

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
Tese será disponibilizado somente a
partir de 05/10/2022.

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

Aplicação de energia termomecânica na formação dos kibbles, palatabilidade, digestibilidade e retenção de nutrientes em alimentos extrusados para cães e gatos.

Mayara Aline Baller

Médica Veterinária

2020

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

Aplicação de energia termomecânica na formação dos kibbles, palatabilidade, digestibilidade e retenção de nutrientes em alimentos extrusados para cães e gatos.

Mayara Aline Baller

Orientador: Prof. Dr. Aulus Cavalieri Carciofi

Tese de Doutorado apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias–UNESP, Campus Jaboticabal, como pré-requisito para a obtenção do título de Doutora em Zootecnia.

2020

B191a Baller, Mayara Aline

Aplicação de energia termomecânica na formação dos kibbles, palatabilidade, digestibilidade e retenção de nutrientes em alimentos extrusados para cães e gatos. / Mayara Aline Baller. -- Jaboticabal, 2020

127 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Aulus Cavalieri Carciofi

1. Nutrição animal. 2. Processo de extrusão. 3. Vitaminas na nutrição animal. 4. Selênio na nutrição animal. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: APLICAÇÃO DE ENERGIA TERMOMECÂNICA NA FORMAÇÃO DOS KIBBLES, PALATABILIDADE, DIGESTIBILIDADE E RETENÇÃO DE NUTRIENTES EM ALIMENTOS EXTRUSADOS PARA CÃES E GATOS

AUTORA: MAYARA ALINE BALLER

ORIENTADOR: AULUS CAVALIERI CARCIOFI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em ZOOTECNIA, pela Comissão Examinadora:

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

Prof. Dr. LUCIANO HAUSCHILD (Participação Virtual) p/
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. RICARDO SOUZA VASCONCELLOS (Participação Virtual) p/
Universidade Estadual de Maringá / UEM - Maringá/PR

Prof. Dr. EDNEY PEREIRA DA SILVA (Participação Virtual) p/
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Pesquisador Dr. FABIANO CESAR SÁ (Participação Virtual)
Companion Animal Nutritionist, Wenger Service Team / Valinhos/SP p/

Jaboticabal, 05 de outubro de 2020

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

MAYARA ALINE BALLER – Nascida em 27 de janeiro de 1993, em Concórdia – SC. Formada em Técnica em Agropecuária pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense – Campus Concórdia, em dezembro de 2009. 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 e gatos sob a supervisão da Prof^a Dra. Amanda D'Ávila Carvalho. Mestre em Medicina Veterinária (Clínica Médica Veterinária), sob orientação do Prof. Dr. Aulus Cavalieri Carciofi na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus Jaboticabal. Atualmente é aluna de doutorado em Zootecnia 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 Zootecnia, e bolsista pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo: 2018/23864-4, sob orientação do Prof. Dr. Aulus Cavalieri Carciofi.

Somos assim:
Sonhamos o voo, mas tememos as alturas.
Para voar é preciso amar o vazio.
Porque o voo só acontece se houver o vazio.
O vazio é o espaço da liberdade, a ausência de certezas.
Os homens querem voar, mas temem o vazio.
Não podem viver sem certezas.
Por isso trocam o voo por gaiolas.
As gaiolas são o local onde as certezas moram.
Os homens preferem as gaiolas ao voo.
São eles mesmos que constroem as gaiolas onde passarão as suas vidas.
(Dostoiévski)

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 e irmã, 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!

À toda minha família, avós, madrinha, Maria, tios, tias, primos e primas 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 distantes, e com muita saudade, contribuíram, incentivaram e acreditaram, dando todo o apoio ao longo desses 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. Por toda a amizade e cuidado ao longo desses anos.

A todos os colegas e amigos do laboratório, em especial aos meus grandes amigos Érico, Peterson, Camila, Letícia Pacheco e Francine. Aos demais colegas, muito obrigada pela grande ajuda, pela paciência e aprendizagem. Tenho muito orgulho de fazer parte dessa incrível equipe.

Um agradecimento especial aos estagiários do Lab. Nutri, que se tornaram meus amigos. Um muito obrigado por todo o carinho e responsabilidade que vocês têm com os animais. Por permitirem uma troca de informação constante e de aprendizado.

Aos funcionários do laboratório de nutrição Diego, Elaine e Kelly pelo cuidado especial com os animais e comigo, 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.

Agradeço de coração ao pessoal de Maringá, em especial minha amiga Tânia, e ao Prof. Ricardo, muito obrigada pelo acolhimento e pelo carinho.

Um agradecimento as empresas parceiras do Laboratório de Pesquisa em Nutrição e Doenças Nutricionais de Cães e Gatos da FCAV/UNESP. Em especial a

Affinity PetCare e a Manfrim 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 DSM pelo suporte financeiro para a realização do experimento do Capítulo 3. A Alltech pelo suporte financeiro para a realização do experimento do Capítulo 4.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo: 2018/23864-4, pela bolsa de estudo concedida para o desenvolvimento deste projeto. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro para desenvolvimento do Capítulo 2.

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

SUMÁRIO

Resumo –	xii
Palavras-chaves:	xiv
Summary	xv
Keywords:.....	xvi
LISTA DE TABELAS	xvii
CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais	2
1. Introdução.....	2
2. Revisão bibliográfica	4
2.1 Mistura	4
2.2 Moagem	5
2.3 Pré-condicionamento	7
2.4 Extrusora de rosca simples	10
2.5 Secador	16
2.6 Efeito da extrusão nos nutrientes e na palatabilidade	16
4. Referência bibliográfica	34
CAPÍTULO 2 – Application of thermal energy on extrusion characteristics, digestibility and palatability of a diet for cats	39
1. Introduction.....	42
2. Material and methods	43
2.1. Experimental design and food formulation	43
2.2. Extrusion processing	46
2.3. Calculations of specific mechanical energy, specific thermal energy and residence time at preconditioner	48
2.4. Starch gelatinization, in vitro digestibility of the organic matter and kibble macrostructure	48
2.5. Digestibility protocol and chemical analysis	49
2.6. Fermentation products on feces in the experiment 1.....	50
2.7. Food palatability test	51
2.8. Statistical analysis	51
3. Results	52
3.1. Extrusion parameters, kibble macrostructure, starch gelatinization and in vitro digestibility in experiment 1.....	52
3.2. Total tract apparent digestibility of nutrients and feces characteristics on experiment 1	56
3.3. Food preferences on experiment 1.....	59
3.4. Experiment 2: extrusion traits, kibble macrostructure, starch gelatinization and in vitro digestibility after mass adjusted motor amperage	59
4. Discussion	61
5. Conclusions.....	67
References	68
CAPÍTULO 3 – Particle reduction, mechanical energy transference and drying on vitamins A, B2 and B6 retention in extruded dog foods.....	74
1. Introduction.....	77
2. Material and methods	78
2.1 Experimental design, comparisons, and treatments	79
2.2. Diet formulation, extrusion processing, and sample collection	80
2.2 Nutrient Analysis	84

2.3 Statistical Analysis.....	85
3. Results	85
4. Discussion	89
5. Conclusion.....	92
References	93
CAPÍTULO 4 - Influence of process food production extruded for dogs with different sources of selenium	95
1. Introduction	98
2. Material and Methods	99
2.1 Experimental design and treatments	100
2.2 Chemical analysis	103
2.3 Analysis of selenium content.....	103
2.4 Statistical Analysis.....	104
3. Results	104
4. Discussion	105
5. Conclusion.....	107
References	107



Comissão de Ética no Uso de Animais

da
Universidade Estadual de Maringá

CERTIFICADO

Certificamos que a proposta intitulada "Efeitos de diferentes quantidades de energia térmica adicionadas no condicionador sobre o cozimento do amido, macroestrutura dos kibbles, digestibilidade e palatabilidade de rações extrusadas para gatos", protocolada sob o CEUA nº 3823050218 (ID 001767), sob a responsabilidade de **Ricardo Souza Vasconcellos e equipe; Mayara Aline Baller** - que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica ou ensino - está de acordo com os preceitos da Lei 11.794 de 8 de outubro de 2008, com o Decreto 6.899 de 15 de julho de 2009, bem como com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi **aprovada** pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Estadual de Maringá (CEUA/UEM) na reunião de 18/06/2018.

We certify that the proposal "Effects of different amounts of thermal energy added conditioner on the cooking of the starch, macrostructure of the kibbles, digestibility and palatability of pet food", utilizing 12 Cats (males and females), protocol number CEUA 3823050218 (ID 001767), under the responsibility of **Ricardo Souza Vasconcellos and team; Mayara Aline Baller** - which involves the production, maintenance and/or use of animals belonging to the phylum Chordata, subphylum Vertebrata (except human beings), for scientific research purposes or teaching - is in accordance with Law 11.794 of October 8, 2008, Decree 6899 of July 15, 2009, as well as with the rules issued by the National Council for Control of Animal Experimentation (CONCEA), and was **approved** by the Ethic Committee on Animal Use of the State University of Maringá (CEUA/UEM) in the meeting of 06/18/2018.

Finalidade da Proposta: **Pesquisa**

Vigência da Proposta: de **09/2018** a **12/2018**

Área: **Dzo-Zootecnia**

Origem: **Fazenda Experimental de Iguatemi**

Espécie: **Gatos**

sexo: **Machos e Fêmeas**

idade: **4 a 5 anos**

N: **12**

Linhagem: **SRD (Sem Raça Definida)**

Peso: **3 a 6 kg**

Local do experimento: O trabalho será realizado no Laboratório de Nutrição e Metabolismo de Felinos Domésticos, localizado na Fazenda Experimental de Iguatemi, pertencente à Universidade Estadual de Maringá. Este projeto foi inicialmente previsto para ser realizado na Instituição de origem da aluna, mas em virtude da agenda comprometida do Laboratório de Pesquisa em Nutrição e Doenças Nutricionais de Cães e Gatos [Prof. Dr. Flávio Prada] da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (FCAV/UNESP), Campus de Jaboticabal, disponibilizamos nossa estrutura para a realização do experimento, em virtude da parceria existente entre os pesquisadores em outros projetos. Sendo assim, existirá algumas divergências de localização e dimensões das gaiolas entre o protocolo que está sendo submetido e o projeto anexado, que originalmente foi aprovado na FCAV/UNESP. As instalações estão localizadas a pelo menos 300m de outras criações e somente pessoas autorizadas adentram o recinto. Existe controle de pragas, as janelas possuem telas para evitar a entrada de animais e insetos. Todos os animais são vermifugados, vacinados e avaliados periodicamente quanto ao seu estado de saúde por um médico veterinário. As pessoas que trabalham com os animais são treinadas quanto aos procedimentos higiênicos e de desinfecção pré e pós-manejo dos animais.

Maringá, 08 de junho de 2020

Profa. Dra. Tatiana Carlesso dos Santos
Coordenadora da CEUA/UEM
Universidade Estadual de Maringá

Profa. Dra. Erika Seki Kioshima Cótica
Coordenadora Adjunta da CEUA/UEM
Universidade Estadual de Maringá

Aplicação de energia termomecânica na formação dos kibbles, palatabilidade, digestibilidade e retenção de nutrientes em alimentos extrusados para cães e gatos.

RESUMO – A extrusão termoplástica de alimentos é uma operação versátil que pode ser aplicada em alimentos para cães e gatos. Os equipamentos usados para cozinhar, formatar, sanitizar, texturizar e moldar uma mistura homogênea de ingredientes, através da aplicação de umidade, pressão, temperatura e fricção mecânica em curto espaço de tempo. Estas condições melhoram a qualidade nutricional do alimento, com elevada produtividade e reduzido custo de produção. A extrusão promove mudanças físicas e químicas nos ingredientes, alterando sua digestibilidade, valor energético, forma de apreensão e palatabilidade. O processo de extrusão pode causar possíveis efeitos indesejáveis como destruição de vitaminas, oxidação de lipídeos e redução na disponibilidade de aminoácidos. Neste contexto, no escopo da nossa revisão não foi evidenciado aspectos relacionados as melhores condições de processamento para se otimizar a digestibilidade, palatabilidade e estabilidade dos nutrientes em formulações para cães e gatos. O objetivo geral foi estudar a influência da aplicação de energia térmica e energia mecânica na produção de alimentos extrusados para cães e gatos, influenciando avaliações de sua implicação na macroestrutura dos *kibbles*, digestibilidade, palatabilidade dos alimentos e retenção de nutrientes específicos. **CAPÍTULO 1:** Apresenta revisão de literatura sobre os temas propostos. **CAPÍTULO 2:** Foi avaliada a influência da aplicação de diferentes quantidades de energia térmica específica (ETE) durante a extrusão, sobre os parâmetros de processamento, macroestrutura dos kibbles, digestibilidade *in vitro*, gelatinização do amido, coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) dos nutrientes, produtos de fermentação nas fezes e palatabilidade de formulação para gatos. Uma dieta padrão foi formulada e desdobrada em seis tratamentos pela modulação da adição de vapor, resultando em seis aplicações de ETE no pré-condicionador. Seis gatos por dieta foram empregados no estudo de digestibilidade e 30 nas comparações de palatabilidade. O aumento da aplicação de ETE resultou em redução linear da aplicação de energia mecânica específica (EME), aumento quadrático da aplicação de energia específica total (EET), melhora da macroestrutura com redução da densidade e aumento da expansão e aumento linear da gelatinização do amido ($P < 0,05$). O CDA dos nutrientes das rações não diferiu ($P > 0,05$), mas houve redução linear da concentração de ácidos graxos voláteis nas fezes dos gatos ($P < 0,05$), sugerindo melhor digestibilidade ileal e menor fermentação do cólon. **CAPÍTULO 3:** Destinou-se à caracterização dos efeitos da moagem, da extrusão com três aplicações de EME (respectivamente 10, 20 e 30 kWh/t) e da secagem sobre a retenção das vitaminas A, B2 e B6 em formulação para cães. Foi verificado que para a vitamina A as etapas de moagem e secagem resultaram em perdas significativas do nutriente ($P < 0,05$), mas este não se reduziu na etapa de extrusão, independente da aplicação de EME ($P > 0,05$). A retenção final média de vitamina A foi de $40 \pm 5,51\%$. A forma comercial estudada de vitamina B2 mostrou-se estável, sem perdas significativas em nenhuma das etapas de processamento ($P > 0,05$). Já a vitamina B6 apresentou perda após extrusão ($P < 0,05$), sem efeito de moagem, secagem ou das diferentes aplicações de EME ($P > 0,05$). Foi verificada retenção média de $65 \pm 7,57\%$ da vitamina B6. **CAPÍTULO 4:** Foram avaliados os efeitos do processo de extrusão sobre a retenção de três fontes de selênio em formulação para cães: selênio levedura; selenito

de sódio para alimentação animal; selenito de sódio anidro purificado para análise. Para isto cada fonte de selênio foi adicionada nas concentrações de 0 µg/kg (controle), 400 µg/kg e 800 µg/kg. O selênio na dieta controle teve origem apenas nas matérias primas e não foi afetado pelo processamento ($P < 0,05$). Observou-se pequena redução do selênio total ($7 \pm 0,30\%$; $P < 0,05$) na dieta com 800 µg/kg de selênio levedura, mas não na dieta com 400 µg/kg de selênio levedura, com taxas de recuperação variando de 93% a 104% (comparando-se com os valores da mistura antes da extrusão). Nas dietas suplementadas com as duas fontes de selenito de sódio observou-se menor concentração de selênio total após extrusão, com taxas de recuperação variando de 62% a 86% e perda média de $23,4 \pm 3,04\%$ ($P < 0,01$). A forma comercial estudada de selênio levedura mostrou-se estável, sem perdas significativas durante a produção de alimentos extrusados para cães. Perdas significativas de selênio podem ser observadas no selenito de sódio, o que deve ser considerado nas formulações. Como conclusão geral desta tese, verificou-se efeito relevante da aplicação de ETE na formação e palatabilidade dos kibbles, com aumento significativo da produtividade e eficiência de extrusão. A vitamina A apresentou perda significativa na moagem e secagem, etapas que expuseram o composto ao oxigênio. Vitamina B2 foi estável durante o processo, mas vitamina B6 se degradou na etapa de extrusão propriamente dita. O selenito de sódio demonstrou perda significativa com a extrusão, fato não verificado com o selênio levedura.

Palavras-chaves: extrusão, retinol, piridoxina, riboflavina, pet food, energia mecânica, energia térmica, selênio.

Application of thermomechanical energy in the formation of kibbles, palatability, digestibility and nutrient retention in extruded food for dogs and cats.

SUMMARY - Extrusion is a versatile operation that can be applied to a variety of food processing. Extruders are used to cook, shape, sanitize, texturize and mold a homogeneous mixture of ingredients, by applying moisture, pressure, temperature and mechanical friction in a short time. These conditions increase the nutritional quality, with elevated productivity and relatively small production costs. Extrusion promotes physical and chemical changes in ingredients, altering their digestibility, energy value, the mechanic of apprehension and palatability. Undesirable effects, such as destruction of vitamins, oxidation of lipids and reduced availability of amino acids need also to be considered. The best processing conditions to optimize digestibility, palatability and nutrients stability in dog and cat formulations are not known. CHAPTER 1: Addresses a literature review on the proposed topics. CHAPTER 2: The influence of the application of different amounts of specific thermal energy (STE) on processing parameters, kibbles macrostructure, starch gelatinization, coefficients of apparent total tract digestibility (CDA), fermentation products on feces, and palatability of cat food was evaluated. A standard diet was formulated and divided into six treatments, consisted by six STE applications in the preconditioner by modulating steam input. Six cats per diet were used for the digestibility study, and 30 for palatability comparisons. The increase in STE application resulted in linear reduction on specific mechanical energy (SME) application, quadratic increase in total specific energy (TSE) implementation, improvement of kibble macrostructure with reduced density and increased expansion, and in linear increase on starch gelatinization ($P < 0.05$). The CDA of nutrients did not differ ($P > 0.05$), but a linear reduction on volatile fatty acids on cat feces was observed ($P < 0.05$), suggesting higher ileal digestibility and lower fermentation on colon. CHAPTER 3: The effects of grinding, extrusion with three SME applications (respectively 10, 20 and 30 kWh/t), and drying were evaluated on the retention of vitamins A, B2 and B6 in a formulation for dogs. To vitamin A was observed that the grinding and drying steps resulted in significant losses ($P < 0.05$), but this vitamin did not decrease at the extrusion step, regardless of the SME application amount ($P > 0.05$). An average final retention of $40 \pm 5.51\%$ of vitamin A was observed. The commercial form of vitamin B2 studied proved be stable, without significant losses in any processing steps ($P > 0.05$). The vitamin B6, on the other hand, showed loss after extrusion, without effect of grinding, drying or the different applications of SME ($P > 0.05$). The average retention of vitamin B6 was $65 \pm 7.57\%$. CHAPTER 4: The effects of the extrusion process on the retention of three selenium sources were evaluated: selenium-yeast, commercial sodium selenite for animal feed, purified anhydrous sodium selenite. The three selenium sources were added at 0 $\mu\text{g/kg}$ (control), 400 $\mu\text{g/kg}$ and 800 $\mu\text{g/kg}$. Selenium in the control diet was derived only from ingredients and was not affected by processing ($P < 0.05$). A small reduction in total selenium was observed for the 800 $\mu\text{g/kg}$ selenium-yeast treatment ($7 \pm 0.30\%$ reduction; $P < 0.05$), but no alteration was observed for the 400 $\mu\text{g/kg}$ selenium yeast diet ($P > 0.05$), with recovery rates ranging from 93% to 104% (comparing with the values of the ingredient mixture before extrusion). Lower total selenium concentration

was observed after the extrusion of the diets supplemented with both sodium selenite sources, with recovery rates ranging from 62% to 86% and an average loss of $23.4 \pm 3.04\%$ ($P < 0.01$). The commercial selenium-yeast presentation studied proved be stable, without significant losses along the processing steps evaluated. Significant selenium losses can be observed for sodium selenite, what should be considered during formulation. As a general conclusion of this thesis, there was a relevant effect of the application of STE on the formation and palatability of the kibbles, with a significant increase in productivity and efficiency of extrusion. Vitamin A showed significant loss in grinding and drying, steps that exposed the compound to oxygen. Vitamin B2 was stable during the process, but vitamin B6 was degraded in the extrusion step itself. Sodium selenite showed significant loss with extrusion, a fact not verified with yeast selenium.

Keywords: extrusion, retinol, pyridoxine, riboflavin, pet food, mechanical energy, thermal energy, selenium.

LISTA DE TABELAS

<u>Capítulo 1</u>	Página
Tabela 1. Retenção de vitaminas e minerais em alimentos extrusados.	27
<u>Capítulo 2</u>	
Table 1. Ingredients and analyzed chemical composition (values before coating with poultry fat and palatant) of the experimental diet for cats used in Experiments 1 and 2.	44
Table 2. Analyzed chemical composition of a cat food formulation extruded with different specific thermal energy applications (Experiment 1). Values are as fed to cats, after coating with poultry fat and palatant enhancer.	50
Table 3. Processing characteristics and starch gelatinization for a cat food formulation extruded using different specific thermal energy applications on preconditioner (Experiment 1).	53
Table 4. Kibble macrostructure, starch gelatinization, and in vitro digestibility of a cat food formulation extruded with different temperatures of preconditioner (Experiment 1). The reported values are of the kibbles after the drier step.	55
Table 5. Nutrient intake and total tract apparent digestibility of nutrients and energy of a cat food formulation extruded with different temperatures of preconditioner (Experiment 1).	57
Table 6. Fecal characteristics and fermentation products content for cats fed a food formulation extruded with different temperatures of preconditioner (Experiment 1).	58
Table 7. Results of the preference comparisons on cats fed a food formulation extruded with different specific thermal energy applications on preconditioner (Experiment 1).	59
Table 8. Processing characteristics, kibble macrostructure, starch gelatinization, and in vitro digestibility of the OM of a cat food formulation extruded with different temperatures of preconditioner and product flow rates (Experiment 2).	61
<u>Capítulo 3</u>	
Table 1. Ingredients and analyzed chemical composition of the experimental diet for dogs.	81
Table 2. Processing parameters of a dog food recipe to obtain three different specific mechanical energy applications to raw material (n = 4 replicates treatment).	82

Table 3. Vitamin A (retinol acetate) concentration along the production of a dog formulation extruded with different applications of specific mechanical energy.	87
Table 4. Vitamin B2 (riboflavin) contents of a dog formulation processed with different applications of specific mechanical energy in the extruder.	88
Table 5. Vitamin B6 (pyridoxine hydrochloride) contents of a dog formulation processed with different applications of specific mechanical energy in the extruder.	89

Capítulo 4

Table 1. Ingredients and analyzed chemical composition of the experimental diet for dogs.	101
Table 2. Analyzed selenium concentration (DM-basis) along the diet processing.	105

CAPÍTULO 1

CONSIDERAÇÕES GERAIS

CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui aproximadamente 54,2 milhões de cães e 23,9 milhões de gatos, números que posicionam o país em quarto lugar no “ranking” mundial quanto ao faturamento do mercado de alimentos para animais de estimação (Abinpet, 2019). Este mercado evoluiu consideravelmente, diversificando e sofisticando formulações, ingredientes e processamentos para atender a demanda de consumidores cada vez mais exigentes. Cerca de 95% dos alimentos secos para cães e gatos são produzidos com tecnologia de extrusão *high-temperature-short-time* (HTST) (Spears and Fahey, 2004). O processo de extrusão surgiu nos anos 40 e atualmente é usado nos mais diversos tipos de indústrias, como a de polímeros orgânicos (alimentos) e inorgânicos, metais, cerâmicas, tintas, entre outras. O processo de extrusão é comumente utilizado pela indústria pois permite o processamento de vários ingredientes, de interesse nutricional para várias espécies animais e inclusive para seres humanos.

A extrusão termoplástica de alimentos consiste na cocção da mistura de ingredientes, promovendo sanitização, texturização e formatação da massa a partir da presença de umidade, pressão, temperatura e fricção mecânica em curto espaço de tempo (Riaz, 2000; Tran, 2008). A extrusão termoplástica pode incluir as etapas de condicionamento, extrusão propriamente dita, corte e secagem, com funções específicas no cozimento e na qualidade do produto final. Essa combinação permite a modificação estrutural, funcional e nutricional dos ingredientes utilizados, melhorando suas características alimentares (Moscicki, 2011).

Para atingir as características específicas do produto, combinações suficientes de energia mecânica e térmica devem ser aplicadas durante o processo de extrusão. Esta combinação, juntamente com umidade e tempo suficiente de retenção da massa no processo induz mudanças químicas e físicas nos ingredientes (Moscicki, 2011). A implementação de energia mecânica no processo de fabricação de ração para cães e gatos é feita por meio da energia elétrica, consumida para impulsionar o movimento de rotação da rosca extrusora, que comprime a massa de encontro ao revestimento do tubo extrusor e junto à matriz extrusora no final do equipamento. O consumo

elétrico é geralmente expresso em kWh por tonelada de alimento produzido (kWh/t). A energia térmica na extrusão é oriunda principalmente da adição de vapor de água no pré-condicionador e no canhão extrusor (Riaz, 2000).

Foram encontrados poucos trabalhos com informações sobre as melhores condições de processamento de formulações para cães e gatos. Não se conhece, também, as implicações dos diferentes parâmetros de processo sobre as características nutricionais, digestibilidade dos nutrientes e palatabilidade dos alimentos para estes animais. Infelizmente, por vezes, a indústria limita-se a observar a aparência e a densidade aparente dos produtos para o estabelecimento dos parâmetros de produção, deixando de considerar aspectos importantes relativos ao seu valor nutricional, retenção de nutrientes, respostas metabólicas e digestibilidade.

Estudos avaliando aspectos digestivos e metabólicos são de suma importância devido ao fato da extrusão poder promover efeitos indesejáveis, incluindo destruição de vitaminas, oxidação de lipídeos e redução na disponibilidade de aminoácidos, principalmente da lisina, envolvida na reação de Maillard (Lankhorst et al., 2007). Desta forma, a presente Tese de Doutorado teve como objetivo geral estudar a influência da aplicação de energia térmica e energia mecânica na produção de alimentos extrusados para cães e gatos, incluindo avaliações de sua implicação na macroestrutura dos *kibbles*, digestibilidade, palatabilidade dos alimentos e retenção de nutrientes específicos.

5. Conclusions

Adequate application of STE in the preconditioner is important to achieve the implementation of sufficient TSE to the mass, with the advantages of lower electric energy consumption, improved kibble expansion and formation, greater starch gelatinization, and higher preference of the kibbles by the cats. Substantial increase on mass flow rate and the productivity of the extrusion system was also verified, improving the efficiency of the electric energy usage on the extrusion system. Even with the differences in starch gelatinization, apparent total tract digestibility and feces characteristics were not altered. The intake of a food with lower starch gelatinization promoted an increase of butyrate and short-chain fatty acids on feces, with potential health benefits that might be explored to cats.

Acknowledgments

This study was made possible by funding from the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (grant number 447751/2014-0) and by a fellowship for the first author from the Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (grant number 2018/ 23864-4) and by fellowship for the first author from the CAPES - Brazil - Finance Code 001. The authors would like to thank Guabi PetCare (Campinas, Brazil) for the financial and technical support to Laboratório de Pesquisa em Nutrição e Doenças Nutricionais de Cães e Gatos “Prof. Flávio Prada”. and Manzoni Industrial Ltda. (Campinas, Brazil) for the donation of the extruder used in the study. The authors would like to thank the Laboratório de Nutrição e Metabolismo de Felinos Domésticos, Maringá, Brazil.

Funding

This work was supported by the Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo [2018/ 23864-4]; Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (BR) [Finance Code 001].

ORCID

Mayara Aline Baller <https://orcid.org/0000-0001-5728-6570>

Peterson Dante Gavasso Pacheco <https://orcid.org/0000-0002-8900-6470>

Amanda Vitta-Takahashi <https://orcid.org/0000-0001-7293-7722>

Ricardo Souza Vasconcellos <https://orcid.org/0000-0002-0333-4300>

Aulus Cavalieri Carciofi <http://orcid.org/0000-0003-3859-3983>

References

- ASSOCIATION OF THE OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. 2002. Official and tentative methods of Analysis. 18. ed. Arlington. AOAC International.
- ASSOCIATION OF THE OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. 1995. Official and tentative methods of analysis. 16. ed. Arlington. AOAC International.
- Ashwar, B. A., Gani, A., Shah, A., Wani, I. A., & Masoodi, F. A. (2016). Preparation, health benefits and applications of resistant starch — A review. *Starch/Stärke*, 68, 287—301.
- Athar N, Hardacre A., Taylor G, Clarck S, Harding R, McLaughlin. 2006. Vitamin retention in extruded food products. *J. Food Comp. Anal.* 19: 379-383. doi:10.1016/j.jfca.2005.03.004.
- Ajita, T., Jha, S.K., 2017. Extrusion Cooking Technology : Principal Mechanism and Effect on Direct Expanded Snacks – An Overview. *Int. J. Food Stud.* 6, 113–128. <https://doi.org/https://doi.org/10.7455/ijfs/6.1.2017.a10>
- Baller, M.A., Pacheco, P., Peres, F.M., Monti, M., Carciofi, A.C., 2018. The effects of in-barrel moisture on extrusion parameters, kibble macrostructure, starch gelatinization, and palatability of a cat food. *Anim. Feed Sci. Technol.* 246, 82–90. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.10.003>
- 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. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8409>.

- Bird, A. R., Vuaran, M., Brown, I., & Topping, D. L. (2007). *Two high-amylose maize starches with different amounts of resistant starch vary in their effects on fermentation, tissue and digesta mass accretion, and bacterial populations in the large bowel of pigs. British Journal of Nutrition*, 97(01), 134. doi:10.1017/s0007114507250433
- Birt, D. F., Boylston, T., Hendrich, S., Jane, J.-L., Hollis, J., Li, L., McClelland J., Moore S., Gregory J. Phillips, Rowling M., Schalinske K., Scott M. P., Whitley, E. M. (2013). *Resistant Starch: Promise for Improving Human Health. Advances in Nutrition*, 4(6), 587–601. doi:10.3945/an.113.004325
- Carciofi, A.C., Takakura, F.S., De-Oliveira, L.D., Teshima, E., Jeremias, J.T., Brunetto, M.A., Prada, F., 2008. Effects of six carbohydrate sources on dog diet digestibility and post-prandial glucose and insulin response. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 92, 326–336. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2007.00794.x>.
- Cui, J., Lian, Y., Zhao, C., Du, H., Han, Y., Gao, W., Xiao, H., Zheng, J., 2019. Dietary fibers from fruits and vegetables and their health benefits via modulation of gut microbiota. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 18, 1514-1532. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12489>.
- de-Oliveira, L. D., Carciofi, A. C., Oliveira, M. C. C., Vasconcellos, R. S., Bazolli, R. S., Pereira, G. T., & Prada, F. (2008). Effects of six carbohydrate sources on diet digestibility and postprandial glucose and insulin responses in cats¹. *Journal of Animal Science*, 86(9), 2237–2246. doi:10.2527/jas.2007-0354
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.019>
- Dunsford, B., Plattner, B., Greenbury, D., Rokey, G., 2002. The influence of extrusion processing on petfood palatability. In: *Proceedings of Pet Food Forum*. Chicago, Illinois. Watt Publishing, Inc. Mt. Morris, Illinois, USA.
- Erwin, E.S., Marco, G.J., Emery, E.M., 1961. Volatile fatty acid analyses of blood and rumen fluid by gas chromatography. *J. Dairy Sci.* 44, 1768–1771. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(61\)89956-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(61)89956-6).
- FEDIAF, 2018. Nutritional Guidelines For Complete and Complementary Pet Food for Cats and Dogs- FEDIAF, FEDIAF. Nutritional Guidelines.
- FEDIAF, 2019. Nutritional Guidelines For Complete and Complementary Pet Food for Cats and Dogs- FEDIAF, FEDIAF. Nutritional Guidelines.
- Fischer, M. M.; Kessler, A. M.; De Sç, L. R. M.; Vasconcellos, R. S.; Filho, F. R.; Nogueira, S. P.; Oliveira, M. C. C.; Carciofi, A. C. Fiber fermentability effects on energy and macronutrient digestibility, fecal traits, postprandial metabolite responses, and colon histology of overweight cats. *Journal of animal science*, v. 90, n. 7, p. 2233-2245, 2012. DOI: 10.2527/jas.2011-4334

- Frame, N.D., 2013. The Technology of Extrusion Cooking, Journal of Chemical Information and Modeling. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Griffin, R.W., 2003. Section IV: Palatability, in: Petfood Technology.
- Guy, R., 2001. Extrusion Cooking: Technologies and Applications. Cambridge, United Kingdom.
- Hesta, M., Janssens, G. P. J., Debraekeleer, J., & De Wilde, R. (2001). The effect of oligofructose and inulin on faecal characteristics and nutrient digestibility in healthy cats. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 85(5-6), 135–141. doi:10.1046/j.1439-0396.2001.00308.x
- Hervera, M., Baucells, M.D., Blanch, F., Castrillo, C., 2007. Prediction of digestible energy content of extruded dog food by in vitro analyses 91, 205–209.
- Huber, G.R., Rokey, G.J., 1990. Extruded snacks. In: Booth, R.G. (Ed.), Snack Food. Van Nostrand Reinhold, New York, USA, pp. 107–138.
- Iwe, M.O., Van zuilichem, D.J., Ngoddy, P.O., Lammers, W., 2001. Amino acid and protein digestibility index of mixtures of extruded soy and sweet potato flours. Leb. Wiss. und Technol. 34, 71–75.
- Karkle, E.L., Alavi, S., Dogan, H., 2012. Cellular architecture and its relationship with mechanical properties in expanded extrudates containing apple pomace. Food Res. Int. 46, 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.11.003>
- Koppel, K., Gibson, M., Alavi, S., Aldrich, G., 2014. The effects of cooking process and meat inclusion on pet food flavor and texture characteristics. Animals 4, 254–271. <https://doi.org/10.3390/ani4020254>.
- Levine, L., 2014. Engineering: Heat and Mass Balances Around Extruder Preconditioners II 59, 2014.
- Loureiro, B. A.; Sakomura, N. K.; Vasconcellos, R. S.; Sembenelli, G.; Gomes, M. D. O. S.; Monti, M.; Malheiros, E.B; Kawauchi, I.M.; Carciofi, A. C. Insoluble fibres, satiety and food intake in cats fed kibble diets. Journal of animal physiology and animal nutrition, 101(5), 824-834. 2017
- Maria, A. P. J., Ayane, L., Putarov, T. C., Loureiro, B. A., Neto, B. P., Casagrande, M. F., Gomes, M. O. S., Glória, M. B. A, Carciofi, A. C. (2017). *The effect of age and carbohydrate and protein sources on digestibility, fecal microbiota, fermentation products, fecal IgA, and immunological blood parameters in dogs*1,2. Journal of Animal Science, 95(6), 2452–2466. doi:10.2527/jas.2016.1302 DOI: 10.1111/jpn.12711
- Minamoto, Y., Hooda, S., Swanson, K. S., & Suchodolski, J. S. (2012). Feline gastrointestinal microbiota. Animal Health Research Reviews, 13(01), 64–77. doi:10.1017/s1466252312000060
- Monti, M., Gibson, M., Loureiro, B.A., Sá, F.C., Putarov, T.C., Villaverde, C., Alavi, S., Carciofi, A.C., 2016. Influence of dietary fiber on macrostructure and processing traits of extruded dog foods. Anim. Feed Sci. Technol. 220,

- 93–102. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.07.009>
- Moscicki, L., 2011. Extrusion-Cooking Techniques, Techniques. <https://doi.org/10.1002/9783527634088>
- NRC, 2006. Nutrient Requirements of Dogs and Cats, 2nd ed. National. Academy Press, Washington, DC, USA.
- Onwulata, C.I., Smith, P.W., Konstance, R.P., Holsinger, V.H., 2001. Incorporation of whey products in extruded corn, potato or rice snacks. *Food Res. Int.* 34, 679–687. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(01\)00088-6](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00088-6).
- NRC, 2006. Nutrient Requirements of Dogs and Cats, 2nd ed. National. Academy Press, Washington, DC, USA.
- Pacheco, P.D.G., Putarov, T.C., Baller, M.A., Peres, F.M., Loureiro, B.A., Carciofi, A.C., 2018. Thermal energy application on extrusion and nutritional characteristics of dog foods. *Anim. Feed Sci. Technol.* 243. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.07.003>
- Pansawat, N., Jangchud, K., Jangchud, A., Wuttijumnong, 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. *LWT - Food Sci. Technol.* 41, 632–641. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.05.010>
- Pekel, A. Y., Mülazımoğlu, S. B., & Acar, N. (2020). Taste preferences and diet palatability in cats. *Journal of Applied Animal Research*, 48(1), 281–292. doi:10.1080/09712119.2020.1786391
- Peixoto M.C., Ribeiro E.M., Maria A.P.J., Loureiro B.A., di Santo L.G., Putarov T.C., F N Yoshitoshi, G T Pereira, L R M Sá, A C Carciofi. Effect of resistant starch on the intestinal health of old dogs: fermentation products and histological features of the intestinal mucosa. *J Anim Physiol Anim Nutr.* 2018; 102: 111–121.
- Pryce, J.D., 1969. A modification of the barker-summerson method for the determination of latic acid. *Analyst* 94, 1151–1152. <https://doi.org/10.1039/an9699401151>.
- Riaz, M., 2000. Extruders in food applications. Lancaster.
- Riaz, M.N., 2007. Extruders and Expanders in Pet Food, Aquatic and Livestock Feeds. Agrimedia, Clenze, USA.
- Riaz, M.N., 2000. Extruders in Food Industry. *Extruders Food Appl.* <https://doi.org/10.15713/ins.mmj.3>
- Ribeiro, É.D.M., Peixoto, M.C., Putarov, T.C., Monti, M., Dante, P., Pacheco, G., Loureiro, B.A., 2019. Archives of Animal Nutrition The effects of age and dietary resistant starch on digestibility , fermentation end products in faeces and postprandial glucose and insulin responses of dogs. *Arch. Anim. Nutr.* 00, 1–20. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2019.1652516>
- Rokey, G.J., Plattner, B., Souza, E.M. De, 2010. *Revista Brasileira de Zootecnia*

Feed extrusion process description Descrição do processo de extrusão do alimento 2010, 510–518.

- 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. (Berl)*. 97, 51–59. <https://doi.org/10.1111/jpn.12047>.
- Streit, B., 2015. Thermal versus Mechanical Energy in Pet Food Extrusion Coking. (Accessed August 2017). <http://www.petfoodindustry.com/articles/5364-thermalversus-mechanical-energy-in-pet-food-extrusion-cooking?v=preview>.
- Swanson KS, Dowd SE, Suchodolski JS, Middelbos IS, Vester BM, Barry KA and Fahey Jr GC (2011). Phylogenetic and gene-centric metagenomics of the canine intestinal microbiome reveals similarities with humans and mice. *ISME Journal* 5: 639–649
- Theodoro, S. de S., Putarov, T. C., Tiemi, C., Volpe, L. M., de Oliveira, C. A. F., Glória, M. B. de A., & Carciofi, A. C. (2019). *Effects of the solubility of yeast cell wall preparations on their potential prebiotic properties in dogs*. *PLOS ONE*, 14(11), e0225659. doi:10.1371/journal.pone.0225659
- Tran, Q.D., Hendriks, W.H., Van Der Poel, A.F., 2008. Effects of extrusion processing on nutrients in dry pet food. *J. Sci. Food Agric*. 88, 1487–1493. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3247>.
- Tobie, C., Péron, F., & Larose, C. (2015). Assessing Food Preferences in Dogs and Cats: A Review of the Current Methods. *Animals*, 5(1), 126–137. doi:10.3390/ani5010126
- Topping, D.L., Clifton, P.M., 2001. Short-chain fatty acids and human colonic function: Roles of resistant starch and nonstarch polysaccharides. *Physiol. Rev*. 81, 1031–1064. <https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.3.1031>
- Trivedi, N., Benning, J., 2003. Palatability keys. In: Kvamme, J.L., Phillips, T.D. (Eds.), *Petfood Technology*. Mt Morris, IL, USA, pp. 178–179.
- Venturini, K.S., Sarcinelli, M.F., Baller, M.A., Putarov, T.C., Malheiros, E.B., Carciofi, A.C., 2018. Processing traits and digestibility of extruded dog foods with soy protein concentrate. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl)*. 102. <https://doi.org/10.1111/jpn.12894>
- Vieira, P.F., 1980. Efeito do formaldeído na proteção de proteínas e lipídeos em rações para ruminantes. Viçosa, MG:98. PhD Thesis. Universidade Federal de Viçosa, Brazil.
- Zaman, S. A., & Sarbini, S. R. (2015). The potential of resistant starch as a prebiotic. *Critical Reviews in Biotechnology*, 17. doi:10.3109/07388551.2014.993590

Zanotto, D.L., Belaver, C., 1996. 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.

References

- AOAC, 1995. Official Methods of Analysis, 16th ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Washington DC.
- Alonso, R., Aguirre, A., Marzo, F., 2000. Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. Food Chem. 68, 159–165.

- Boekel, M. Van, Fogliano, V., Pellegrini, N., Stanton, C., Scholz, G., Lalljie, S., Somoza, V., Knorr, D., Jasti, P.R., Eisenbrand, G., 2010. A review on the beneficial aspects of food processing. *Mol. Nutr. Food Res.* 54, 1215–1247. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200900608>
- Combs, G.F., Combs, S.B., 1986. Chemical aspects of selenium, in: *The Role of Selenium in Nutrition*. pp. 41–126. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-183495-1.50006-3>
- Desai, B., Tathavadkar, V., Basu, S., 2018. Mechanism of Selenium Loss in Copper Slag. *Metall. Mater. Trans. B* 49, 1213–1222. <https://doi.org/10.1007/s11663-018-1247-2>
- Dumont, E., Vanhaecke, F., Cornelis, R., 2006. Selenium speciation from food source to metabolites : a critical review. *Anal Bioanal Chem.* 385, 1304–1323. <https://doi.org/10.1007/s00216-006-0529-8>
- Hakansson, B., Jagerstad, M., Oste, R., Akesson, B., Jonsson, L., 1987. The Effects of Various Thermal Processes on Protein Quality , Vitamins and Selenium Content in Whole-grain Wheat and White Flour. *J. of Cereal Sci.* 6, 269–282. [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(87\)80064-4](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(87)80064-4)
- Hendrix, D.L., 1993. Rapid Extraction and Analysis of Nonstructural Carbohydrates in Plant Tissues. *Crop Sci.* 33, 1306–1311. <https://doi.org/https://doi.org/10.2135/cropsci1993.0011183X003300060037x>
- Higgs, D.J., Morris, V.C., Levander, O.A., 1972. Effect of Cooking on Selenium Content of Foods Darla. *J. Agric. Food Chem.* 20, 678–680. <https://doi.org/10.1021/jf60181a019>
- Kieliszek, M., 2019. Selenium–Fascinating Microelement, Properties and Sources in Food. *Molecules* 24, 1298. <https://doi.org/10.3390/molecules24071298>
- Liou, J., Lin, Y., Cheng, W., Yang, J.P., Wang, L., 2001. Production of selenium yeast. *Proc. - Int. Soc. Sugar Cane Technol.* 24, 315–318.
- Moraes, P.M., Milantônio, R.B., Cagnani, G.S., Santos, F.A., Federici, C., Padilha, C.C.F., Lima, P.M., Padilha, P.M., 2009. Analytical procedure based on slurry sampling for determining selenium in organic vegetable samples by graphite furnace atomic absorption spectrometry. *Eur. Food Res. Technol.* 229, 409–414. <https://doi.org/10.1007/s00217-009-1068-2>
- Moscicki, L., 2011. Extrusion-Cooking Techniques, Techniques. <https://doi.org/10.1002/9783527634088>
- Neto, B.P., 2015. Avaliação do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) partido como ingrediente em alimentos extrusados.
- NRC, 2006. Nutrient requirements of dogs and cats, NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Whashington. DC.
- Oehm, G.J., Crisp, P.T., Ellis, J., 2012. Journal of the Air & Waste Management Association The Recovery of Selenious Acid Aerosols on Glass Fiber Filters 37–41. <https://doi.org/10.1080/10473289.1991.10466836>

- Payne, R.L., Southern, L.L., 2005. Comparison of Inorganic and Organic Selenium Sources for Broilers 1 , 2. *Poult. Sci.* 84, 898–902.
- Poel, A.T.F.B. Van Der, Stolp, W., Zuilichem, D.J. Van, 1992. Twin-screw Extrusion of Two Pea Varieties : Effects of Temperature and Moisture Level on Antinutritional Factors and Protein Dispersibility 83–87.
- Putarov, T.C., 2014. Ações antioxidantes e imunológicas do Selênio para cães. Universidade Estadual Paulista Faculdade De Medicina Veterinária e Zootecnia - Câmpus De Botucatu.
- Putarov, T.C., 2010. Avaliação de fontes de selênio e seus efeitos no perfil metabólico e condição reprodutiva de cães. Universidade Estadual Paulista Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia - Campus Botucatu.
- Riaz, M.N., 2000. Extruders in Food Industry. *Extruders Food Appl.* <https://doi.org/10.15713/ins.mmj.3>
- Sá, F.C., 2015. Energia mecânica, energia térmica e moagem na extrusão de alimentos para cães e gatos. Universidade Estadual Paulista - Campus Jaboticabal.
- 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. (Berl)*. 97, 51–59. <https://doi.org/10.1111/jpn.12047>
- Sager, M., 2006. Selenium in agriculture , food , and nutrition *. *Pure Appl. Chem.* 78, 111–133. <https://doi.org/10.1351/pac200678010111>
- Silva, A., Neves, R.C.F., Quintero-pinto, L.G., Padilha, C.C.F., 2007. Determination of selenium by GFAAS in slurries of fish feces to estimate the bioavailability of this micronutrient in feed used in pisciculture. *Chemosphere* 68, 1542–1547. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.03.003>
- Singh, B., Sekhon, K.S., Singh, N., 2007. Effects of moisture, temperature and level of pea grits on extrusion behaviour and product characteristics of rice. *Food Chem.* 100, 198–202. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.042>
- van der Poel, T.F.B., Zuilichem, D.J. Van, van Oort, M.G., 1990. Thermal Inactivation of Lectins and Trypsin Inhibitor Activity during Steam Processing of Dry Beans (*Phaseolus vulgaris*) and Effects on Protein Quality. *J. Sci. Food Agric.* 53, 215–228.
- Wenger Manufacturing Inc., Thermal versus mechanical energy in pet food extrusion cooking. *Petfood Industry.com*, 2015.