusadas em cada tratamento.

Durante a extrusão, a adição de água no canhão extrusor foi atingido satisfatoriamente de acordo com o definido para cada tratamento. A taxa de alimentação manteve-se constante durante todo o processamento.

A umidade da massa no canhão da extrusora (IBM) aumentou de 22% para 37% com adição de água. A maior fluidificação da massa reduziu de forma quadrática a entrada de EME. A EME em função da umidade da massa foi descrita como $EME = 0,1286 \times IBM^2 - 9,9572 \times IBM + 303,12$ ($P < 0,001$; $R^2 = 0,9040$), enquanto a relação entre energia térmica específica e energia mecânica específica aumentou de forma linear ($P < 0,001$).

A amperagem do motor da extrusora e a pressão de massa antes da matriz foram reduzidas em todos os tratamentos com o aumento da umidade da massa no canhão extrusor ($P < 0,001$). Os valores de amperagem do motor seguiram uma redução linear, uma vez que a maior amperagem e pressão foram proporcionalmente maiores no tratamento com menor umidade da massa no canhão extrusor (22%).

A temperatura da massa reduziu de forma quadrática em função da umidade da massa no canhão extrusor para todos os tratamentos. A temperatura da massa no canhão extrusor em função da umidade da massa foi descrita como: $Temperatura = 0,0085 \times IBM^2 - 2,8446 \times IBM + 138,43$ ($P < 0,001$, $R^2 = 0,8756$). A pressão da massa em função da umidade da massa seguiram uma regressão linear ($R^2 = 0,94$).

No extrusor, a produtividade aumentou linearmente com o aumento da umidade da massa ($P < 0,001$) e o flash off dos *kibbles* ocorreu de forma quadrática com a inclusão de água.

Tabela 3 Tratamentos experimentais e gelatinização do amido no pré-condicionador de rações extrusadas para gatos com diferentes quantidades de umidade da massa no canhão extrusor.

Item	Umidade da massa no canhão da Extrusora						EPM ¹	P valor	Contrastes	
	22%	27%	30%	32%	35%	37%			Linear ²	Quad ³
Pré-condicionador										
Temperatura da massa (°C)	80,8	79,7	80,7	79,1	81,0	81,9	0,38	0.470	-	-
Umidade da massa (%)	21,6	21,6	22,3	21,9	22,5	23,6	0,22	0.098	-	-
Índice de gelatinização ⁴ (%)	26,2	27,5	28,7	30,8	26,4	25,1				
Massa condicionador para extrusora (kg/h) ⁵	132,4	135,2	129,6	129,3	134,2	135,9	0,44	0,105	-	-
Extrusor										
Amperagem (A)	43,5	41,4	40,4	40,1	40,1	38,9	0,82	<.0001	<.0001	-
Pressão (bars)	80,7	72,4	64,7	61,4	60,4	53,1	1,91	<.0001	0.001	0.05
Temperatura da massa (°C)	147,5	135,5	116,7	121,5	121,5	112,7	2,44	<.0001	<.001	<.001
Umidade da massa (%)	16,2	21,6	25,5	27,9	28,3	31,3	0,98	<.001	<.001	<.001
Flash Off	5,8	5,3	4,5	4,1	6,7	5,7	0,62	<.001	-	<.001
Massa extrusora para secador (kg/h)	124,5	132,2	134,0	138,5	143,0	152,0	0,87	<.001	<.001	-
Balanço de energia										
ETE (kWh/t)	88,6	89,3	93,9	93,6	97,8	100,7	6,84	0.275	-	-
EME (kWh/t)	27,9	21,1	19,3	17,9	17,8	13,4	0,98	<.001	<.001	0.018
Energia Total (kWh/t)	116,5	110,4	113,1	111,5	115,6	114,1	7,78	0.845	-	-
ETE/EME	3,2	4,2	4,9	5,2	5,5	7,7	0,20	<.001	<.001	-

¹ – EPM – Erro Padrão da Média; ² – Efeito linear do aumento da umidade da massa; ³ – Efeito quadrático do aumento da umidade da massa. – Índice de gelatinização do amido - analisado em duplicada em um pool da ração farelada de cada tratamento, coletado no pré-condicionador. ⁵ – Produtividade – da massa do condicionador para a extrusora em kg/h

3.2 Macroestrutura do *kibbles*, gelatinização do amido e digestibilidade *in vitro*

Os valores de gelatinização do amido, digestibilidade *in vitro*, macroestrutura dos *kibbles* (densidade específica, expansão radial, força de ruptura e comprimento específico) estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Macroestrutura do *kibbles*, gelatinização do amido e digestibilidade *in vitro* da MO de rações extrusadas para gatos, com diferentes aplicações de umidade da massa no canhão extrusor.

Item	Umidade da massa no canhão da Extrusora						EPM ¹	P valor	Contrastes	
	22%	27%	30%	32%	35%	37%			Linear ²	Quad ³
Densidade Aparente (g/L)	450	357	339	344	346	375	8,37	<.0001	<.0001	<.0001
Densidade Específica (g/cm ³)	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,16	<.0001	<.0001	<.0001
Expansão Radial	8,8	11,8	13,0	12,8	12,3	12,0	0,01	<.0001	<.0001	<.0001
Comp. Específico (cm/g)	106,6	101,9	107,3	110,0	109,5	115,6	0,68	<.0001	<.0001	0.0226
Força de Ruptura (kg.f)	2,6	2,4	2,4	2,6	2,4	2,6	0,04	0,218	-	-
Índice de gelatinização (%)	91,0	92,2	92,1	92,5	89,8	87,1	0.82	<.0001	<.0001	0.0129
Digestibilidade <i>in vitro</i> da MO (%)	87,5	87,1	86,0	86,6	85,7	85,7	0,78	<.0001	<.0001	-

¹ – EPM – Erro Padrão da Média; ² – Efeito linear do aumento da umidade da massa; ³ – Efeito quadrático do aumento da umidade da massa

O aumento da umidade da massa no canhão da extrusora resultou em redução quadrática da densidade aparente dos *kibbles* (densidade = $2,2818x^2 - 130,69x + 2211,9$; $P < .001$; $R^2 = 0,9281$). A derivação destas equações resultou numa densidade aparente mínima de 336 g/L, com uma umidade da massa de 28,6%.

A umidade da massa no canhão também resultou em aumento quadrático na expansão radial dos *kibbles* ($y = y = -0,0765 \times IBM^2 + 4,4358 \times IBM - 51,355$; $P < .001$; $R^2 = 0,9093$). A derivação destas equações resultou em densidade aparente teórica máxima de 12,9, com uma umidade da massa de 28,9%.

A gelatinização do amido diminuiu linearmente com o aumento na umidade da massa no canhão da extrusora ($P < 0,001$; $R^2 = 0,83$). A digestibilidade *in vitro* foi reduzida linearmente e em resposta ao aumento na umidade da massa no canhão da extrusora ($P < 0,001$; $R^2 = 0,947$).

As fotomicrografias dos *kibbles* estão representadas na Figura 1. A diferença da umidade da massa no canhão extrusor foi verificada visualmente por microscopia eletrônica de varredura.

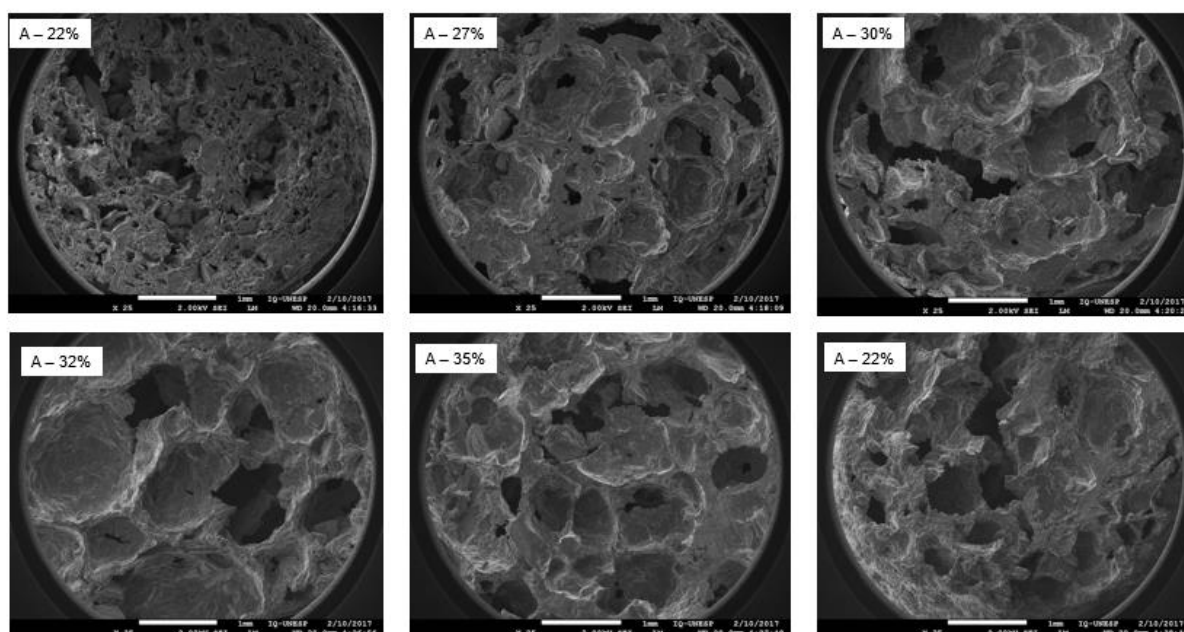


Figura 1. Micrografia eletrônica de varredura em campo. A, B, C, D, E e F - Área interna (aumentada em 25x) das dietas, onde A - 22% de umidade da massa, B - 27%

umidade da massa, C – 30% umidade da massa, D – 32% umidade da massa, E – 35% umidade da massa e F – 37% umidade da massa.

3.3 Lisina Reativa

Os resultados da análise de lisina reativa se encontram na Tabela 5. Para esta análise utilizou-se uma amostra representativa do lote de produção, analisadas em triplicata. A extrusão aumentou o teor de lisina na dieta de 1,53% para 1,79% ($P < 0,05$). O teor de lisina reativa também aumentou depois da extrusão ($P < 0,001$). A proporção de lisina total: lisina ligada aumentou para a dieta com menor umidade de processamento, mas não para a alta umidade no canhão extrusor ($P = 0,09$).

Tabela 5. Lisina total, lisina reativa, lisina ligada e conteúdo de lisina ligada na ração farelada em rações extrusadas para gatos. Valor em g/kg da matéria seca.

Item	Tratamentos			P-valor
	Ração Farelada ¹	22%	37%	
Lisina Total	1,53 ^c	1,79 ^a	1,69 ^b	<,0001
Lisina Reativa	1,43 ^c	1,67 ^a	1,55 ^b	<,0001
Lisina ligada	0,10 ^b	0,13 ^a	0,12 ^{ab}	0,027
Lisina ligada: Total de lisina na ração	6,75	8,02	6,37	0,0968

Valores únicos de amostra representativa do alimento, analisados em triplicata.

¹ – Ração Farelada contém 7,8% de umidade; a, b – médias nas linhas sem uma letra em comum diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

3.4 Avaliação de complexação das gorduras

Na avaliação da complexação das gorduras dos ingredientes durante a extrusão, verificou-se que ocorreu formação de complexos. Na Tabela 6 encontram-se os resultados de extrato etéreo hidrólise ácida, extrato etéreo comum das rações e complexação de gordura das rações. Estes correspondem aos resultados das rações antes de serem recobertas com gordura, sendo os lipídeos naturalmente presentes

nos ingredientes extrusados. Os tratamentos com 30% e 32% apresentaram as menores quantidades de lipídeos livres (extrato etéreo comum).

Tabela 6. Teores de extrato etéreo e extrato etéreo hidrolise ácida de rações extrusadas para gatos processadas com diferentes umidades da massa no canhão extrusor. Resultados do produto antes do recobrimento com gordura.

Item	Tratamentos						EPM	P valor	Contraste	
	22%	27%	30%	32%	35%	37%			Linear ²	Quad. ³
Extrato Etéreo	5,13 ^{ab}	4,54 ^b	4,60 ^b	4,53 ^b	4,79 ^{ab}	5,47 ^a	0,53	0,036	0,026	-
Extrato Etéreo Hidrolise Ácida	6,61 ^{ab}	6,46 ^b	6,93 ^{ab}	7,04 ^a	6,77 ^{ab}	6,89 ^{ab}	0,67	0,006	0,180	0,017
Complexação de gordura	1,48 ^b	1,92 ^{ab}	2,33 ^a	2,51 ^a	1,98 ^{ab}	1,48 ^b	0,68	0,005	0,010	0,003

¹ – EPM – Erro Padrão da Média; ² – Efeito linear do aumento da umidade da massa; ³ – Efeito quadrático do aumento da umidade da massa; a, b – médias nas linhas sem uma letra em comum diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

3.5 Teste de palatabilidade

Antes do teste de palatabilidade, as rações foram engorduradas com gordura de aves e 1% de palatabilizante líquidos padrão para rações de gatos (SPF Palatability, Descalvado, Brasil). Ao teste de palatabilidade não foi verificado diferença na preferência dos alimentos pelos animais em função de suas características de processamento (Figura 2).

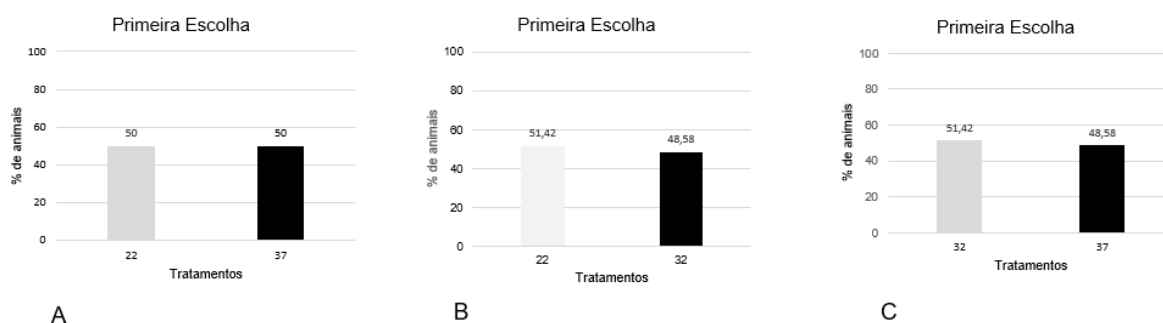


Figura 2. Teste de palatabilidade das dietas experimentais com diferentes umidades da massa no canhão extrusor. Tratamentos experimentais - 22% de umidade da massa no canhão extrusor; 32% de umidade da massa no canhão extrusor; 37% de umidade da massa no canhão extrusor;

4. Discussão

A importância do controle sobre a umidade da massa no canhão extrusor foi demonstrada através dos resultados obtidos com esse estudo, exercendo influência em praticamente todos os parâmetros de extrusão. Segundo Owulata et al. (2001) a umidade participa diretamente na qualidade do produto final, por afetar diretamente a estrutura celular e a macroestrutura dos *kibbles*. No entanto, a adequada umidade, temperatura, energia mecânica e pressão, influenciam diretamente na biodisponibilidade dos nutrientes (HAUCK, 1994). Quando a umidade da massa é aumentada durante o processo de extrusão, ela acaba por atuar como um lubrificante para a rosca e a camisa da extrusora, diminuindo a resistência ao fluxo da massa e a transferência de energia da rosca para o produto. Isso implica na redução da pressão, temperatura e o cisalhamento da massa, resultando em menor expansão e cozimento dos *kibbles*.

A temperatura média foi 80,5 °C e a umidade da massa média foi 22,2% no pré-condicionador. Parâmetros de processo importantes para a qualidade final do produto, como índice de gelatinização do amido e a digestibilidade *in vitro* da MO diminuíram de forma linear a medida que aumentou-se a quantidade de umidade da massa no canhão extrusor. A água é essencial na gelatinização e desempenha um dos papéis principais no controle da taxa de expansão do extrusado (KOKINI et al., 1992) A temperatura da massa no canhão extrusor também diminui com o aumento da quantidade de umidade da massa, podendo estar relacionada com o menor índice de

gelatinização do amido e digestibilidade *in vitro* da MO. Considerando que a ração foi produzida a partir de um lote único de ração e as condições de condicionamento foram iguais a todos os tratamentos, a diminuição da digestibilidade *in vitro* da MO pode ser atribuída principalmente a menor eficiência do cozimento da massa, estimulada pela menor gelatinização do amido. Segundo Hakulin et al., (1983) o excesso de umidade na alimentação só resulta pois adequada gelatinização do amido se combinada com temperaturas elevadas.

A redução linear na amperagem e quadrática da pressão e temperatura da massa em função do aumento da umidade da massa no canhão extrusor pode ser explicado pela menor viscosidade da massa, o que proporcionou maior fluidez e lubrificação ao canhão, devido a maior adição de água. A composição da dieta está diretamente relacionada com essa disponibilidade de absorção de água pela massa, dietas ricas em fibra requerem maiores quantidades de água para o adequado processamento. Teores elevados de umidade da massa impedem a dissipação da energia mecânica no canhão extrusor, devido à baixa viscosidade, portanto, não haverá acumulação de pressão no canhão extrusor, como dietas com alta umidade da massa (AKDOGAN, 1996).

A expansão dos *kibbles* está diretamente ligada a quantidade de amido presente na massa. A baixa viscosidade da massa no canhão extrusor resulta na incapacidade do *kibbles* em manter a taxa de expansão, aumentando assim a densidade (AKDOGAN, 1999). Isso pode ser observado com a diminuição quadrática da transferência de energia mecânica específica. Thymi et al, (2005) avaliaram extrusados a base amido de milho, estes foram extrusados com velocidade do parafuso (150-250 rpm), temperatura do produto (100-260 ° C) e conteúdo de umidade de 12-25 kg a cada 100 kg de base úmida. Verificaram que a densidade aparente do *kibble*, a porosidade e a razão de expansão dependem do teor de umidade da massa, do tempo de residência e da temperatura, não sendo afetados pela velocidade da rosca. Mais especificamente, a densidade aparente dos *kibbles* apresentou uma tendência crescente de acordo com o teor de umidade da alimentação e o tempo de residência, por outro lado reduziu com a temperatura do produto. No presente trabalho foram evidenciadas que as melhores taxas de expansão foram com umidades da massa de 28% no canhão extrusor.

A quantidade de energia mecânica específica (EME), influencia diretamente a densidade do produto, estrutura celular, absorção de gordura, textura, cozimento e palatabilidade (DUNSFORD et al., 2002). Contudo, a diminuição da energia mecânica específica pode ser explicada pelo aumento da fluidez da massa, observada nesse estudo com o aumento da umidade da massa no canhão extrusor. A água é um agente fluidificante, e contribuiu em conjunto para o aumento da entrada de energia térmica específica e para a redução da energia mecânica específica (SUKNARKET et al., 2008). Riaz (2000) considera a umidade da massa um parâmetro crítico de *software* para entender a redução da absorção da energia mecânica específica e a pressão pela massa. A produtividade foi diretamente influenciada pelo aumento da umidade da massa no canhão extrusor.

Os valores de expansão e densidade aparente tiveram comportamento quadrático nesse estudo. Valores de umidade de massa abaixo de 27% tiveram menor expansão, que pode ser explicado pela ausência de “*flash off*”. Esse efeito, que ocorre dentro do canhão extrusor onde a massa encontra-se altamente pressurizada e com temperaturas elevadas, ocorre quando o *kibble* entra em contato com a atmosfera ambiente a pressão interna é instantaneamente liberada, através da vaporização da umidade interna, resultando na sua expansão. Esse efeito depende da umidade da massa e da temperatura da extrusora, normalmente a perda por *flash-off* é de 5 à 10% da umidade da massa (RIAZ, 2012). No entanto, umidades acima de 35% também elevaram os valores de densidade aparente, isso justifica-se pela quantidade de umidade da massa não absorver quantidade de energia mecânica suficiente para o cozimento do amido. Esses resultados concordam com os encontrados por Thymi et al, (2005), que teores mais elevados de umidade diminuíram a taxa de expansão radial dos *kibbles*, resultando numa maior densidade aparente. Valores adequados de expansão radial e densidade aparente influenciam diretamente na qualidade do produto final, e interferem na crocância e dureza dos *kibbles*. Em um estudo realizado por nosso laboratório, Sá (2015) encontrou em amostras de rações extrusadas para cães com menores taxas de energia mecânica específica, tendem a apresentar uma parede celular mais espessa.

A proteína bruta apresentou valores maiores após a extrusão, todos os valores estão expressos na matéria seca, não sendo interferido pela quantidade de umidade

da massa presente no canhão extrusor. Entre os aminoácidos essenciais na alimentação de cães e gatos, a lisina é considerada um aminoácido limitante em produtos formulados à base de milho. Avaliar a retenção de lisina durante o processo de extrusão é particularmente importante, porque é um aminoácido altamente reativo, por conter em sua estrutura dois grupos amino disponíveis. A lisina é muito sensível ao calor, o que a torna desta forma um bom indicador do controle de cozimento dos alimentos (Tran et al., 2008). A intensidade da reação de *Maillard* é influenciada pela temperatura, tempo de aquecimento, teor de umidade, pressão, pH e cisalhamento. A taxa de reação aumenta com a redução da umidade, o aumento da temperatura, do tempo de processo, da força de cisalhamento, da pressão e em pH alcalino de 6 à 8 pH (VAN BOEKEL 2010; VAN ROOIJEN, 2015). A perda da disponibilidade de lisina resulta imediatamente na diminuição do valor nutricional da proteína, sendo assim, a lisina serve como indicador de danos que podem ocorrer à proteína durante o processo de extrusão (SINGH, GAMLATH & WAKELING, 2007). Em tratamentos térmicos que utilizam alta temperatura, baixa umidade e maior tempo de residência, apresentam tendem a apresentar maiores danos a proteína, a lisina que é modificada acaba por se tornar indisponível ao organismo. Essa reação acontece principalmente em condições de altas temperaturas, acima de 180 °C e de cisalhamento acima de 100 RPM, em combinação com a baixa umidade, abaixo de 15% (CAMIRE, 2000; MOSCICKI E OJTOWICZ, 2011), com os resultados obtidos neste experimento podemos observar que a maior quantidade de umidade da massa no canhão extrusor proporciona a maior proteção a danos a proteínas.

A palatabilidade é uma característica complexa de ser avaliada em gatos, porque estão envolvidos vários aspectos diferentes, dependentes dos ingredientes utilizados e dos parâmetros de processamento, incluindo a textura, forma, tamanho, sabor e sabor do alimento (TRIVEDI et al., 2000). O conteúdo de umidade do alimento, comportamento alimentar, grau de fome e estresse do animal e efeito de experiência alimentar prévia também são fatores relevantes na seleção e consumo da dieta (KVAMME, 2003; BENNET, 2004; CARCIOFI et al. 2006; NRC 2006). De acordo com Bourgeois (2004) o teor de umidade é determinante para a palatabilidade do alimento, neste estudo não foi observado preferência alimentar dos gatos independentemente da quantidade de umidade da massa no canhão extrusor.

6. Conclusão

A partir do presente estudo, pode-se concluir que a umidade da massa no canhão extrusor apresentou um efeito significativo sobre a textura e o cisalhamento. Com o aumento de água reduziu-se o cisalhamento, pressão, cozimento do amido, digestibilidade *in vitro* e transferência de energia mecânica. O valor de 28% de umidade da massa, foi o que propiciou maior expansão e menor densidade aparente ao produto final. A redução de pressão, cisalhamento, energia mecânica, ocasionado pelo aumento da umidade, parece também diminuir a formação de lisina ligada, podendo ser benéfico para a qualidade da proteína da ração. Diferentes umidades da massa não interferiram na preferência alimentar dos gatos.

Referências

- Akdogan, H. Pressure, torque, energy responses of a twin screw extruder at high moisture contents. *Food Research International*, 29, 423–429. 1996.
- Akdogan, H.. High moisture food extrusion. *International Journal of Food Science and Technology*, 34, 195–207. 1999.
- Alonso, R., Aguirre, A. Marzo, P., 2000. Nutritional assessment *in vitro* and *in vivo* of raw and extruded peas (*Pisum sativum* L.). *J. Agric. Food Chem.* 48, 2286-2290.
- AOAC, 1995. Official Methods of Analysis, 16th ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Washington DC.
- AOAC. 2012. Official Methods of Analysis. 20th ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Washington DC.
- Bazolli, R.S., Vasconcellos, R.S., De-Oliveira, L.D., Sá, F.C., Pereira, G.T., Carciofi, A.C., 2015. Effect of the particle size of maize, rice, and sorghum in extruded diets for dogs on starch gelatinization, digestibility, and the fecal concentration of fermentation products. *J. Anim. Sci.* 93, 2956-2966.
- Bennet, S. 2004. Interest of a systemic approach in pet food palatability. In: FÓRUM PET FOOD DA AMÉRICA LATINA, 3. 2004, São Paulo. Anais...São Paulo: Vnu Business Media, 71.
- Bhattacharya, M., Hanna, M., 1988. Extrusion processing to improve nutritional and functional properties of corn gluten. *Lebensm.-Wiss. Technol.* 21, 20-24.
- Bourgeois, H., 2004. O livro de palatabilidade em cães e gatos, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Royal Canin, França.

Camire, M.E., 2000. Chemical and nutritional changes in food during extrusion. In: Extruders. In: Riaz, M.N. Extruders in Food Applications. CRC Press, Boca Raton, pp. 127-148.

Camire, M.E., Camire, A., Krumhar, K., 1990. Chemical and Nutritional Changes in Foods During Extrusion. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 29, 35-57.

Carciofi, A.C., Pontieri, R., Ferreira, C.F., Prada, F., 2006. Avaliação de dietas com diferentes fontes protéicas para cães adultos. *Rev. Bras. Zootecn.* 35, 754–760.

Carciofi, A.C., Palagianob, C., Sá, F.C., Martins, M.S., Gonçalves, K.N.V., Bazolli, R.S., Souza, D.F., Vasconcellos, R.S., 2012. Amylase utilization for the extrusion of dog diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 177, 211– 217.

Case, L.P., Daristotle, L., Hayek, M.G., Raasch, M.F., 2011. Canine and Feline, a resource for companion animal professional. Mosby Elsevier. 3 ed. Missouri, USA.

Cheftel J.C.1986. Nutritional effects of extrusion cooking. *Food Chemical.* 20, 263-283.

Ding, Q.B., Ainsworth, P., Tucker, G., Marson, H., 2005. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-expanded snacks. *J. Food Eng.* 66, 283–289.

Dunsford, B., Plattner, B., Greenbury, D., Rokey, G., 2002. The influence of extrusion processing on petfood palatability. *Proceedings of Pet Food Forum.* Chicago, Illinois. Watt Publishing, Inc. Mt. Morris Illinois.

Frame, M. D. 1994. The technology of extrusion cooking. 1 ed.

FEDIAF. 2014. Nutritional guidelines for complete and complementary pet food for cats and dogs, European Pet Food Industry Federation. Brussels, Belgium.

Gibson, M., Alavi, S., 2013. Pet Food Processing-Understanding Transformations in Starch during Extrusion and Baking. *Cereal Food World.* 58, 232-236.

Guy, R., 2001. Extrusion cooking: technologies and applications, In: Extrusion cooking: technologies and applications, Cambridge, United Kingdom.

Griffin, R. W., 2003. Section IV: Palatability. In *Petfood Technology*, 1st ed. Kvamme, J.L., Phillips, T.D., Eds., Watt Publishing Co.: Mt Morris, IL, USA, p. 176-193.

Hakulin, S., Linko, Y., Linko, P., Seiler, K., Seibel, W. 1983. Enzymatic conversion of starch screw HTST extruder. 35, 411-414.

Hayakawa, I., Linko, Y., Linko, P., 1996. Mechanism of high pressure denaturation of proteins. *LWT-Food Sci. Technol.* 29,756-762.

Hauck, B. 1994. Extrusion cooking system In: McElhiney, R. R. Feed manufacturing technology IV. Arlington, VA, pp. 131-140.

Hendrix, D.L., 1993. Rapid extraction and analysis of nonstructural carbohydrates in plant tissue. *Crop Sci.* 25, 1306-1311.

Hervera, M.D., Baucells, F., Blanch, C., Castrillo, M., 2007. Prediction of digestible energy content of extruded dog food by *in vitro* analyses. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 91, 205–209.

Huber, G.R., Rokey, G.J., 1990. Extruded snacks. In: *Snack food*, R. G. Booth, (Ed.), New York, USA, p. 107-138.

Iwe, M.O., Van Zuilichem, D.J., Ngoddy, P.O., 2001. Extrusion cooking of blends of soy flour and sweet potato flour on specific mechanical energy (SME), extrudates temperature and torque. *J. Food Process. Pres.* 25, 251-266, 2001.

Karkle, E.L., Keller, L., Dogan, H., Alavi, S., 2012. Matrix transformation in fiber-added extruded products: Impact of different hydration regimens on texture, microstructure and digestibility. *J. Food Eng.* 108, 171-182.

KVamme, J. L. 2003. What is palatability. In: KVAMME, J. L.; PHILLIPS, T. D. *Petfood technology*. Illinois: Watt. 176-177.

Kazemzadeh, M., 2001. Baby foods, In: Guy, R. *Extrusion cooking: Technologies and applications*. Boca Raton, FL: CRC Press, cap. 9, p. 182-199.

Kokini, J. L.; Cocero, A. M.; Madeka, H.; Graaf, E. de. 1994. The development of state diagrams for cereal proteins. *Trends in Food Science and Technology*. 5, 281-288.

Lankhorst, C.; Tran, Q.D.; Havenaar, R.; Hendriks, W.H.; Van Der Poel, A.F.B. 2007. The effect of extrusion on the nutritional value of canine diets as assessed by *in vitro* indicators. *Animal Feed Science and Technology*, v.138, p.285–297.

Monti, M., Gibson, M., Loureiro, B.A., Sá, F.C., Putarov, T.C., Villaverde, C., Alavi, S., Carciofi, A.C., 2016. Influence of dietary on macrostructure and processing traits of extruded dog foods. *Anim. Feed Sci. Technol.* 220, 93-102.

Moscicki, L., Wojtowicz A., 2011. Raw Materials in the Production of Extrudates. In: Moscicki L. *Extrusion-Cooking Techniques*. Wiley-VCH, Weinheim, Germany, pp. 45-64.

Moscicki, L. 2011. Pet Food and Aquafeed. In: MOSCICKI, L. *Extrusion-Cooking Techniques: Applications, Theory and Sustainability*. Weinheim: WileyVCH, , pp.139-q149.

Moughan, P.J., Rutherford, S.M. 1996. A new method for determining digestible reactive lysine in foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 44, 2202-2209.

Moughan, P. J. 2003. Amino acid availability: aspects of chemical analysis and bioassay methodology. *Nutrition Research Review*, v.16, p.127-141.

NRC. 2006. Nutrient Requirements of Dogs and Cats. National. Academy Press, Washington DC.

Onwulata, C.I.; Smith, P.W.; Konstance, R.P.; Holsinger, V.H. Incorporation of whey products in extruded corn, potato or rice snacks. *Food Research International*, v.34, p.679-687, 2001.

Pasawat, N., Jangchud, K., Jangchud, A., Wuttijummong, P., Saalia, F.K., Eitenmiller, R.R., Phillips, R.D., 2008. Effects of extrusion conditions on secondary extrusion variables and physical properties of fish, rice-based snacks. *Food Sci. Technol.* 41, 632-641.

Ponciano Neto, B. 2015. Avaliação do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) partido como ingrediente em alimentos extrusados para gatos. 2015. 76f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Maringá, Maringá, 2015.

Prosky, L.; Asp, N. G.; Furda, I.; Devries, J. W.; Schweizer, T. F.; Harland, B. F., 1992. Determination of insoluble and soluble dietary fiber in foods and food products: Collaborative study. *J. AOAC* 75, 360-367.

Riaz, M.N., 2000. Extruders in food applications, In: Riaz, M.N. Introduction to extruders and their principles. CRC Press, pp. 1-23.

Riaz, M.N., 2001. Selecting the right extruder, In: Guy, R. Extrusion cooking: Technologies and applications. Boca Rafon, FL: CRC Press, cap. 3, p. 29-49.

Riaz, M.N., 2007. Extruders and Expanders in Pet Food, Aquatic and Livestock Feeds. Agrimedia, Clenze, pp. 400.

Sá, F.C., Vasconcellos, R.S., Brunetto, M.A., Filho, F.O.R., Gomes, M.O.S., Carciofi, A.C., 2013. Enzyme use in kibble diets formulated with wheat bran for dogs: effects on processing and digestibility. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 97, 51-59.

Sá, F.C., 2015. Energia mecânica, energia térmica e moagem na extrusão de alimentos para cães e gatos. 104f. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2015.

Silvio, J., Harmon, D.L., Gross, K.L., Mcleod, K.R., 2000. Influence of fiber fermentability on nutrient digestion in the dog. *Nutrition*. 4, 289-295.

Singh, S; Gamlath, S; Wakeling, L. 2007. Nutritional aspects of food extrusion: a review. *International Journal of Food Science and Technology*. 42, 916-929.

Spears, J. K., Fahey JR, G. C. 2004. Resistant starch as related to companion animal Nutrition. J. AOAC Int. 87, 787-791.

Streit, B. 2015. Thermal versus mechanical energy in pet food extrusion cooking, In: Petfood Industry.com. www.petfoodindustry.com/articles/5364-thermal-versus-mechanical-energy-in-pet-food-extrusion-cooking?v=preview (Accessed September 2015).

Suknark, K., Mcwatters, K.H., Phillips, R.D., 1998. Acceptability by American and Asian consumers of extruded fish and peanut snack products. J. Food Sci. 63, 721-725.

Thymi, S., Krokida, M.K., Pappa, A., Maroulis, ZB., 2005. Structural properties of extruded corn starch. Journal of Food Engineer, 68, 519-526.

Tran, Q.D.; Hendriks, W.H.; Van Der Poel, A.F. 2007. Effects of extrusion processing on nutrients in dry pet food. Journal of the Science of Food and Agriculture, v.88, n.9, p.1487-1493.

Tran, Q.D., Hendriks, W.H., Van der Poel, A.F.B., 2008. Effects of extrusion processing on nutrients in dry pet food. J. Sci. Food Agric. 88, 1487–1493.

Trivedi, N., Hutton, J., Boone, L., 2000. Useable data: How to translate the results derived from palatability testing. Petfood Ind. 42, 42-44.

Trivedi, N., Benning, J., 2003. Section IV: Palatability. In Petfood Technology, 1st ed. Kvamme, J.L., Phillips, T.D., Eds., Watt Publishing Co.: Mt Morris, IL, USA, p. 178-179.

Van Rooijen, C. 2015. Maillard reaction products in pet food. Phd thesis Wageningen University. The Netherlands. 2015.