

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**EFEITO DO LIGNOSULFONATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO
EM ALIMENTO EXTRUDADO PARA CÃES**

THIAGO DO NASCIMENTO

**CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2005**



PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da Tese de Doutorado defendida por **Thiago do Nascimento**, aprovada pela Comissão Julgadora em 21 de fevereiro de 2005.

Campinas, 15 de outubro de 2008.


Prof. Dr. Antonio Carlos de Oliveira Ferraz

Presidente

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**EFEITO DO LIGNOSULFONATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO
EM ALIMENTO EXTRUDADO PARA CÃES**

Dissertação submetida à banca examinadora para a
obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola,
na área de concentração Tecnologia Pós-Colheita.

THIAGO DO NASCIMENTO

Orientador: Antonio Carlos de Oliveira Ferraz

Co-orientador: João Domingos Biagi

**CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2005**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

N17e Nascimento, Thiago do
Efeito do lingosulfonato de cálcio e magnésio em
alimento extrudado para cães / Thiago do Nascimento. --
Campinas, SP: [s.n.], 2005.

Orientadores: Antonio Carlos de Oliveira Ferraz, João
Domingos Biagi
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Processo de extrusão. 2. Resistência de materiais.
3. Durabilidade (Engenharia). 4. Energia - Consumo. 5.
Rações. 6. Animais – Alimentos. 7. Animais de
estimação - Rações. I. Thiago do Nascimento. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Agrícola. III. Título.

Título em Inglês: Effect of calcium and magnesium lignosulfonate on dog's feed
extrudate

Palavras-chave em Inglês: Extrusion, Pet food, Binder, Mechanical resistance,
Durability, Energy

Área de concentração: Tecnologia de Pós-Colheita – Tecnologia de Processos

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: José Eduardo Butolo e Inácio Maria Dal Fabbro

Data da defesa: 21/02/2005

Dedicatória

À Maria Laura, pelo amor, apoio e incentivo.

**À meus pais e familiares por tudo que
representam para mim.**

Agradecimentos

- Ao meu orientador, Prof. Dr. Antonio Carlos de Oliveira Ferraz, cuja orientação, experiência, amizade e confiança depositada em mim, possibilitou o melhor aproveitamento deste aprendizado.
- Ao meu co-orientador, Prof. Dr. João Domingos Biagi, pelo auxílio, experiência e amizade que foram de fundamental importância.
- À Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, pela oportunidade e facilidades oferecidas na execução desta pesquisa.
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela bolsa de estudos concedida.
- À empresa MELBAR PRODUTOS DE LIGNINA LTDA, que auxiliou com recursos financeiros e matéria-prima, sem os quais não seria possível a realização da pesquisa e especialmente ao sr. Euclides Alcalde Ávila, pela amizade e companheirismo.
- À empresa FRI-RIBE S.A., por nos permitir conhecer suas instalações e disponibilizar matéria-prima, equipamentos, mão-de-obra e laboratório, sem os quais não seria possível a realização da pesquisa, em especial aos Sr. Nilson Gimenes, Dr. Walter Albuquerque Araújo e todo pessoal da empresa pelo empenho e tempo gasto para que a pesquisa acontecesse.
- Ao Prof. Dr. Luiz Antonio Rossi e ao Edson Roberto Caíres pelas sugestões e auxílio e concessão de equipamentos e mão-de-obra.
- À Profa. Dra. Fernanda Paula Collares e ao Prof. Dr. Yoon Kil Chang pelas informações preciosas, auxílio e por permitir a utilização do Laboratório de Tecnologia de Cereais, Raízes e Tubérculos.
- Aos técnicos do Laboratório de Pós-colheita e Secagem, Laboratório de Propriedade Físicas de Materiais Biológicos (FEAGRI), Oficina e Laboratório de Tecnologia de Cereais, Raízes e Tubérculos (FEA), Rosa Helena, Juliana, Rosália, Francisco, Leandro, Luis, José Maria e Alessandra pelo apoio técnico e amizades.
- Aos amigos Marcelo, Luciana, Nelson, Max, Daniel Gomes, Ney, Leda, Júlio e Elayne, pelas dicas e bate-papos que contribuíram demais nesta minha formação.

Muito Obrigado!!!

Sumário

Lista de Figuras	vii
Lista de Tabelas	ix
Resumo	xi
Abstract	xiii
1. Introdução:	1
2. Objetivos	3
3. Revisão Bibliográfica	4
3.1. Histórico da industrialização de alimentos para cães e gatos	4
3.2. Extrusão Termoplástica	4
3.3. Extrusoras	7
3.4. Efeitos nas propriedades físicas e químicas dos nutrientes	10
3.4.1. Amido	10
3.4.2. Proteína	11
3.5. Lignosulfonatos	12
3.6. Resistência mecânica de materiais biológicos	14
4. Material e Métodos	19
4.1. Local de execução	19
4.2. Matéria Prima	19
4.3. Tratamentos	21
4.4. Delineamento experimental	21
4.5. Processamento	22
4.6. Consumo de energia elétrica na extrusora	23
4.7. Amostragem	23
4.8. Umidade da mistura no pré-condicionador	24
4.9. Avaliação dos efeitos dos tratamentos	24
4.9.1. Efeitos na composição dos extrudados	24
4.9.1.1. Composição centesimal	25
4.9.1.1.1. Umidade	25
4.9.1.1.2. Proteína bruta	25
4.9.1.1.3. Matéria fibrosa	25
4.9.1.1.4. Extrato etéreo	25
4.9.1.1.5. Material Mineral	26
4.9.1.2. Índice de Absorção de Água (IAA) e Índice de Solubilidade em Água (ISA)	26
4.9.1.3. Índice de expansão	27
4.9.2. Efeitos na resistência mecânica dos extrudados	27
4.9.2.1. Penetração	27
4.9.2.2. Compressão entre pratos planos rígidos e paralelos	29
4.9.2.3. Durabilidade	29
5. Resultados e Discussão	32
5.1. Característica da mistura	32
5.1.1. Umidade da mistura no pré-condicionador	32
5.2. Avaliação dos efeitos da inclusão de lignosulfonato de cálcio e magnésio	

nos extrudados	33
5.2.1. Composição centesimal para a Formulação 1	33
5.2.2. Composição centesimal para a Formulação 2	35
5.2.3. Índice de Absorção de Água (IAA)	36
5.2.4. Índice de Solubilidade em Água (ISA)	38
5.2.5. Índice de Expansão	39
5.2.6. Resistência mecânica dos extrudados	41
5.2.6.1. Ensaio de penetração	41
5.2.6.1.1. Índice de resistência à penetração através da energia de deformação	44
5.2.6.1.2. Índice de resistência à penetração através da rigidez aparente	45
5.2.6.2. Ensaios de compressão entre pratos planos rígidos e paralelos	48
5.2.6.2.1. Índice de resistência à compressão através da energia de deformação	49
5.2.6.2.2. Índice de resistência à compressão entre pratos planos rígidos e paralelos através da rigidez aparente	52
5.2.6.3. Durabilidade dos extrudados	53
5.2.6.4. Consumo de energia elétrica	55
5.2.6.4.1. Estudo preliminar	55
5.2.6.4.2. Consumo energético durante o processamento da formulação 2	56
6. Conclusões	60
Referências bibliográficas	61

Lista de Figuras

Figura 1: Fluxograma de produção de alimentos extrudados em fábricas de rações.	6
Figura 2: Modelo de extrusora (TERRA, 2000).	9
Figura 3: Ilustração de equipamento para ensaios de “dureza-Kahl”.	15
Figura 4: Ilustração de equipamento “Pêndulo” utilizado para ensaios de dureza.	15
Figura 5: Ilustração de ensaio de compressão diametral com prensa universal.	16
Figura 6: Ilustração de ensaio utilizando equipamento de Kramer.	17
Figura 7: Ilustração de equipamento para ensaios de durabilidade – “tumbling”.	18
Figura 8: Ilustração de equipamento para ensaios de durabilidade – Holmen.	18
Figura 9: Medidor registrador eletrônico de parâmetros elétricos trifásicos com memória de massa marca ESB, modelo SAGA 4000.	23
Figura 10: Ponteira de 1,30 mm de diâmetro utilizada nos ensaios de penetração dos extrudados.	28
Figura 11: Prensa universal ou texturômetro, “Texture Analyser”, da marca LLOYD INSTRUMENTS LTD, modelo TA 500.	28
Figura 12: Ilustração do ensaio de compressão entre pratos planos rígidos e paralelos.	29
Figura 13: Caixa metálica utilizada para os ensaios de durabilidade.	31
Figura 14: Valores médios de umidade (b.u.) da massa no pré-condicionador e os limites superiores e inferiores calculados pelo teste “Least Significant Difference” (LSD).	33
Figura 15: Valores de índice de absorção de água (IAA) para os diferentes tratamentos.	37
Figura 16: Valores de Índice de Solubilidade em Água (ISA) (%) para os diferentes tratamentos.	39
Figura 17: Valores médios de índice de expansão dos extrudados.	41
Figura 18 a e b: a) Ilustração de extrudados ensaiados com ponteiras de 1,30mm de	

diâmetro; b) Detalhe da ponteira de 1,30mm de diâmetro.	42
Figura 19 a e b: Exemplos de curvas de força-deformação específica, obtida nos ensaios de penetração com ponteira de 1,30mm de diâmetro, até 30% de deformação específica em extrudados.	43
Figura 20: Valores médios de energia de deformação (J) utilizada para a penetração de ponteira com 1,30mm de diâmetro até 30% da altura específica dos extrudados e os níveis superiores e inferiores calculados pelas diferenças médias obtidas pelo teste “Least Significant Difference” (LSD).	45
Figura 21: Valores médios de rigidez aparente (N/m) para as análises de penetração de ponteira de 1,30 mm de diâmetro na primeira parte da curva força-deformação específica.	46
Figura 22 a e b: Exemplos de curvas de força-deformação específica, obtida nos ensaios de penetração com ponteira de 1,30mm de diâmetro, até 30% de deformação específica em extrudados e a tangente do primeiro trecho aproximadamente linear.	47
Figura 23: Exemplos de espécimes utilizados para a realização dos ensaios de resistência mecânica.	48
Figura 24: Fraturas nos extrudados causadas pela compressão entre pratos planos rígidos e paralelos, até 30% de deformação específica.	49
Figura 25 a e b: Exemplos de curvas de força-deformação específica, obtida pela compressão diametral dos extrudados, entre pratos planos e paralelos, até 30% de deformação específica e as tangentes utilizadas para os cálculos de rigidez aparente.	50
Figura 26: Valores de energia (J) para os diversos tratamentos, gerados pelas análises de compressão entre pratos planos e paralelos até a deformação específica de 30% em unidades extrudadas.	51
Figura 27: Valores de rigidez (N/m) para os diversos tratamentos, gerados pelas análises de compressão entre pratos planos rígidos e paralelos até a deformação específica de 30% em unidades extrudadas e os níveis superiores e inferiores calculados no teste LSD.	53
Figura 28: Valores médios de durabilidade para os diferentes tratamentos.	55
Figura 29: Valores de tempo de processamento (minutos), potência utilizada (kW) e energia elétrica consumida (kWh) para o processamento da fórmula 2.	58

Lista de Tabelas

Tabela 1: Principais diferenças entre extrusoras de parafuso simples e duplo.	10
Tabela 2: Faixas de temperatura de gelatinização do amido para alguns grãos.	11
Tabela 3: Componentes da formulação 1, em percentual.	19
Tabela 4: Componentes da formulação 2, em percentual.	20
Tabela 5: Níveis de garantia para a formulação 1 e 2, em percentual.	20
Tabela 6: Níveis de garantia do produto aglutinante.	20
Tabela 7: Seqüência de processamento da formulação 1 com os números das batidas e seus respectivos tratamentos.	22
Tabela 8: Valores médios das umidades das misturas na saída do pré-condicionador, para formulação 1, com desvios padrões e coeficientes de variação, para cada tratamento.	32
Tabela 9: Valores médios das análises de composição centesimal, para formulação 1, com médias, desvios padrões e coeficientes de variação, para cada tratamento.	34
Tabela 10: Valores médios de cada tratamento, em percentagem, das análises de composições centesimais para a formulação 2.	36
Tabela 11: Valores médios de índice de absorção de água (IAA), para formulação 1, com desvios padrões e coeficientes de variação, para cada tratamento.	36
Tabela 12: Valores médios de índice de solubilidade em água (ISA), para formulação 1, com desvios padrões e coeficientes de variação, para cada tratamento.	38
Tabela 13: Valores médios de índice de expansão, para formulação 1, com desvios padrões e coeficientes de variação, para cada tratamento.	40
Tabela 14: Valores médios do índice de resistência mecânica, energia de deformação, para formulação 1, com desvios padrões e coeficientes de variação, para cada tratamento.	44
Tabela 15: Valores médios do índice de resistência mecânica, rigidez aparente, para formulação 1, com desvios padrões e coeficientes de variação, para cada tratamento.	46
Tabela 16: Valores médios do índice de resistência mecânica, energia de deformação, para formulação 1, com desvios padrões e coeficientes de variação, para cada tratamento.	51
Tabela 17: Valores médios do índice de resistência mecânica, rigidez aparente, para formulação 1, com desvios padrões e coeficientes de variação, para cada tratamento.	52

Tabela 18: Valores médios de durabilidade, para a formulação 1, com desvios padrões e coeficientes de variação, para cada tratamento.	54
Tabela 19: Valores médios de tempo de processamento estimado, para a formulação 1, com desvios padrões e coeficientes de variação, para cada tratamento.	56
Tabela 20: Tempo de processamento da fórmula 1 para cada mistura.	57
Tabela 21: Tempos de processamento para variações previstas de 1,5 minuto.	59

Resumo

A qualidade de produto extrudado destinado à alimentação animal é de fundamental importância para a indústria e para os animais. A extrusão é a operação que consome a maior quantidade de energia elétrica. Para atingir melhor qualidade e maior produtividade, o uso de aditivos tem se tornado uma prática cada vez mais difundida. Dentre esses produtos destaca-se o lignosulfonato de cálcio e magnésio que com sua característica aglutinante pode alterar as

propriedades físicas das rações. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da adição de lignosulfonato de cálcio e magnésio nas concentrações de 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 e 4,0%, em peso, em escala industrial, em formulação genérica para cães adultos em manutenção, quanto à valores nutricionais e resistência mecânica do produto extrudado. Em formulação genérica para cães filhotes foram avaliadas variações nutricionais e consumo de energia elétrica pelo motor da extrusora.

O efeito da inclusão de lignosulfonato de cálcio e magnésio foi analisado através da composição centesimal e índices de absorção de água, solubilidade em água e de expansão. Para avaliar o efeito na resistência mecânica foram realizados ensaios de penetração com ponteira de 1,30mm de diâmetro, compressão entre pratos planos e paralelos, ambos até 30% de deformação específica, e ensaios de durabilidade. O monitoramento de parâmetros elétricos foi realizado para avaliar o consumo de energia elétrica do motor da extrusora.

Não foram constatadas diferenças para índice de expansão, resistência à penetração e durabilidade, para os diversos tratamentos. Verificou-se que o ensaio que melhor avaliou a resistência mecânica dos extrudados foi aquele que utilizou a compressão entre pratos planos e paralelos, pois foi sensível e discriminou os tratamentos com lignosulfonato de cálcio e magnésio do tratamento controle. O ensaio de penetração não foi adequado, pois não evidenciou diferença entre os índices de resistência. Dentre os índices de resistência mecânica propostos, o de energia de deformação foi o que melhor discriminou as diferenças entre o tratamento controle e aqueles com inclusão de lignosulfonato de cálcio e magnésio. Verificou-se que houve aumento nos índices de absorção de água e solubilidade em água. O consumo de energia elétrica sugeriu uma relação linear com o tempo de processamento.

Concluiu-se que a inclusão de lignosulfonato de cálcio e magnésio, nas concentrações consideradas altera as propriedades físicas do extrudado. No entanto, apesar da tendência apresentada de diminuição de consumo energético, investigações futuras devem ser realizadas, envolvendo maior tempo de observação.

Palavras-chave: processo de extrusão; resistência de materiais; durabilidade (engenharia); energia - consumo; rações.

Abstract

The extrudate feed quality is important to the industry as well to the final consumers, the animals. In the feed industry, the extrusion process requires the largest amount of energy. To achieve the best quality and productivity, additives have been increasingly used by the industry. The addition of calcium and magnesium lignosulfonate as a binder may affect the feed physical properties. The purpose of this work was to evaluate the effect of the calcium and magnesium lignosulfonate addition, in concentrations of 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 and 4,0%, in

weigh, processed in industrial scale, in general feed for adults maintenance dogs in the extrudate nutritional values and mechanical resistance. Using a general feed for growth dogs extrudate nutritional values and the extruder's engine power consumption were evaluated.

The extrudates were analyzed by centesimal compound test, water absorption index, water solubility index and expansion rate. To evaluate the mechanical resistance it was used a penetration test using a 1,30mm diameter cylindrical, and a flat plate compression test both until 30% of specific deformation, and a durability test. Electrical parameters were measured on a continuous basis to obtain power consumption information from the extruder electrical motor.

Differences were not observed in the expansion rate, penetration resistance and durability. It was observed that the best test to evaluate the mechanical resistance was the flat plate compression, because of its sensitivity and ability to discriminate treatments from the control. The water absorption index and water solubility index increased with increasing concentrations of lignosulfonate. The power consumption suggested a linear relation with process time and showed differences between the treatments.

In conclusion, despite the fact that different concentrations of lignosulfonate do affect physical properties of the extrudate and that a tendency to reduce energy consumption was observed, further investigations considering longer observation times should be considered.

Key words: extrusion; pet food; binder; mechanical resistance; durability; energy.

1. Introdução:

Alimentos industrializados, completos e balanceados para cães e gatos (Pet Food), são práticos, econômicos e eficazes, satisfazendo as exigências nutricionais destes animais. A aceitação destes produtos pelo mercado aumentou intensamente quando os alimentos passaram a ser extrudados e não mais peletizados, pois com este novo processamento atingiram-se melhores resultados em digestibilidade e palatabilidade. Atualmente, no Brasil, existem 40 milhões de animais de estimação, destes, 28 milhões são cães e 12 milhões gatos (HÁFEZ, 2002; SINDIRAÇÕES, 2005). Considerando o consumo médio diário, o potencial brasileiro é de mais de 3 milhões de toneladas por ano. Porém, atualmente, apenas 32% destes animais consomem alimentos industrializados completos e balanceados, enquanto em países desenvolvidos este número atinge 50-60% (HÁFEZ, 2002).

Segundo o SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL (SINDIRAÇÕES) (2005), o Brasil é o terceiro maior fabricante de rações balanceadas do mundo, estando atrás de EUA e China, primeiro e segundo, respectivamente. A produção nacional em 2004 cresceu acima de 5% em vendas em relação ao ano anterior devendo atingir 43,4 milhões de toneladas e uma movimentação financeira de 8,4 bilhões de dólares. O segmento de Pet Food aumentou sua produção de 1.295,0 toneladas em 2003 para 1.430,7 toneladas em 2004, com previsão de produção de 1.502,0 toneladas em 2005.

O aumento da população de cães e gatos, decorrente da necessidade de companhia e proteção das pessoas, favorece o fortalecimento deste segmento. O setor cresce em volume e torna-se também cada vez mais exigente quanto à qualidade.

Com movimentação financeira expressiva e mercado promissor, o estudo dos processos envolvidos na produção destes tipos de alimentos, assim como a utilização de aditivos que melhorem a qualidade, é de fundamental importância para o desenvolvimento da indústria nacional.

Uma característica importante, tanto para a indústria como para os animais, é a manutenção do produto íntegro após o processo de extrusão. Na indústria, a desintegração do produto produz uma quantidade de farelo (“finos”) que resulta em reprocessamento, com conseqüente aumento de custos. Para os animais, o produto em perfeito estado físico é importante, pois evita a segregação de nutrientes, garantindo um alimento balanceado.

Quando o produto não apresenta as características físicas desejadas, a utilização de aditivos aglutinantes é uma opção para melhorar a qualidade de peletes e extrudados. Com esta finalidade existem alguns tipos de aglutinantes disponíveis e os de maior utilização pela indústria de alimentação animal são: bentonita, carboximetilcelulose (CMC) e os lignosulfonatos.

O lignosulfonato, um subproduto da indústria de papel e celulose (Friedrich & Robohm, 1970 e Van Zuilichem et al., 1979a,b e 1980, citados por THOMAS et al., 1998) tem estendido a durabilidade dos produtos peletizados e reduzido do consumo de energia (kWh tonelada⁻¹) das peletizadoras. Este produto é utilizado, atualmente, por indústrias que produzem rações peletizadas, com a finalidade de reduzir a produção de finos, evitando desperdícios dentro das fábricas, granjas e fazendas.

Em indústrias de alimentação animal, o processo de extrusão é o mais oneroso entre os utilizados por apresentar alto consumo de energia elétrica pelo motor da extrusora, além de perdas relativas à produção de finos. Não foram encontrados relatos na literatura mostrando a utilização do lignosulfonato em produtos extrudados. Assim, o lignosulfonato aparece como uma opção para a redução de custos e melhora da qualidade do produto.

2. Objetivos

O objetivo do trabalho é avaliar o efeito da adição de diferentes níveis (0,5, 1,0, 1,5, 2,0 e 4,0%) de lignosulfonato de cálcio e magnésio, na fabricação industrial de alimentos extrudados para cães, no consumo de energia elétrica e nas propriedades físicas do produto extrudado, avaliados através de análises físico-químicas e de ensaios de resistência mecânica.

3. Revisão Bibliográfica

3.1. Histórico da industrialização de alimentos para cães e gatos

O mercado de alimentos para cães e gatos (*Pet Food*) tem como sua primeira citação, a comercialização de biscoitos para cães em 1860 na Inglaterra. No pós-guerra, 1914 a 1918, enlatados à base de carne de cavalo eram os alimentos industrializados consumidos. Em 1930 iniciou a produção de produtos secos para cães e enlatados para gatos, ambos à base de carne. Na década de 50, havia variações alimentares à base de biscoitos e alimentos secos. A grande explosão de comercialização ocorreu na década de 80 nos países desenvolvidos (PRADA, 2002).

Segundo LINKO et al. (1984), o processo para extrudar cereais e misturas de sementes para a indústria de alimentação animal, aglomerados biopolímeros (polímeros formados por fontes renováveis naturais, podendo ser biodegradáveis) e para a texturização de proteínas vegetais, foi desenvolvido em 1960 e é denominado “*High Temperature, Short Time*” (HTST).

3.2. Extrusão Termoplástica

Segundo EL-DASH (1981), a extrusão termoplástica é um processo contínuo, no qual, cisalhamento mecânico e calor estão combinados para promover a gelatinização do amido, a desnaturação protéica e reestruturação, criando novas formas e texturas. CHANG et al. (1998) definiram a extrusão termoplástica como o processo no qual a matéria-prima, formada basicamente por amido e proteína, é sujeita a modificações estruturais, transformando a proteína e gelatinizando o amido, formando uma massa plástica e viscosa ao passar pela extrusora. Rossen & Miller (*apud* RIAZ, 2002) definiram:

“Extrusão de alimentos é um processo no qual o material alimentício é forçado a fluir, sob uma ou mais variações de condições de mistura, aquecimento e cisalhamento, através de uma matriz projetada para formatar e/ou expandir os ingredientes”.

De acordo com FRAZIER et al (1984), a extrusão é um processo capaz de converter proteína, solúvel ou globular, de origem vegetal, em um material com textura de carne, sendo

economicamente interessante para produzir alimentos para humanos assim como para cães e gatos.

O processo de extrusão termoplástica para a produção de alimentos para animais de estimação, assim como para as demais aplicações na indústria alimentícia humana, é uma das operações unitárias mais empregadas atualmente, que pode ser avaliada como uma composição entre transporte, mistura, compressão, cozimento e expansão de um grupo de matérias-primas (Yeh & Jaw *apud* MENDES, 2003).

De acordo com KEARNS (2002) o processo consiste em cozinhar uma mistura farelada, porém com a mesma granulometria, em um condicionador no qual recebe água e vapor, podendo também receber aditivos como óleo, gordura, carne, produtos a base de peixe, conservantes, entre outros. O tempo limite dentro do condicionador é de 4 minutos, pois acima disto ocorre degradação dos ingredientes, sendo o tempo de permanência usual de 1,5 a 3 minutos.

Através do processo de extrusão, materiais úmidos, expansíveis, amiláceos e/ou protéicos, fibrosos e gordurosos são plastificados em um duto através da combinação de umidade, pressão, calor e cisalhamento mecânico, resultando alta temperatura para a massa na extrusora, descrevendo-se o fenômeno como uma expansão exotérmica (MENDES, 2003).

As propriedades físico-químicas das matérias-primas são alteradas ao longo do processo de extrusão, bem como as propriedades reológicas, que atualmente não são perfeitamente entendidas, em grande parte, devido à dificuldade de instalação de sensores precisos e reprodutíveis para a massa no extrusor. Comumente, na indústria de alimentação animal, a extrusão ainda é controlada de forma manual. (Cayot et al. *apud* MENDES, 2003).

MILLAUER (1987) relatou que a qualidade do produto extrudado é facilmente influenciada por vários parâmetros de processo e para ter resultados consistentes em pesquisas e desenvolvimentos de novos produtos, mantendo sua qualidade, tais parâmetros devem ser corretamente controlados, ajustados e monitorados.

Para o presente trabalho, os principais aspectos de processamento considerados estavam localizados, dentre todos os processos, na dosagem, na moagem, pré-condicionamento e extrusão, monitorando a concentração de aditivo incluída na formulação, granulometria da mistura, umidade da mistura a ser extrudada e temperatura de extrusão. A Figura 1 mostra um

fluxograma de um processo de extrusão em fábricas de rações, destacando os pontos de controle e coleta de amostras.

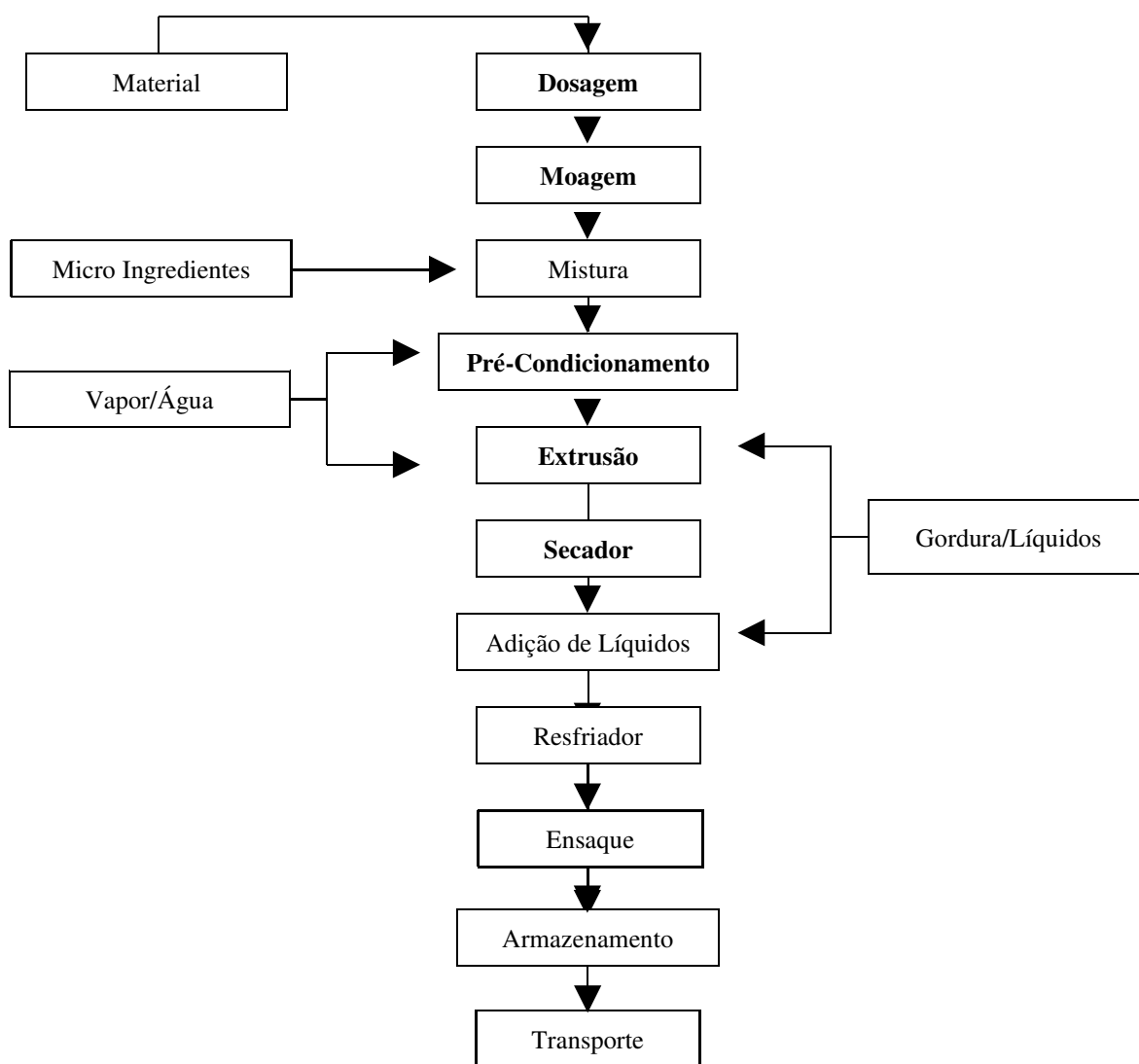


Figura 1: Fluxograma de produção de alimentos extrudados em fábricas de rações.

De acordo com Smith (1969 e 1971 *apud* RIAZ, 2002), a extrusão tem as vantagens em relação ao modo tradicional de produção de alimentos para humanos e animais, de adaptabilidade para fazer produtos novos por demanda do mercado consumidor; possibilidade de variar cor, textura e forma dos produtos; eficiência energética por utilizar pouca água no processo de cozimento; baixo custo por diminuir desperdícios e por requerer menor espaço nas unidades de produção; alta produtividade e automação; melhoria na qualidade dos produtos.

Sendo um processo rápido e com altas temperaturas destrói fatores antinutricionais, melhorando a digestibilidade dos alimentos sem produzirem efluentes.

Por todas estas vantagens a utilização deste processo em fábricas de rações tem aumentado. Em contrapartida, o alto consumo de energia elétrica e o elevado custo de manutenção são aspectos negativos que devem ser melhorados.

3.3. Extrusoras

Segundo RIAZ (2002) a extrusora tem as funções de aglomeração dos ingredientes, retirada de gases de dentro dos ingredientes, expansão para controle de densidade, gelatinização do amido, moagem, homogeneização dos ingredientes, mistura, pasteurização e esterilização, desnaturação de proteínas, formatação, cisalhamento, alteração de textura e cozimento térmico.

Uma extrusora (EL-DASH, 1981) é composta por cinco componentes principais: mecanismo de alimentação; parafuso; canhão para o parafuso; matriz; e sistema de facas para corte. Ao passar pelo condicionador e pelo canhão extrusor, a mistura é pressionada contra a matriz, atingindo temperatura e pressão elevadas na parte final do canhão. O amido contido na massa sofre uma transformação denominada gelatinização e ao entrar em contato com um ambiente de pressão menor e ar mais frio expande seu tamanho, alterando suas ligações estruturais. Após a expansão, o material fica com o formato proporcionado pela matriz, sendo cortado e transportado até o secador. O mecanismo de alimentação é formado por um silo pulmão, que pode ter um agitador, para evitar a agregação e possibilitar alimentação contínua do processo e parafuso alimentador.

O parafuso da extrusora atua não só no controle do grau de cozimento e gelatinização, como também na qualidade do produto final. A presença de passos menores aumenta a capacidade de condução da massa. Com a mistura e o arraste do material, gera-se fricção mecânica e calor, proporcionando a total mistura do produto.

O mesmo autor relata que o canhão do extrusor, por vezes, possui espaços que permitem a passagem de água de resfriamento, ou vapor, ou óleo quente, para ajustar mais precisamente as temperaturas das câmaras, que na maioria é provida de termopares. Normalmente, possuem ranhuras nas partes internas, retas ou em espirais, aumentando ou

diminuindo o fluxo da mistura, respectivamente. O espaço entre o parafuso e o canhão é o menor possível para reduzir refluxo.

A matriz é uma chapa perfurada instalada na saída do canhão do extrusor, e possui as funções de moldar o produto na forma desejada e trabalhar como uma barreira contra a passagem da massa, aumentando a pressão nas zonas de cozimento da extrusora. Existem vários formatos de orifícios na matriz que permitem diversas formas ao produto final (EL-DASH, 1981).

Segundo EL-DASH (1981), o sistema de facas rotativas é essencial para a definição do tamanho do produto, pois são capazes de cortar o produto em tamanhos pré-estabelecidos. Se colocados a uma distância de até 0,2 mm o corte é perfeito, mas abaixo de 0,05 mm causa grande atrito entre as lâminas e a matriz.

Na Figura 2 é exemplificada, esquematicamente, uma extrusora na qual se encontram acoplados um silo pulmão; um parafuso variável dosador; um condicionador responsável pelo pré-cozimento da massa através da injeção de vapor d'água e água; um canhão extrusor; um sistema variável de corte que delimita o tamanho do produto acabado; e um sistema de transporte pneumático.

As extrusoras são divididas em dois tipos: parafuso simples e duplo (EL-DASH, 1981). A de parafuso simples é a mais comum na indústria de alimentos e segundo Rossen & Miller (*apud* RIAZ, 2002) e HARPER (1998) são classificadas de acordo com suas características operacionais em prensas para massas, extrusoras de alta pressão e extrusoras de baixo e alto cisalhamento. Segundo VAN ZUILICHEM et al. (1984), quando se escolhe uma extrusora deve-se fazer uma consideração importante quanto ao cisalhamento. Isto porque, alguns materiais devem ter um tratamento suave com baixos níveis de atrito, enquanto outros necessitam muito cisalhamento durante todo o processo ou por um curto período de tempo. Diferenças entre extrusoras de parafuso simples e duplo são apresentadas na Tabela 1.

BEN-GERA et al. (1984) relatam que a temperatura desejada no processo é atingida pelo atrito entre a massa e a parede do canhão e o cisalhamento. A taxa de alimentação, o desenho e arranjo dos parafusos, camisas e matrizes, velocidade de rotação dos parafusos, influenciam as condições de atrito e cisalhamento e por consequência, o calor gerado.

Quando a energia mecânica (produzida pelo transporte da massa pelo parafuso que causa cisalhamentos entre a massa e a parede interna da camisa do canhão extrusor) e a energia

térmica (oriunda da transformação da energia mecânica e adição de vapor e água antes e no próprio extrusor) são aplicadas durante o processo de extrusão, as macromoléculas de proteínas perdem as suas estruturas organizadas, formando uma massa contínua e visco elástica (Kearns et al. *apud* MENDES, 2003).

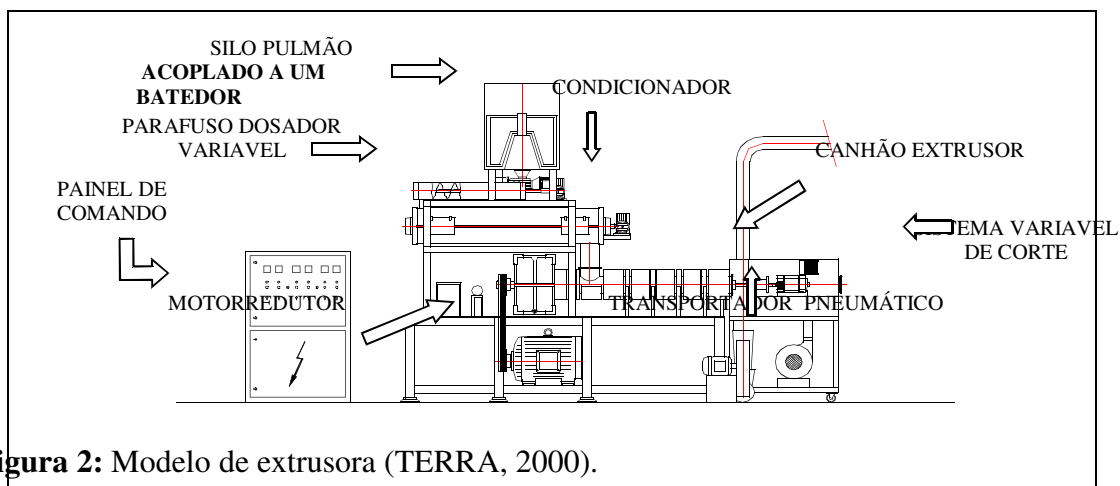


Figura 2: Modelo de extrusora (TERRA, 2000).

Tabela 1: Principais diferenças entre extrusoras de parafuso simples e duplo.

Parâmetros	Parafuso Simples	Parafuso Duplo
Principal fornecimento de energia	Dissipação viscosa	Transferência de calor do canhão extrusor para a massa
Mecanismo de transporte	Fricção entre metal e o alimento	Deslocamento positivo
Capacidade de alimentação	Dependente da umidade, quantidade de gordura e da pressão	Independente
Valor aproximado de consumo de energia por kg de produto	900-1500 kJ. kg ⁻¹	400-600 kJ. kg ⁻¹
Distribuição de calor	Grandes diferenças de temperaturas	Pequenas diferenças de temperaturas
Dissipação de energia mecânica	Grandes forças de cisalhamento	Pequenas forças de cisalhamento
Retirada de gases do material	Fácil	Difícil
Rigidez	Alta	A construção do mancal é vulnerável
Custo de capital	Baixo	Alto
Quantidade mínima de água	10%	8%
Quantidade máxima de água	30%	95%

Fonte: Adaptado de VAN ZUILICHEM et al. (1984).

3.4. Efeitos do processo de extrusão nas propriedades físicas e químicas dos nutrientes

3.4.1. Amido

Segundo Cheftel (*apud* LICETI DIBOS, 1993) o tratamento térmico em materiais amiláceos causa modificações físico-químicas dos constituintes dos grânulos de amido, produzindo mudanças reológicas e texturais, aumentando a digestibilidade e disponibilidade do nutriente como fonte energética.

De acordo com SREBERNICH (1989) o amido, durante o processo de extrusão, perde sua cristalinidade original (dependendo da razão amilose/amilopectina), degradando-se, se complexando com lipídios. Variáveis como a temperatura, efeitos de cisalhamento, composição da matéria-prima e umidade, têm grande importância na transformação do amido. A amilose é responsável por elasticidade, regularidades de superfície e textura. A amilopectina proporciona pouca expansão dos produtos. Colonna et al. (*apud* LICETI DIBOS, 1993) observaram que a determinação da viscosidade e massa molecular demonstrou a hidrólise

parcial da amilose e da amilopectina em maltodextrinas, causada por grandes forças de cisalhamento.

LIN et al. (1997) trabalharam com níveis diferenciados de inclusão de lipídios (bovino e avícola) para avaliarem o grau de gelatinização do amido em “pet foods”. Eles observaram que no alimento controle (sem adição de gordura) o amido apresentou 100% de grânulos gelatinizados. Porém, com o aumento de inclusão de gordura o grau de gelatinização diminuiu significativamente. Esta interferência é devida à lubrificação causada pela gordura dentro da extrusora, o que resulta em menor atrito entre a massa e os elementos internos da extrusora. O quanto o amido vai expandir é função, primeiramente, da temperatura da massa durante o processo.

O efeito da quantidade de água inicial no produto a ser extrudado também influencia na gelatinização do amido. A tendência de diminuição do grau de gelatinização do amido, com o aumento da umidade inicial, foi demonstrada por LIN et al (1997), assim como, a influência da velocidade do parafuso. Esta deve ser alta quando incluída baixa quantidade de gordura, e vice e versa, para que o grau de modificação estrutural do amido seja satisfatório. A Tabela 2 apresenta as temperaturas de gelatinização do amido para alguns grãos.

Tabela 2: Faixas de temperatura de gelatinização do amido para alguns grãos.

Grão	Temperatura de Gelatinização (°C)
Milho	62-72
Trigo	52-63
Arroz	61-78

Fonte: Adaptado de VAN ZUILICHEM & STOLP (1987)

Considerando que a faixa de temperatura de processos de extrusão esta entorno de 90°C a 170°C, a gelatinização do amido neste processo é garantida.

3.4.2. Proteína

De acordo com VAN ZUILICHEM & STOLP (1987), a maneira como as proteínas se apresentam depende unicamente da porcentagem de aminoácidos hidrofóbicos.

Materiais protéicos solúveis, sob condição de alta temperatura, cisalhamento e pressão, transformam-se em fibras insolúveis e fluidos plásticos dentro da extrusora (Otun et al. *apud* LICETI DIBOS, 1993).

Em um processo com altas temperaturas como a extrusão, a digestibilidade das proteínas é reduzida por afetar a disponibilidade biológica dos aminoácidos. A retenção da lisina, aminoácido limitante em cereais, é bastante influenciada pelos parâmetros do processo (SEBIO, 1996).

Segundo ASP (1987), a inativação dos inibidores de protease e outros fatores antinutricionais quando um material protéico é submetido a tratamento térmico, pode melhorar o valor nutricional do produto e a extrusão tem demonstrado ser um processo adequado para estas finalidades. O mesmo autor relata que este tipo de tratamento, porém, também pode causar perdas de aminoácidos essenciais através das reações de oxidações de Maillard. Os parâmetros tempo, temperatura e atividade de água são determinantes na extensão de tais reações (BJÖRCK & ASP, 1984).

3.5. Lignosulfonatos

Os lignosulfonatos são complexos polímeros orgânicos, derivados da lignina da madeira e são classificados como tensoativos aniônicos solúveis em água. A lignina é separada da celulose por meio de um processo de cozimento químico dos cavacos de madeira resultando em produto composto, principalmente, por lignosulfonatos. Tratando quimicamente este subproduto, extraem-se os lignosulfonatos homogêneos e com aplicações específicas. Estes possuem algumas propriedades, tais como: aglomerantes e emulsificantes, mas não são agentes espumantes verdadeiros. Entretanto, em certos sistemas, pode desenvolver espuma (MELBAR).

A aplicação na alimentação animal é destinada à formação de peletes com melhor qualidade, mais resistente mecanicamente e menor teor de “finos”, devido ao seu poder aglutinante. Para produtos extrudados, ainda, não se têm muitos dados (MELBAR).

WALDROUP et al (2002) relataram que a utilização de aglutinantes melhora a qualidade de rações peletizadas, pelo aumento da densidade aparente e diminuição de “finos”. Neste estudo, os autores utilizaram dois aglutinantes comerciais, à base de lignosulfonato de

cálcio, em adições de 1,25% e 0,6% nas formulações de rações para frangos de corte. O objetivo do trabalho foi verificar se a utilização destes componentes interferiria na estabilidade de um antibiótico. Concluíram que os aglutinantes não causavam danos na ação do medicamento.

Avaliando os efeitos da utilização de dietas com 0,00%, 2,50%, 3,75%, e 5,00% de um aglutinante à base de lignosulfonato no sistema digestivo de frangos de corte e no desempenho geral das aves, PROUDFOOT & DEWITT (1976) relataram que após uma semana de tratamento, exames de necropsia não indicaram diferenças entre o tratamento controle e os demais. Com duas semanas, as aves tratadas com 5,00%, apresentaram escurecimento do ceco e a partir da quarta semana todos os tratamentos com o aglutinante apresentaram escurecimento do ceco. Não houve diferenças significativas para mortalidade, peso corporal, conversão alimentar e ganho financeiro entre os tratamentos com lignosulfonato.

PROUDFOOT & HULAN (1979) trabalharam com 0,0%, 1,0%, 1,5% e 2,0% de inclusão de lignosulfonato na dieta de frangos de corte e chegaram a resultados semelhantes aos de PROUDFOOT & DEWITT (1976). Relataram também, que a utilização de um valor superior a 1,5% do aglutinante na ração desta espécie animal, não traz prejuízo para a saúde das aves e tão pouco financeiro.

Trabalhando com um aditivo nutritivo e aglomerante, contendo 18% de proteína bruta, 40% de carboidratos, 15% de sal e com energia metabolizável de 10,96 MJ/kg de matéria seca, PROUDFOOT & HULAN (1980) concluíram que o composto não trazia problemas à saúde das aves. Porém, mostrou-se com menor rentabilidade financeira, quando comparada a não utilização do produto.

Na utilização em peletização de rações para aves, o lignosulfonato de cálcio tem demonstrado bons resultados. ACAR et al. (1991) adicionaram 1,25 % de lignosulfonato de cálcio em rações peletizadas para frangos de corte e quando as rações com e sem o aglutinante foram comparadas quanto à porcentagem de peletes intactos, a com aglutinante obteve aumento de 56%.

Em estudo feito por ROBERSON (2003), analisando o efeito da textura da ração oferecida a perus sobre o desempenho de crescimento e a umidade da cama, foram utilizadas 4 dietas, sendo uma delas peletizada e com a adição de 0,5% de lignosulfonato como aglutinante.

Neste trabalho, o autor não encontrou diferenças entre os índices de durabilidade dos peletes, quando comparadas dietas com e sem o aditivo, como ACAR et al. (1991) relataram.

SIBBALD & WOLYNETZ (1989) estimaram o valor de energia metabolizável real do lignosulfonato de cálcio em $4,90 \pm 0,52$ MJ/kg da matéria seca, metade do valor de energia metabolizável aparente demonstrado por Morrison et al. (1968).

3.6. Resistência mecânica de materiais biológicos

Segundo MOHSENIN (1986), na busca por melhores respostas na determinação das propriedades mecânicas de materiais biológicos, é comum empregar técnicas utilizadas para materiais não biológicos bem comportados.

Os produtos destinados à alimentação animal comumente são caracterizados utilizando parâmetros como dureza e durabilidade, associadas à relação de forças dinâmicas causadas, por exemplo, por atrito e compressão quando transportados. Segundo THOMAS et al. (1996), trabalhando com qualidade de peletes, o atrito é composto por abrasão e fragmentação. O primeiro envolve fraturas das partes não uniformes da superfície dos corpos e o segundo, fracionamento do corpo e partes menores.

A dureza é determinada pela força necessária para causar fragmentação, podendo ser através da tensão, impacto ou compressão, sendo esta, considerada por THOMAS et al. (1996), como mais importante. Knacke & Pohl (citados por THOMAS, 1996) trabalhando com argila, apontaram a influencia da tensão superficial na dureza, pois a permeabilidade alterou o preenchimento dos poros por água, e quanto mais ocupados maior a dureza.

THOMAS et al. (1996), apresentaram alguns métodos utilizados para medir dureza, como, por exemplo, o método de Kahl, muito difundido na indústria, que consiste em posicionar a amostra entre duas barras e com o aumento da pressão estática aplicada por mola, determina-se a força necessária para a ruptura da amostra (Figura 3). A média de dez repetições é referida como “dureza-Kahl”.

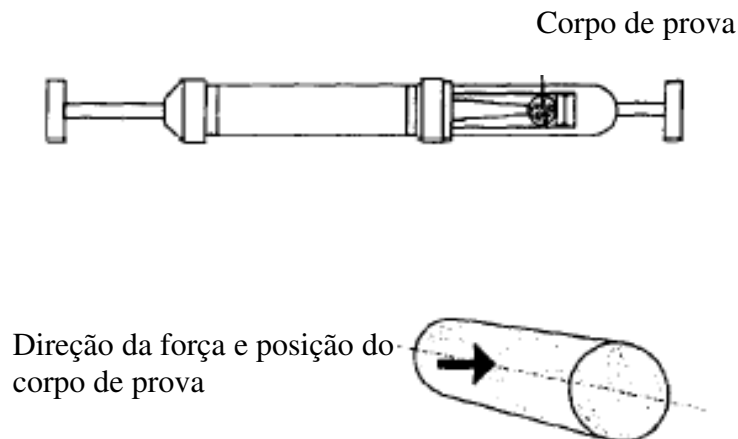


Figura 3: Ilustração de equipamento para ensaios de “dureza-Kahl”. Adaptado de THOMAS et al. (1996).

Outro equipamento citado pelos autores é o pêndulo, que mede a resistência ao impacto causado por um martelo preso a um pêndulo e, com a quantidade de energia utilizada para quebrar o pelete pode-se inferir a respeito da dureza (Figura 4).

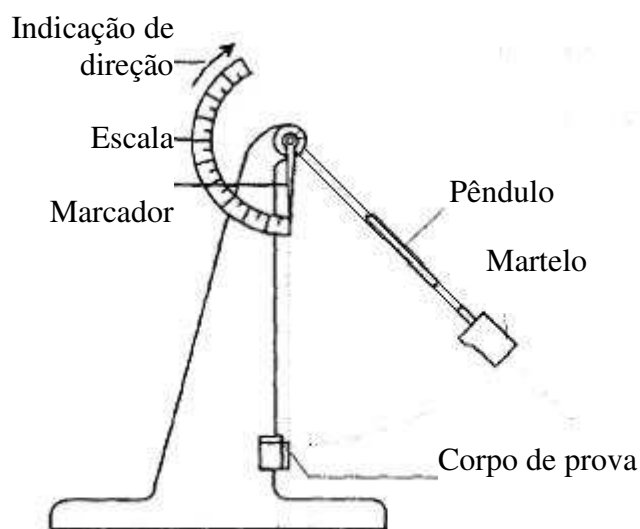


Figura 4: Ilustração de equipamento “Pêndulo” utilizado para ensaios de dureza. Adaptado de THOMAS et al. (1996).

Um equipamento que pode utilizar tanto compressão quanto tração, é a prensa universal. A maior vantagem deste equipamento é a sensibilidade que torna possível a utilização para muitos testes empregados em engenharia de alimentos e para alimentação animal como compressões e trações uniaxiais. O equipamento consiste em um prato fixo contendo uma célula de carga e um cabeçote móvel com movimento vertical à velocidade constante estabelecida (Figura 5).

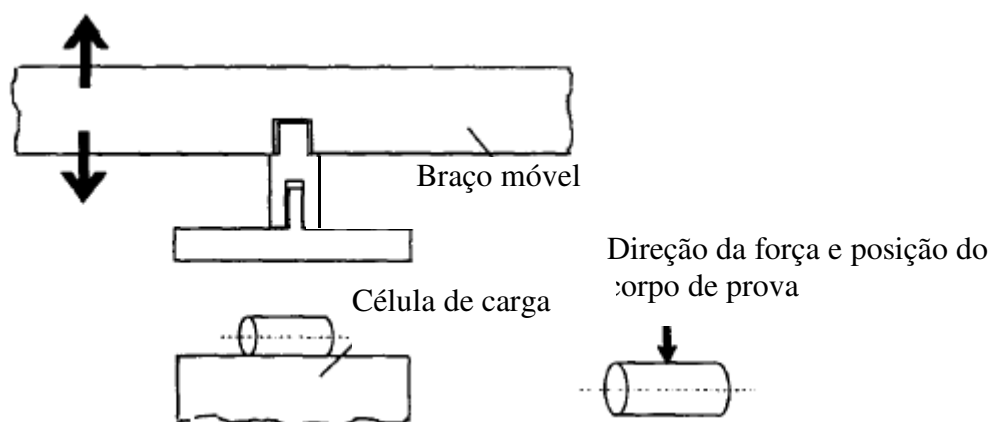


Figura 5: Ilustração de ensaio de compressão diametral com prensa universal. Adaptado de THOMAS et al. (1996).

O teste de Kramer é uma opção para realizar testes não unitários envolvendo interações entre os corpos de prova e adquirir valores de força de cisalhamento. O equipamento consiste em um braço hidráulico no qual ficam presas lâminas (Figura 6). O material a ser testado é colocado em um recipiente, denominado célula de Kramer, e as lâminas são forçadas pelas amostras.

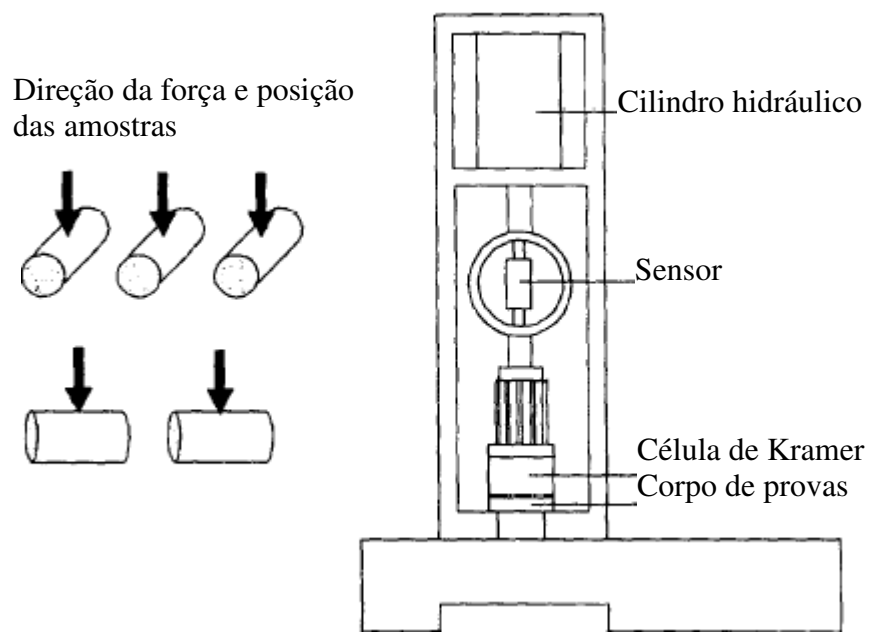


Figura 6: Ilustração de ensaio com equipamento de Kramer. Adaptado de THOMAS et al. (1996).

A durabilidade é outro parâmetro de qualidade física utilizado, principalmente, para a avaliação de produtos peletizados. Os equipamentos medem a quantidade de finos produzida sob condições padronizadas. Com movimentação forçada dos peletes mecanicamente ou pneumaticamente, o choque entre o produto e paredes do equipamento e entre os produtos, propiciam condições para avaliar os efeitos da abrasão e cisalhamento, por exemplo, durante o transporte. Entre os testes mais utilizados estão o “tumbling” e Holmen, apresentados nas Figuras 7 e 8.

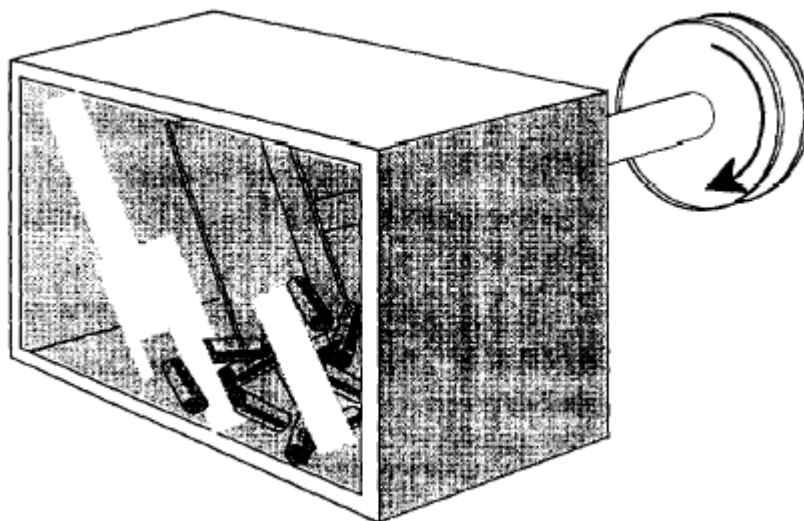


Figura 7: Ilustração de equipamento para ensaios de durabilidade – “tumbling”. Adaptado de THOMAS et al. (1996).

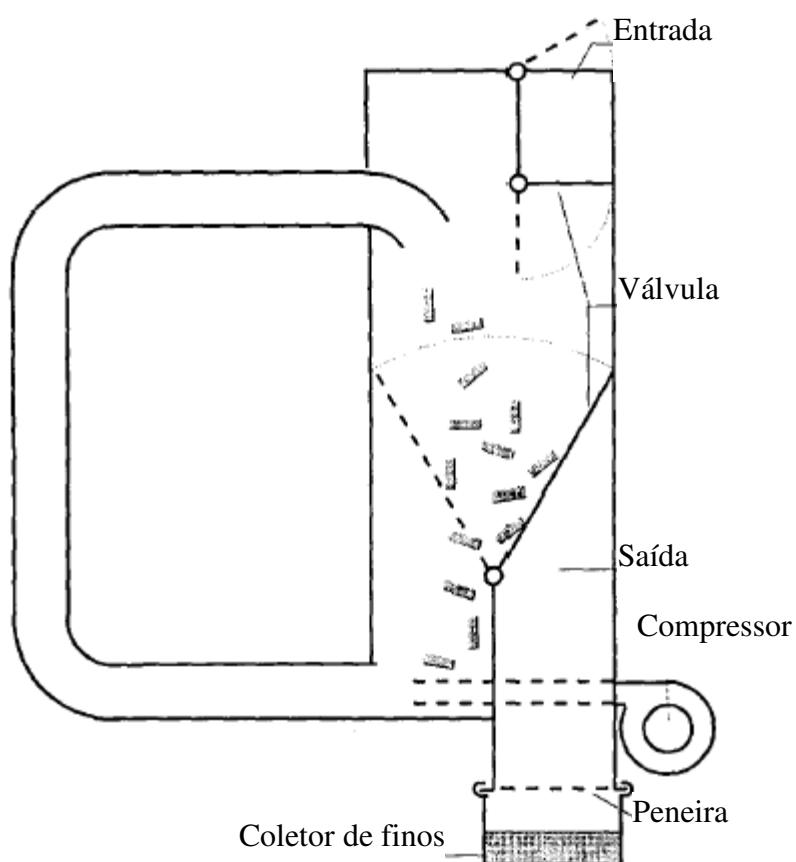


Figura 8: Ilustração de equipamento para ensaios de durabilidade – Holmen. Adaptado de THOMAS et al. (1996).

4. Material e Métodos

4.1. Local de execução

O processamento e análise de composição centesimal foram realizados nas instalações de uma empresa alimentação animal, localizada no município de Pitangueiras, SP.

As demais análises foram realizadas em laboratórios pertencentes à Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) e à Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas, SP. Laboratório de Tecnologia Pós-Colheita e Laboratório de Propriedades Mecânicas dos Materiais Biológicos (FEAGRI) e Laboratório de Tecnologia de Cereais, Raízes e Tubérculos (FEA).

4.2. Matéria Prima

Foram utilizadas duas formulações balanceadas, aqui denominadas 1 e 2, sendo a primeira de manutenção para cães adultos e a segunda de crescimento para filhotes de cães. Os experimentos e avaliações foram realizados com a formulação 1, exceto o ensaio de avaliação do consumo de energia elétrica que foi realizado com a formulação 2. As Tabelas 3, 4 e 5 mostram os componentes das formulações e os níveis de garantia das formulações 1 e 2, respectivamente.

Tabela 3: Componentes da formulação 1, em percentual.

<i>Formulação 1</i>	<i>%</i>
MILHO	10
SORGO	20
FARELO CASCA DE ARROZ	0,5
CALCARIO	0,4
FARELO DE TRIGO	45
FARINHA DE CARNE	19
CAULIM AMARELO	1,5
ÓLEO DE FRANGO	2,0
SAL COMUM	0,5
HIDROLISADO DE FÍGADO	0,1
ADITIVOS + SUPLEMENTO MINERAL E VITAMÍNICO	1,0

Tabela 4: Componentes da formulação 2, em percentual.

<i>Formulação 2</i>	<i>%</i>
MILHO	24
CALCARIO	1.4
FARELO DE TRIGO	29
FARINHA DE CARNE 45%	9.0
FARINHA DE PENAS	3.0
FARELO DE SOJA 45%	20
ÓLEO DE FRANGO	2.0
LEVEDURA DE CERVEJA	0.5
SAL COMUM	1.0
FARINHA DE VÍSCERAS DE AVES	5.0
PLASMA SANGUÍNEO	0.1
LACTOSE 99%	0.8
BOVILAC/LEITEMIX	1.2
HIDROLISADO DE FÍGADO	2.0
ADITIVOS + SUPLEMENTO MINERAL E VITAMÍNICO	1.0

Tabela 5: Níveis de garantia para a formulação 1 e 2, em percentual.

<i>Nutrientes</i>	<i>Limite</i>	<i>Formulação 1</i>	<i>Formulação 2</i>
Umidade	Máx. (%)	12,00	12,00
Proteína Bruta	Mín. (%)	18,00	25,00
Extrato Etéreo	Mín. (%)	4,50	7,00
Fibra Bruta	Máx. (%)	6,59	5,00
Cálcio	Máx. (%)	2,50	2,00
Fósforo	Mín. (%)	0,45	0,90

Como aglutinante foi utilizado o lignosulfonato de cálcio e magnésio. A Tabela 6 apresenta os níveis de garantia do produto.

Tabela 6: Níveis de garantia do produto aglutinante.

<i>Nutrientes</i>	
Açúcares redutores totais	22%
Cálcio (máximo)	2,4%
Energia metabolizável	2.280kcal
Magnésio (máximo)	2,2%
Matéria mineral (a 800°C) máximo	10%
Nutrientes digestíveis totais (N.D.T.)	63%
Umidade (máximo)	8%

4.3. Tratamentos

Os tratamentos consistem na variação, em peso, da concentração de lignosulfonato de cálcio e magnésio para as diferentes formulações sujeitadas aos processos de extrusão e secagem, os quais tiveram seus parâmetros fixados.

Utilizando as formulações 1 e 2, a variação, em peso, da concentração de lignosulfonato de cálcio e magnésio formou os seguintes tratamentos:

- Tratamento 1 (T1): Sem lignosulfonato de cálcio e magnésio (controle);
- Tratamento 2 (T2): 0,5% de lignosulfonato de cálcio e magnésio;
- Tratamento 3 (T3): 1,0% de lignosulfonato de cálcio e magnésio;
- Tratamento 4 (T4): 1,5% de lignosulfonato de cálcio e magnésio;
- Tratamento 5 (T5): 2,0% de lignosulfonato de cálcio e magnésio.

Para a formulação 2 foi adicionado o tratamento 6 (T6), com a concentração de 4,0% de lignosulfonato de cálcio e magnésio.

A opção por estes valores foi baseada na recomendação de utilização do aditivo como valor máximo, permitido pelo U. S. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (FDA), de 4% de inclusão de lignosulfonato de cálcio e magnésio.

4.4. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o para mistura de dois componentes (BARROS NETO, 2003), sendo o primeiro a concentração de lignosulfonato de cálcio e magnésio e o segundo os demais ingredientes, considerados variáveis dependentes.

Para a formulação 1, foram realizadas 4 repetições por tratamento, totalizando 20 misturas de material a extrudar, sendo a ordem do processamento totalmente casualizada (Tabela 7). Para a formulação 2 foram processados tratamentos uma única vez tendo a seguinte ordem: tratamentos 2, 3, 4, 5, 6 e 1.

Os diversos tratamentos (0,0, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 e 4,0% de lignosulfonato de cálcio e magnésio) foram comparados através da análise de variância e comparação de médias com o auxílio da versão 4.1 do software de análises estatísticas STATGRAPHICS Plus for Windows.

Tabela 7: Sequência de processamento da formulação 1 com os números das misturas e seus respectivos tratamentos.

Mistura	Tratamento (% de lignosulfonato)	Mistura	Tratamento (% de lignosulfonato)
1	1,0	11	0,0
2	2,0	12	2,0
3	0,0	13	1,0
4	0,0	14	1,5
5	1,0	15	1,5
6	2,0	16	0,5
7	1,0	17	0,0
8	1,5	18	0,5
9	0,5	19	1,5
10	0,5	20	2,0

4.5. Processamento

Na formulação 1, foram incluídos 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0% (além do tratamento controle – sem o aditivo), em peso, de lignosulfonato de cálcio e magnésio, na forma sólida e misturados em misturador horizontal de eixo helicoidal por 5 minutos. Após a mistura o material foi extrudado utilizando-se extrusora (FERRAZ, modelo E-200 com motor de 200cv) de parafuso simples, com capacidade nominal de 6,5 toneladas por hora, seguido de secagem em secador horizontal de esteira por 22 minutos a 140°C.

Para o processamento da formulação 2 foram utilizados os mesmos equipamentos, tratamentos e condições de secagem, com a inclusão do tratamento 6 (4,0% de lignosulfonato de cálcio e magnésio). Em ambos, os processamentos foram contínuos sem interrupção entre as misturas.

As estimativas de tempo de processamento foram realizadas através da visualização do nível da mistura no silo de alimentação da extrusora, quando este estava quase vazio, com aproximadamente 200 kg da mistura. Nesse nível ocorria a liberação da mistura seguinte, enchendo o silo novamente. Como foram necessários, a partir desse instante, 3,5 minutos até que a antiga mistura se esgotasse. Esse tempo foi computado para o cálculo do tempo estimado.

4.6. Consumo de energia elétrica na extrusora

A extrusão em uma fábrica de ração é o processo que consome maior quantidade de energia elétrica. Dentro do processo de extrusão, o consumo elevado que se destaca é o do motor da extrusora, pois são utilizados motores que variam de 100 a 300cv de potência.

Utilizando um medidor registrador eletrônico de parâmetros elétricos trifásicos, com memória de massa (ESB, modelo SAGA 4000, Figura 9), ligado ao painel elétrico do motor da extrusora, a obtenção dos dados foi automática, em intervalos de 15 segundos, registrando-se o consumo de energia elétrica e gasto de potência. Foram medidos os tempos aparentes (processamento contínuo) usados para o processamento de cada tratamento.



Figura 9: Medidor registrador eletrônico de parâmetros elétricos trifásicos com memória de massa marca ESB, modelo SAGA 4000.

Para este experimento foi utilizada a formulação 2 com os tratamentos 1, 2, 3, 4, 5 e 6 e analisadas as médias de potência utilizadas, consumo de energia elétrica e tempo aparente de produção para identificar possíveis alterações destes parâmetros.

4.7. Amostragem

Para a formulação 1 foram extraídas 4 amostras por repetição, sendo as coletas realizadas na saída do pré-condicionador, na saída da extrusora e na saída do secador. As coletas foram realizadas aos 7, 14, 21 e 28 minutos de produção e secagem. Estas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos impermeáveis e transportadas à Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp e armazenadas em câmara fria à 17°C. Para realizar as avaliações do extrudado após a secagem as 4 amostras de cada repetição foram misturadas para constituírem uma única amostra homogeneizada.

Com a formulação 2 foram extraídas 3 amostras por repetição na saída do pré-condicionador, na saída da extrusora e na saída do secador. As coletas foram realizadas aos 10, 20 e 30 minutos de produção e secagem. Semelhantemente às amostras da formulação 1, estas foram acondicionadas em sacos plásticos impermeáveis, transportadas à Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp, armazenadas em câmara fria à 17°C e homogeneizadas para a realização das avaliações.

4.8. Umidade da mistura no pré-condicionador

A determinação do teor de água foi realizada em estufa a 105°C até obtenção de massa constante, segundo método número 02 do COMPÊNDIO BRASILEIRO DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL (1998).

4.9. Avaliação dos efeitos dos tratamentos

Avaliação dos efeitos da adição de diferentes concentrações de lignosulfonato de cálcio e magnésio à formulação 1 foi realizada através da análise da composição e da resistência mecânica dos extrudados.

4.9.1. Efeitos na composição dos extrudados

Os efeitos na composição dos extrudados foram avaliados através das seguintes análises: composição centesimal; índices de absorção de água (IAA) e de solubilidade em água (ISA) e índice de expansão.

4.9.1.1. Composição centesimal

4.9.1.1.1. Umidade

A determinação do teor de água foi realizada em estufa a 105°C até obtenção de massa constante, segundo método número 02 do COMPÊNDIO BRASILEIRO DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL (1998). Foram realizadas análises de produtos amostrados no pré-condicionador, na saída da extrusora, na saída do secador e das amostras utilizadas para os testes de índice de absorção de água e índice de solubilidade em água.

4.9.1.1.2. Proteína bruta

A determinação da fração protéica foi realizada pelo método Kjeldahl, conforme método número 04 do COMPÊNDIO BRASILEIRO DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL (1998). Os resultados são expressos em gramas de proteína por 100 gramas de amostra, empregando-se como fator de conversão de nitrogênio o valor de 6,25. Esta análise foi realizada para as amostras retiradas na saída do secador.

4.9.1.1.3. Matéria fibrosa

A determinação do teor de matéria fibrosa das amostras foi realizada através do método número 11 descrito no COMPÊNDIO BRASILEIRO DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL (1998), para produtos ou subprodutos de origem vegetal, rações e concentrados. Esta análise foi realizada para as amostras retiradas na saída do secador.

4.9.1.1.4. Extrato etéreo

A determinação de extrato etéreo foi realizada através de hidrólise ácida, de acordo com o método número 52 descrito no COMPÊNDIO BRASILEIRO DE ALIMENTAÇÃO

ANIMAL (1998), para produtos ou subprodutos extrudados, lácteos e outros que exijam este tipo de análise devido ao sistema de processamento empregado. Esta análise foi realizada para as amostras retiradas na saída do secador.

4.9.1.1.5. Material Mineral

A determinação deste parâmetro para as amostras foi realizada através do método número 12 descrito pelo COMPÊNDIO BRASILEIRO DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL (1998), para produtos ou subprodutos de origem animal, vegetal e mineral, rações e concentrados. Esta análise foi realizada para as amostras retiradas na saída do secador.

4.9.1.2. Índice de Absorção de Água (IAA) e Índice de Solubilidade em Água (ISA)

Os índices de absorção de água e de solubilidade em água foram calculados de acordo com o método adaptado de ANDERSON et al (1969). As amostras retiradas na saída do secador foram moídas em moinho de martelos (MARCONI, modelo 090) e peneiradas (PRODUTEST modelo “T”) utilizando peneira (Granutest®) com 0,250mm de abertura, por 5 minutos.

Após pesar 2,5g do produto em balança analítica (METTLER TOLEDO, modelo AB204), colocado em tubos de 50ml de centrífuga, previamente pesados (METTLER TOLEDO, modelo AB 3002-S) foram adicionados 30ml de água destilada, mantidos por 30 minutos a 30°C e agitadas a cada 3 minutos.

Depois deste período foram centrifugadas (FANEM, modelo 204-NR) por 15 minutos a 2400RPM, pipetados 10ml do sobrenadante e colocados em placas de alumínio previamente taradas que foram para a estufa com circulação e renovação de ar (TECNAL, modelo TE-394/2) a 105°C até constatar peso constante. O resíduo de centrifugação foi pesado, assim como o resíduo de evaporação. Os índices foram calculados através das seguintes fórmulas adaptadas de ANDERSON (1969):

$$IAA = \frac{\text{Peso de resíduo de centrifugação (g)}}{\text{Peso da amostra (base seca) (g)} - \text{Peso do resíduo de evaporação (g)} \times 3}$$

$$ISA = \frac{\text{Peso de resíduo de evaporação (g)} \times 3}{\text{Peso da amostra (base seca) (g)}} \times 100$$

4.9.1.3. Índice de expansão

Com a utilização de um paquímetro, foram medidos três diâmetros (o maior, o menor e um intermediário) e calculado o valor médio para cada um dos 25 extrudados, por tratamento.

Os valores do índice de expansão foram calculados para extrudados que passaram pelo processo de secagem através da relação:

$$\text{Índice de Expansão} = \frac{\text{Diâmetro do extrudado}}{\text{Diâmetro interno do orifício da matriz}}$$

4.9.2. Efeitos na resistência mecânica dos extrudados

Os efeitos na resistência mecânica dos extrudados foram avaliados através de três ensaios: penetração; compressão entre pratos planos rígidos e paralelos; e durabilidade.

4.9.2.1. Penetração

Para definir a ponteira a utilizar, dentre as disponíveis, foram realizados preliminares com ponteiros de 1,30, 1,40, 2,00, 2,10 e 2,65mm de diâmetro. Foi escolhida a de 1,30mm (Figura 10) por possuir um diâmetro menor, pois reduziu a influência do tamanho do diâmetro da ponteira em relação extrudado.

O valor de deformação específica adotado foi definido após a realização de ensaios preliminares que mostraram ser possível aplicar uma deformação de até 55% sem romper o extrudado. Para evitar os efeitos de esmagamento foi adotado o valor de 30% de deformação específica como limite máximo de deformação para se avaliar a resistência.

Os ensaios foram realizados com extrudados retirados na saída do secador, com o emprego de prensa universal ou texturômetro (“Texture Analyser”, LLOYD INSTRUMENTS LTD, modelo TA 500) (Figura 11) equipado com software de aquisição de dados (NEXYGEN 3.0). Foi utilizada célula de carga com capacidade máxima de 500N. Os ensaios foram

realizados à taxa de deformação de 0,6mm/s, utilizando-se 25 unidades do extrudado, por repetição para cada tratamento, através da penetração na região central de cada unidade, na posição mais estável. Com a ponteira posicionada sobre o extrudado, porém sem pressioná-lo, foi inserido no software o valor da altura de cada extrudado e se realizou a penetração até o valor de 30% desta. Foram gerados gráficos de força-deformação e analisados os valores médios dos índices de resistência *energia de deformação* até a penetração de 30% e *rigidez aparente*.

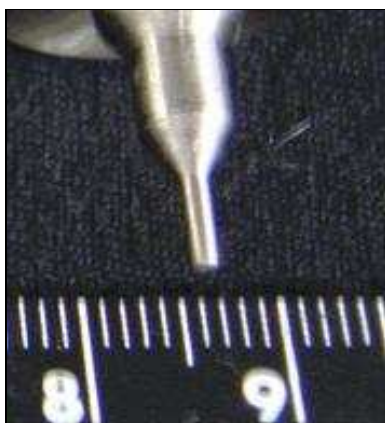


Figura 10: Ponteira de 1,30 mm de diâmetro utilizada nos ensaios de penetração dos extrudados.



Figura 11: Prensa universal ou texturômetro, “Texture Analyser”, da marca LLOYD INSTRUMENTS LTD, modelo TA 500.

4.9.2.2. Compressão entre pratos planos rígidos e paralelos

Ensaio realizado para as amostras retiradas na saída do secador, com o emprego de prensa universal ou texturômetro (“Texturure Analyser”, LLOYD INSTRUMENTS LTD, modelo TA 500) equipado com “software” de aquisição de dados (NEXYGEN 3.0) e célula de carga de 500N.

Com auxílio de um paquímetro, três valores de diâmetros (o maior, o menor e um intermediário) e a altura do extrudado foram medidos. O extrudado foi colocado sobre um prato rígido e plano. Foi posicionado outro prato rígido e plano, paralelo ao primeiro, até tocar a superfície dos espécimes sem pressioná-los. O valor da altura de cada extrudado foi inserido no “software”. O extrudado foi comprimido à taxa de deformação de 0,6mm/s, utilizando-se 25 unidades, por repetição, até 30% de deformação específica, gerando o gráfico de força-deformação. Foram comparados os valores médios do índice de resistência, *energia total* e *rigidez aparente* até a deformação específica de 30 % obtidas em cada tratamento. A Figura 12 ilustra o ensaio realizado.



Figura 12: Ilustração do ensaio de compressão entre pratos planos rígidos e paralelos.

4.9.2.3. Durabilidade

A realização de ensaios de durabilidade para produtos extrudados não é uma prática difundida entre as empresas de alimentos para animais, as quais utilizam o teste para produtos peletizados que são mais frágeis, sendo um desafio manter a integridade do pelete, pois isto afeta a produtividade dos animais. A extrusão promove melhor formatação e agregação das partículas do que a peletização, por utilizar granulometria menor e mais homogênea e, também, por utilizar pressões mais elevadas e maior quantidade de calor. Por este motivo não é comum encontrar experimentos que avaliam durabilidade em materiais extrudados, diferentemente do que ocorre com produtos peletizados.

Segundo Pfof (citado por THOMAS et al., 1996), a durabilidade é representada pela quantidade de finos produzida por um material submetido à agitação pneumática ou mecânica sob condições padronizadas.

A determinação da durabilidade foi realizada para as amostras retiradas na saída do secador. Esta análise mostra o comportamento do produto após sua manipulação mecânica e foi realizada pelo método da ASAE Standard (1994): ASAE S269.4.

As amostras foram colocadas na caixa metálica, que foi acoplada à castanha do torno (Nardini, modelo Nodus) e rotacionada por 10 minutos a 50 RPM. Após este período, as amostras foram retiradas da caixa e peneiradas novamente por 5 minutos (PRODUTEST, modelo “T”, com peneira Granutest® de 9,52 mm de abertura). Ao final desta etapa foram pesados os extrudados restantes na peneira, dividindo este valor pelo valor inicial de aproximadamente 500g e multiplicado por 100 para expressar o resultado em percentagem.

Foram ensaiadas 4 amostras de 500g, por tratamento, previamente peneiradas por 5 minutos (PRODUTEST, modelo “T”), com peneira (Granutest®) de 9,52 mm de abertura, para retirada da camada de finos que recobria as amostras.

Para realizar este ensaio, a caixa metálica utilizada foi projetada e construída nos padrões existentes na norma acima citada, como ilustra a Figura 13.

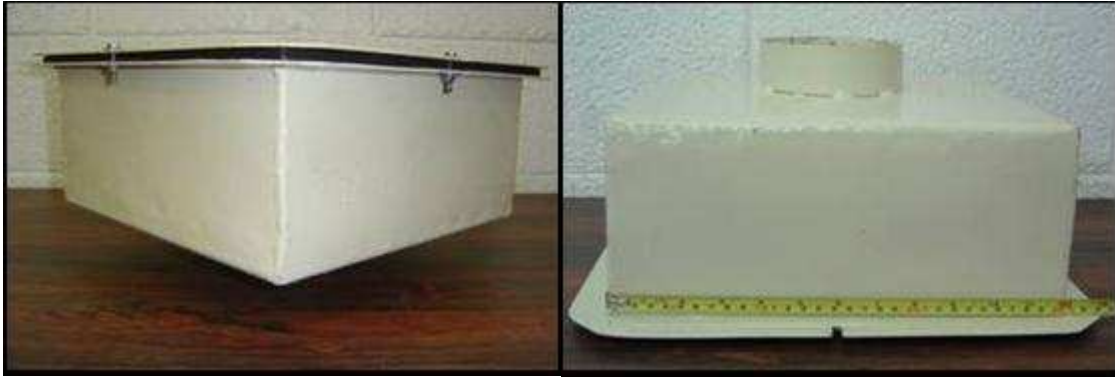


Figura 13: Caixa metálica utilizada para os ensaios de durabilidade.

5. Resultados e Discussão

O processamento da formulação 1 foi realizado nos dias 20 e 21 de outubro de 2004 e o da formulação 2 em 28 de dezembro de 2004 em Pitangueiras, SP.

Para os processamentos foram adotados os parâmetros utilizados pela indústria: Granulometria: 1,2mm; Velocidade da rosca: 280 RPM; Diâmetro da matriz: 10 mm; Diâmetro da rosca de 200 mm, Comprimento da rosca de 3300 mm; Temperaturas de condicionamento e zonas de alimentação, cozimento e formatação em 90°C; Fluxo de alimentação contínuo. Para a formulação 2 foram utilizados os mesmos valores dos parâmetros fixados para a formulação 1, mudando apenas a granulometria para 1,0mm.

5.1. Característica da mistura

5.1.1. Umidade da mistura no pré-condicionador

O valor médio geral de umidade entre os tratamentos foi de 25,97%, muito próximo do valor de 26% pretendido para a mistura no pré-condicionador. A Tabela 8 apresenta os valores médios de umidade da mistura na saída do pré-condicionador, por tratamento, assim como seus respectivos desvios padrões e coeficientes de variação.

Tabela 8: Valores médios das umidades das misturas na saída do pré-condicionador, para formulação 1, com desvios padrões e coeficientes de variação, para cada tratamento.

	Tratamento				
	1	2	3	4	5
Média (%)	25,99	26,22	25,59	26,25	25,84
D.P. (%)	0,7123	0,6860	0,8245	0,6066	0,6660
c.v. (%)	2,74	2,62	3,23	2,31	2,58

A Figura 14 mostra os valores médios de umidade (b.u.) da massa no pré-condicionador e os limites superiores e inferiores calculados pelo teste “Least Significant

Difference” (LSD). Estes limites são dados a partir da diferença média entre as médias, sendo este valor, somado e subtraído do valor médio.

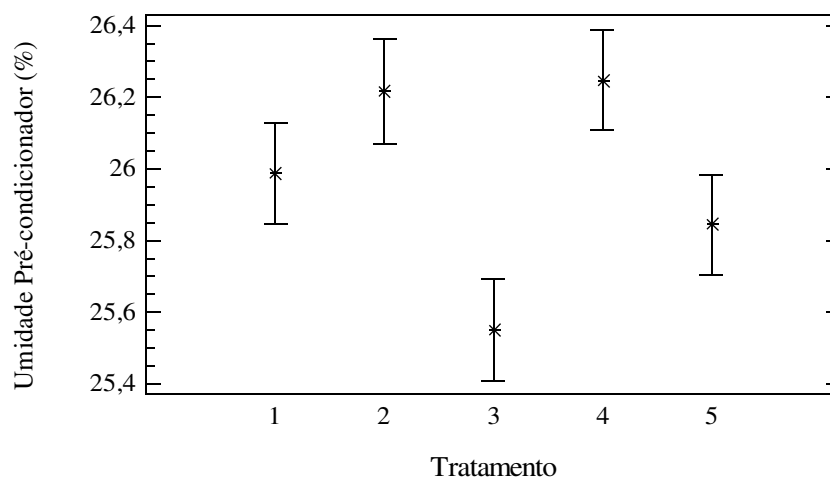


Figura 14: Valores médios de umidade (b.u.) da massa no pré-condicionador e os limites superiores e inferiores calculados pelo teste “Least Significant Difference” (LSD).

A análise de variância (ANOVA) ($p < 0,05$) diferenciou estatisticamente os tratamentos. Com a aplicação do teste LSD ($p < 0,05$) foi possível verificar que três tratamentos são significativamente diferentes, T3, T4 e T5. Porém, a maior diferença entre os valores médios dos tratamentos, 0,70%, é muito pequena relativamente à quantidade de mistura processada (40.000kg) a ao tempo de processamento de 11 horas.

5.2. Avaliação dos efeitos da inclusão de lignosulfonato de cálcio e magnésio nos extrudados

5.2.1. Composição centesimal para a Formulação 1

Os valores médios obtidos nas análises de composição centesimal, referentes aos tratamentos T1 a T5, estão apresentados na Tabela 9. Estão contidos nesta tabela, os valores médios referentes a 4 repetições por tratamento, seus desvios padrões e coeficientes de

variação. São apresentadas, também, as médias gerais entre os tratamentos e seus respectivos desvios padrões.

Nota-se que os resultados das análises de extrato etéreo e matéria fibrosa apresentaram grande variabilidade. Esta foi evidenciada pelos valores médios obtidos de coeficientes de variação, que variaram, para extrato etéreo, de 0,0816 a 0,3113 entre os tratamentos T5 e T4, respectivamente e, para matéria fibrosa, de 0,0936 (tratamentos T4 e T5) a 0,3083 (T2).

Os resultados, para matéria fibrosa, apontam para o aumento dos valores médios deste nutriente, com a elevação da concentração de lignosulfonato de cálcio e magnésio na mistura.

Os valores médios e desvios padrões obtidos entre os tratamentos nas análises de composição centesimal apresentaram pouca variabilidade, indicando que a realização das repetições para cada tratamento, amenizou as diferenças pelo uso dos valores médios.

Tabela 9: Valores médios das análises de composição centesimal, para formulação 1, com médias, desvios padrões e coeficientes de variação, para cada tratamento.

Tratamento	Índice	Extrato Etéreo (%)	Proteína Bruta (%)	Matéria Fibrosa (%)	Matéria Mineral (%)	Cálcio (%)	Fósforo (%)	Umidade (%)
1	Média	2,94	18,77	6,20	11,00	2,49	1,52	9,33
	D.P.	0,5543	0,3400	1,4787	0,7071	0,0346	0,1307	0,9106
	c.v.	0,1887	0,0181	0,2385	0,0643	0,0139	0,0862	0,0976
2	Média	2,88	18,53	8,50	10,88	2,51	1,50	9,95
	D.P.	0,8292	0,8660	2,6204	1,3150	0,0082	0,2161	0,1732
	c.v.	0,2884	0,0467	0,3083	0,1209	0,0033	0,1445	0,0174
3	Média	2,81	19,03	6,70	11,63	2,47	1,44	9,98
	D.P.	0,7181	0,4265	0,9452	0,7500	0,0476	0,1554	0,9777
	c.v.	0,2553	0,0224	0,1411	0,0645	0,0193	0,1078	0,0980
4	Média	2,13	18,69	7,40	11,25	2,40	1,33	10,20
	D.P.	0,6614	0,1750	0,6928	1,4434	0,1417	0,2622	0,5354
	c.v.	0,3113	0,0094	0,0936	0,1283	0,0590	0,1968	0,0525
5	Média	2,50	18,61	7,40	11,13	2,47	1,56	9,75
	D.P.	0,2041	1,0941	0,6928	1,6520	0,0486	0,2074	0,7047
	c.v.	0,0816	0,0588	0,0936	0,1485	0,0196	0,1329	0,0723
Média		2,65	18,73	7,24	11,18	2,47	1,47	9,84
D.P.		0,3383	0,1929	0,8678	0,2878	0,0415	0,0875	0,3291

Com isso, não houve diferenças estatísticas ao nível de 95% de confiança ($p < 0,05$), com exceção de matéria fibrosa e cálcio as quais não foram significativas pela análise de

variância (ANOVA), porém ao utilizar o teste “Least Significant Difference”, foram constatadas diferenças entre os tratamentos T1 e T2.

Apresentando média geral de 2,65%, desvio padrão de 0,3383% e coeficiente de variação de 0,1277, não foram atingidas as especificações dos níveis de garantia para extrato etéreo, pois os produtos analisados não passaram pelo processo de engorduramento após a secagem, o qual fornece os valores finais de extrato etéreo para a formulação.

Com média geral de 7,24%, desvio padrão de 0,8678% e coeficiente de variação de 0,1199, verificou-se a elevação dos níveis de matéria fibrosa com a adição do lignosulfonato de cálcio e magnésio.

5.2.2 Composição centesimal para a Formulação 2

Os valores obtidos nas análises de composição centesimal, referentes aos tratamentos de T1 a T6, estão apresentados na Tabela 10, a qual mostra os valores obtidos por tratamento, seus desvios padrões, coeficientes de variação e, também, as médias gerais entre os tratamentos e seus respectivos desvios padrões.

A variabilidade apresentada foi pequena entre os valores, comprovada pelos valores dos coeficientes de variação, apesar da realização de uma repetição por tratamento.

Os valores obtidos para matéria fibrosa, estavam acima do valor máximo de 5,00% contido nos níveis de garantia, sugerindo a tendência de aumentar com a inclusão de concentrações maiores de lignosulfonato de cálcio e magnésio, reafirmando os resultados obtidos para a formulação 1.

Assim como com as análises realizadas para a formulação 1, os valores de extrato etéreo não atingiram o nível inferior estabelecido de 7,00%, pois os extrudados não passaram pelo processo de engorduramento após a secagem.

Todos os demais nutrientes analisados estiveram dentro dos padrões anteriormente estabelecidos para a formulação 2.

Tabela 10: Valores médios de cada tratamento, em percentagem, das análises de composições centesimais para a formulação 2.

Tratamento	Extrato Etéreo (%)	Proteína Bruta (%)	Matéria Fibrosa (%)	Matéria Mineral (%)	Cálcio (%)	Fósforo (%)	Umidade (%)	N.D.T. (%)
1	2,50	26,33	5,20	10,00	2,00	1,22	6,80	79,34
2	3,00	25,82	5,20	8,50	1,92	1,15	6,10	80,73
3	2,75	26,49	5,60	8,50	2,00	0,97	6,60	79,81
4	2,50	26,00	5,60	10,00	2,00	1,08	7,30	78,85
5	2,50	26,66	5,60	9,50	2,00	1,03	6,60	79,14
6	2,50	26,15	6,00	8,50	1,98	0,99	6,30	79,08
Média	2,65	26,22	5,60	9,00	1,98	1,04	6,58	79,52
D.P.	0,2236	0,3463	0,2828	0,7071	0,0346	0,0727	0,4550	0,7640
c.v.	0,0844	0,0132	0,0505	0,0786	0,0175	0,0696	0,0691	0,0096

Verificou-se, assim, que a inclusão de lignosulfonato de cálcio e magnésio não afetou a composição centesimal do extrudado, com exceção da matéria fibrosa.

5.2.3. Índice de Absorção de Água (IAA)

O valor médio obtido para o índice de absorção de água (IAA) entre os tratamentos, foi de 7,72. O valor médio de cada tratamento, assim como seus desvios padrões e coeficientes de variações são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Valores médios de índice de absorção de água (IAA), para formulação 1, com desvios padrões e coeficientes de variação, para cada tratamento.

	Tratamento				
	1	2	3	4	5
Média	7,64	7,48	7,92	7,79	7,78
D.P.	0,4287	0,2188	0,2343	0,1743	0,2992
c.v. (%)	5,61	2,93	2,96	2,24	3,84

Os valores médios dos índices, os níveis superiores e inferiores calculados pela diferença média das médias obtidas pelo teste “Least Significant Difference” (LSD), para os diferentes tratamentos, são mostrados na Figura 15.

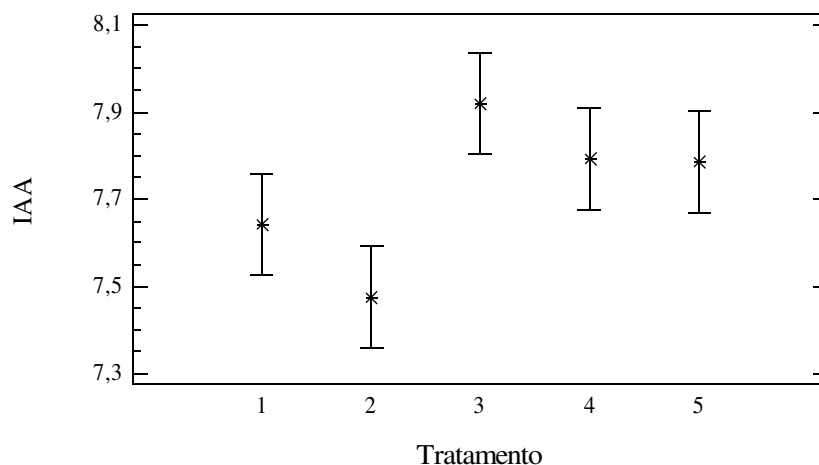


Figura 15: Valores de índice de absorção de água (IAA) para os diferentes tratamentos.

Os resultados indicam a formação de dois grupos, sendo um formado pelos tratamentos 1 e 2 e o outro pelos tratamentos 3, 4 e 5. A média do primeiro grupo, foi de 7,56 e a do segundo igual a 7,81, indicando uma tendência de aumento do IAA com a utilização de lignosulfonato de cálcio e magnésio a partir de 1,0% de concentração.

Os valores médios dos tratamentos demonstraram diferenças entre o tratamento T2 e os tratamentos 3, 4, e 5 (ANOVA). O teste LSD ($p < 0,05$), também evidenciou essas diferenças.

ANDERSON et al. (1969), estudando a gelatinização em milho triturado obtiveram resultados de IAA de 4,6 para extrusão a 110°C e 25% de umidade. OSMAN et al. (2000) encontraram o valor máximo de IAA de 7,2 para extrusão a 109°C e 221,9RPM, de “snacks”. MATHEW et al. (1999) analisando o efeito da amostra, tipo de moinho e tamanho de partícula em “pet food”, encontraram valor médio geral de 2,78 para extrusão à 100°C na zona de formação. Mesmo tendo ingredientes mais semelhantes aos empregados no presente estudo, o valor médio encontrado por MATHEW et al. (1999) é bem distinto dos valores médios obtidos nestes ensaios, mostrando a variabilidade do índice.

De acordo com FAUBION *et al.* (1982) e GOMEZ & AGUILERA (1983), o IAA depende da disponibilidade dos grupos hidrofílicos para interagir com as moléculas de água e

da capacidade de formação de gel das macromoléculas. Os resultados indicam que a presença de lignosulfonato de cálcio e magnésio pode ter alterado estas características, aumentando o índice de absorção de água do extrudado.

5.2.4. Índice de Solubilidade em Água (ISA)

O valor médio obtido para o índice de solubilidade em água (ISA) entre os tratamentos, foi de 12,26%. O valor médio de cada tratamento, assim como seus desvios padrões e coeficientes de variações são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Valores médios de índice de solubilidade em água (ISA), para formulação 1, com desvios padrões e coeficientes de variação, para cada tratamento.

	Tratamento				
	1	2	3	4	5
Média (%)	11,70	12,28	12,24	12,60	12,49
D.P. (%)	0,2980	0,3457	0,5396	0,2952	0,2877
c.v. (%)	2,55	2,81	4,41	2,34	2,30

Os resultados mostram que a utilização de lignosulfonato de cálcio e magnésio eleva o ISA, formando um grupo com média de 12,40% e o T1 com valor de 11,70%, apresentando uma diferença de 0,70%, indicando que o aditivo propicia melhorias no produto acabado. Os aumentos dos valores médios do ISA não apresentam crescimento linear com o aumento da concentração de lignosulfonato de cálcio e magnésio ($R^2=32,77\%$; $p<0,01$). Apresentaram diferenças estatísticas entre os diversos tratamentos e o controle (ANOVA; $p<0,05$).

MATHEW et al. (1999) obtiveram como valor médio de ISA, 15,45%, próximo aos resultados aqui apresentados. FERNANDES et al. (2002) trabalhando com misturas a base de canjiquinha e soja, para a produção de petiscos, apresentaram os níveis mais altos de ISA quando utilizaram a mistura com proporção de canjiquinha e soja, de 80 e 20 % respectivamente, atingindo o valor de 69,43% quando extrudada a 150°C. No estudo realizado por ANDERSON et al. (1969), quando extrudado a 110°C e 25% de umidade, o milho triturado apresentou valor de ISA de 6,5%.

Os valores médios do Índice de Solubilidade em Água (ISA) (%), os níveis superiores e inferiores calculados pela diferença média das médias obtidas pelo teste “Least Significant Difference” (LSD), para os diferentes tratamentos, são mostrados na Figura 16.

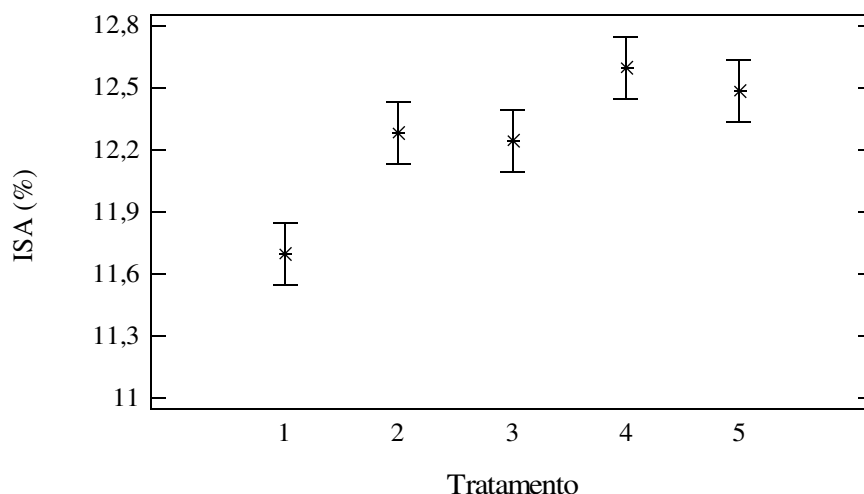


Figura 16: Valores de Índice de Solubilidade em Água (ISA) (%) para os diferentes tratamentos.

De acordo com MERCIER & FEILLET (1975) o ISA depende da quantidade de moléculas solúveis e mede o efeito da gelatinização e da dextrinização. A característica de pegajosidade de alguns produtos amilácios extrudados está relacionada com o aumento de sua solubilidade. O ISA aumenta de acordo com a severidade do tratamento térmico, baixa umidade e grau de cisalhamento. Segundo CHANG *et al.* (1998), a diminuição do cisalhamento no processo de extrusão, causado por diminuição da velocidade da rosca, aumenta os valores de ISA e IAA. WINOWISKI (1995) e Van Zuilichem *et al.* (citados por THOMAS *et al.*, 1998), em experimentos realizados com peletização, verificaram que a inclusão do aditivo causou lubrificação das partes metálicas, reduzindo o atrito e cisalhamento, justificando o aumento de IAA e ISA.

5.2.5. Índice de Expansão

O valor médio obtido para o índice de expansão entre os tratamentos, foi de 1,44. O valor médio de cada tratamento, assim como seus desvios padrões e coeficientes de variações são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Valores médios de índice de expansão, para formulação 1, com desvios padrões e coeficientes de variação, para cada tratamento.

	Tratamento				
	1	2	3	4	5
Média	1,43	1,44	1,44	1,44	1,44
D.P.	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04
c.v. (%)	2,68	2,79	2,36	2,89	2,76

Os ensaios de índice de expansão podem conter erros causados pela variabilidade da geometria do extrudado, e por ser subjetiva a escolha dos diâmetros medidos.

Com a inclusão do lignosulfonato de cálcio e magnésio, os resultados médios de índice de expansão não apresentaram diferença significativa (ANOVA, $p < 0,05$), indicando que adição de lignosulfonato de cálcio e magnésio nos níveis aplicados, não afeta o índice de expansão.

De acordo com Chinnaswamy & Bhattacharya (citados por CHANG & EL-DASH, 2003) a expansão do amido depende principalmente do grau de gelatinização que, segundo Chiang & Johnson e Bhattacharya & Hanna (citados por CHANG & EL-DASH, 2003) é determinado pela temperatura, cisalhamento e umidade do material na extrusão. A temperatura e umidade também foram relacionadas com o índice de expansão por ILO et al. (1996), ALVES & GROSSMANN (2002) e MERCIER & FEILLET (1975).

No presente experimento, a temperatura e a umidade não apresentaram variações expressivas, o que sugere que a discreta elevação dos valores médios de índice de expansão poderia ser causada pelo aumento do cisalhamento durante o processo de extrusão. Porém, segundo WINOWISKI (1995) e Van Zuilichem et al. (citados por THOMAS et al., 1998) esta explicação não se aplica, uma vez que em experimentos realizados com peletização, a inclusão de aditivo aglutinante, incluindo o lignosulfonato de cálcio, causou lubrificação das partes metálicas, reduzindo o atrito e cisalhamento.

Os valores médios do Índice de Expansão, os níveis superiores e inferiores calculados pela diferença média das médias obtidas pelo teste “Least Significant Difference” (LSD), para os diferentes tratamentos, são mostrados na Figura 17.

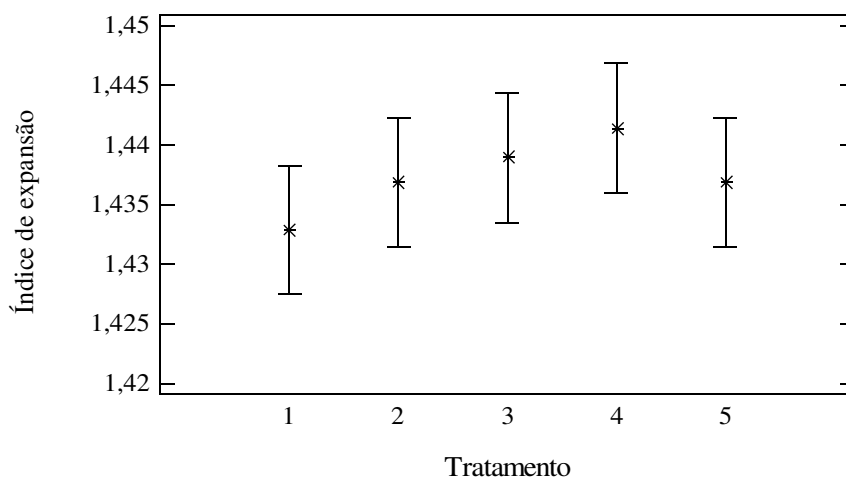


Figura 17: Valores médios de índice de expansão dos extrudados.

Verificou-se, portanto, que a inclusão de lignosulfonato de cálcio e magnésio, nas condições em que o presente experimento foi realizado, não afetou o índice de expansão dos extrudados.

5.2.6. Resistência mecânica dos extrudados

A resistência mecânica dos extrudados foi avaliada através de ensaios de penetração, compressão entre pratos planos rígidos e paralelos e durabilidade.

5.2.6.1. Ensaio de penetração

Estes ensaios foram realizados com ponteira de 1,30mm de diâmetro entre as previamente testadas para reduzir o efeito de tamanho da ponteira relativo ao do extrudado nas relações força-deformação e também devido ao fato de que as ponteiros de maior diâmetro,

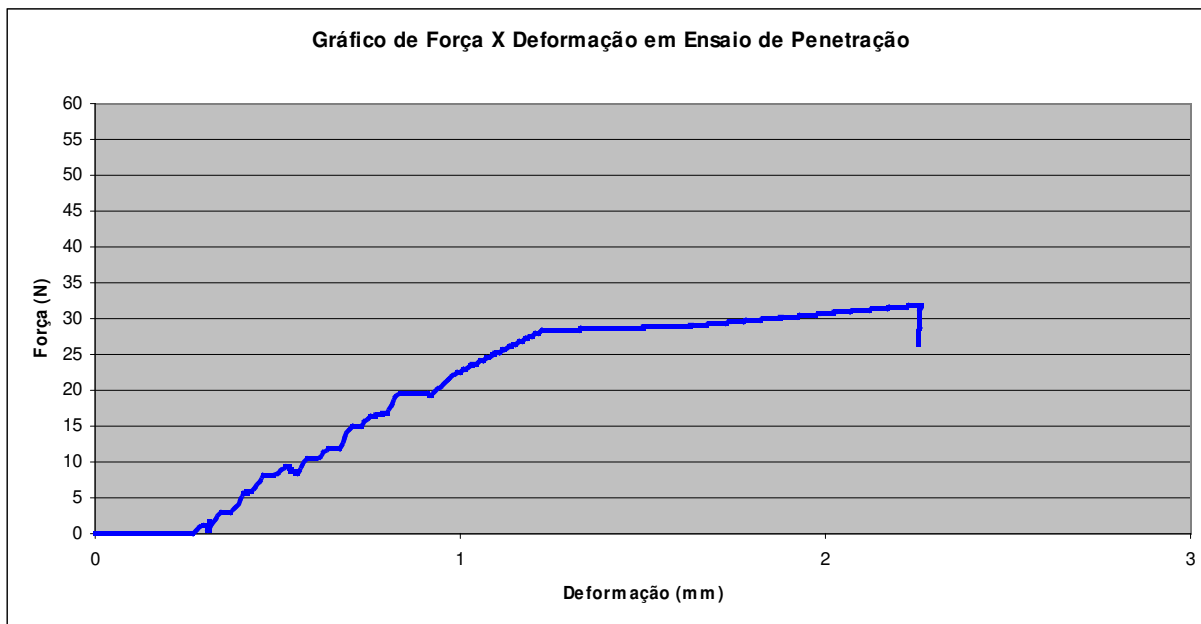
testadas previamente, provocaram ruptura em alguns extrudados. Estas rupturas ocorreram radialmente do centro dos extrudados para a periferia, não apresentando padrão definido e variando em número. As Figuras 18 a e b ilustram exemplos de extrudados que foram ensaiados com a ponteira de 1,30mm de diâmetro e detalhe da extremidade sem arestas vivas desta ponteira, respectivamente.



Figura 18 a e b: a) Exemplos de extrudados ensaiados com ponteiras de 1,30mm de diâmetro;
b) Detalhe da ponteira de 1,30mm de diâmetro.

As curvas força-deformação específica obtidas com os ensaios de penetração até atingir 30% da altura inicial, com ponteira de 1,30mm de diâmetro, apresentaram duas partes distintas. Na primeira, até aproximadamente 10% da deformação específica, as curvas apresentaram inclinação acentuada, enquanto que na segunda parte as variações da força com a deformação foram bem menores, sugerindo um patamar. As Figuras 19 a e b ilustram algumas dessas curvas.

a)



b)

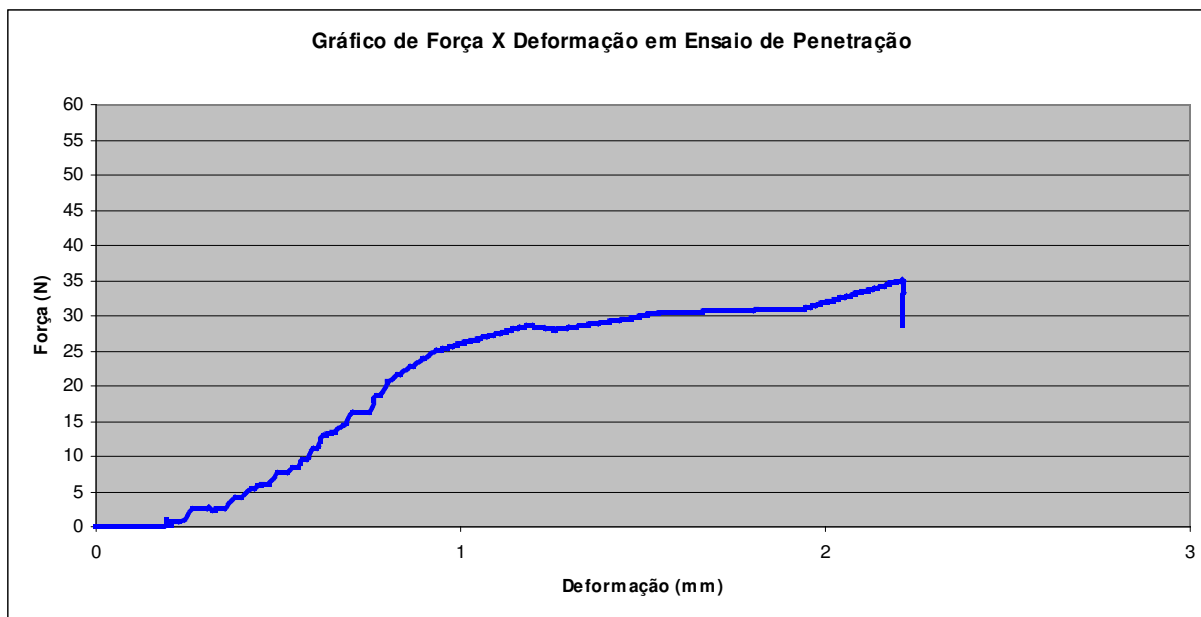


Figura 19 a e b: Exemplos de curvas de força-deformação específica, obtida nos ensaios de penetração com ponteira de 1,30mm de diâmetro, até 30% de deformação específica em extrudados.

Esse comportamento na penetração sugere a existência de uma camada, mais resistente, provavelmente com maior densidade resultante da interação com as superfícies da matriz da extrusora e caracterizada por interações com maiores atritos e maior temperatura resultando em tratamento diferenciado em relação ao interior do extrudado. Além disso, existe o efeito de secagem, uma vez que a camada externa seca mais rapidamente que o interior do extrudado devido às altas temperaturas e curto período de tempo utilizado na secagem. No entanto, como os ensaios de penetração foram realizados alguns dias após a secagem dos extrudados e as amostras foram acondicionadas em saco plástico impermeável, a distribuição de água dentro do produto alterou, havendo migração da umidade interna para as camadas superficiais, uniformizando os extrudados. Assim, os efeitos da distribuição não uniforme da umidade foram atenuados propiciando evidenciar o efeito dos tratamentos.

5.2.6.1.1. Índice de resistência à penetração através da energia de deformação

Os resultados dos ensaios de penetração de 100 extrudados por tratamento, apresentaram média geral da energia de deformação de 0,0492J. Os valores médios de cada tratamento, assim como seus desvios padrões e coeficientes de variações são apresentados na Tabela 14 e ilustrados na Figura 20.

Tabela 14: Valores médios do índice de resistência mecânica, energia de deformação, para formulação 1, com desvios padrões e coeficientes de variação, para cada tratamento.

	Tratamento				
	1	2	3	4	5
Média (J)	0,0508	0,0492	0,0491	0,0479	0,0488
D.P. (J)	0,0076	0,0075	0,0079	0,0081	0,0089
c.v. (%)	15,02	15,31	16,15	16,90	18,25

Nota-se que os valores médios da energia de deformação dos tratamentos com lignosulfonato de cálcio e magnésio foram menores que o do controle, havendo uma diferença de 4,0%. A análise de variância (ANOVA, $p < 0,05$) não apresentou diferenças significativas entre os resultados. Da mesma forma, a diferença significativa entre as medidas obtidas nos

tratamentos 1 e 4 (teste LSD, $p < 0,005$), também não contribuiu para evidenciar possível tendência.

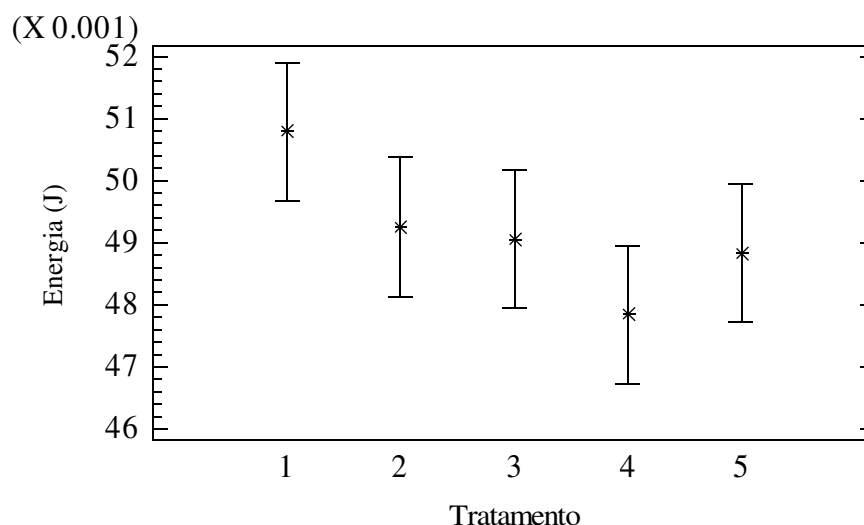


Figura 20: Valores médios de energia de deformação (J) utilizada para a penetração de ponteira com 1,30mm de diâmetro até 30% da altura específica dos extrudados e os níveis superiores e inferiores calculados pelas diferenças médias obtidas pelo teste “Least Significant Difference” (LSD).

Os resultados médios dos índices de resistência baseados na energia de deformação apresentaram coeficientes de variação dentro do aceitável para materiais biológicos, próximos de 15%, indicando que os ensaios foram adequados para discriminar possíveis variações. Sugerem, também, uma diminuição da resistência à deformação com o aumento da concentração de lignosulfonato de cálcio e magnésio.

5.2.6.1.2. Índice de resistência à penetração através da rigidez aparente

A primeira parte da curva força-deformação foi utilizada, também, para identificar trecho aproximadamente linear, para a obtenção do valor de sua respectiva tangente utilizada como índice de rigidez, mais propriamente, índice de rigidez aparente. É chamado de

“aparente”, pois não representa o comportamento somente material, mas inclui a influência do formato do extrudado e sua interação com a ponteira.

O valor médio geral de foi de 50 469,2 N/m. Os valores médios obtidos para cada tratamento, assim como seus desvios padrões e coeficientes de variações são apresentados na Tabela 15 e ilustrados na Figura 21. As Figuras 22 a e b ilustram algumas curvas força-deformação, onde foram traçadas as respectivas tangentes.

Tabela 15: Valores médios do índice de resistência mecânica, rigidez aparente, para formulação 1, com desvios padrões e coeficientes de variação, para cada tratamento.

	Tratamento				
	1	2	3	4	5
Média (N/m)	48 511,0	55 321,7	50 748,6	46 291,5	51 473,5
D.P. (N/m)	14 323,4	13 894,9	17 214,9	14 873,3	18 062,3
c.v. (%)	29,53	25,12	33,92	32,13	35,09

Os resultados apresentaram grande variabilidade evidenciada pelos valores dos coeficientes de variação elevados, porém, apresentou diferenças significativas entre o tratamento 2 e os demais (ANOVA, $p < 0,05$).

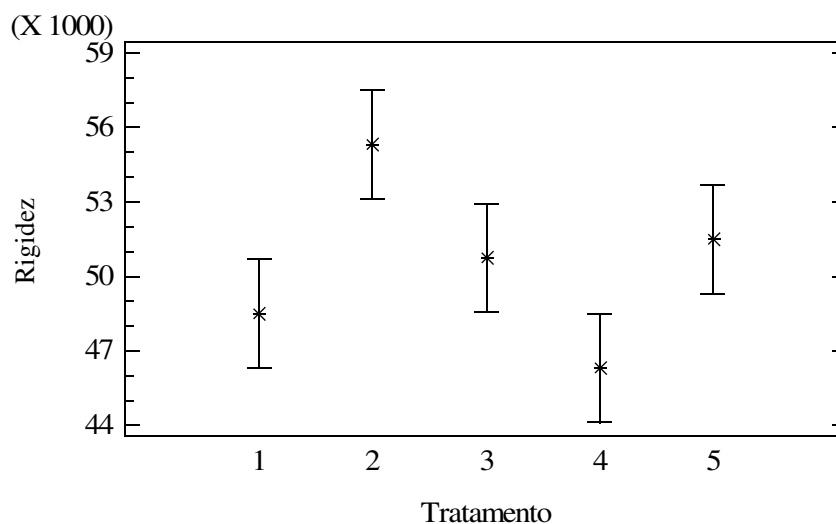
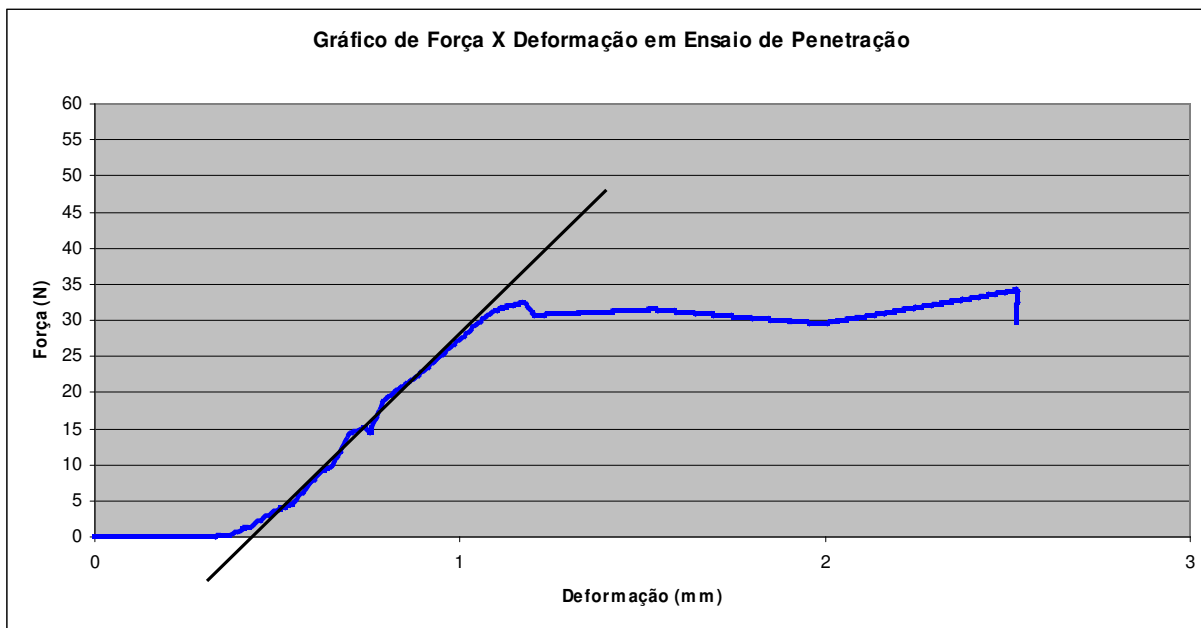


Figura 21: Valores médios de rigidez aparente (N/m) para as análises de penetração de ponteira de 1,30 mm de diâmetro na primeira parte da curva força-deformação específica.

a)



b)

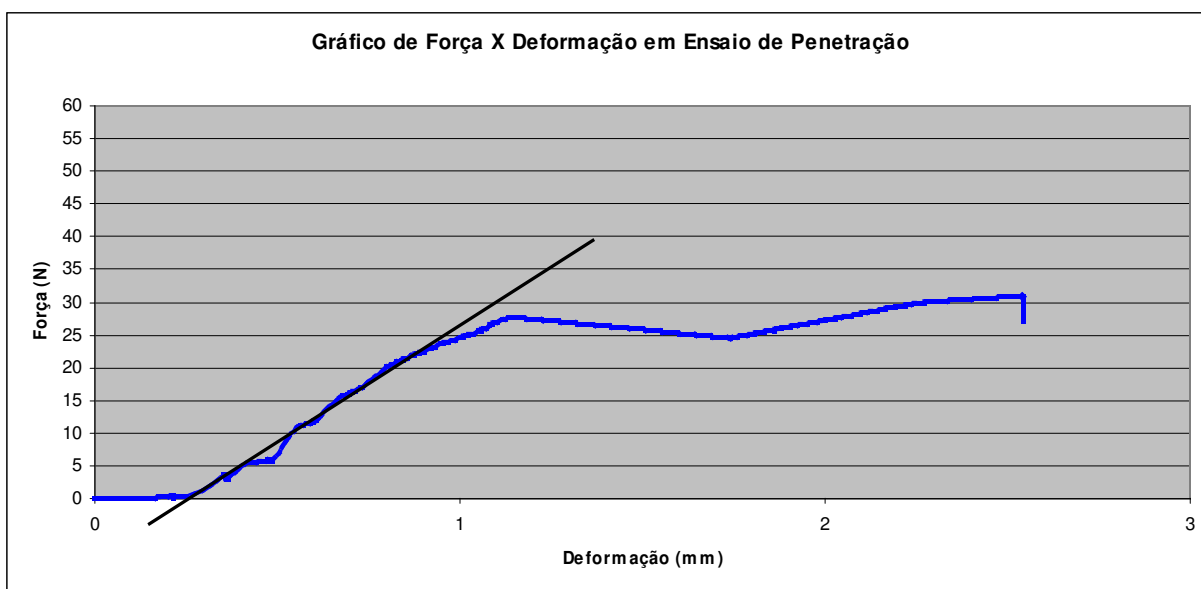


Figura 22 a e b: Exemplos de curvas de força-deformação, obtida nos ensaios de penetração com ponteira de 1,30mm de diâmetro, até 30% de deformação específica em extrudados e a tangente do primeiro trecho aproximadamente linear.

Os dados obtidos revelaram grande variação de valores, devido a não uniformidade dos espécimes quanto à forma e tamanho, como a Figura 23 ilustra.

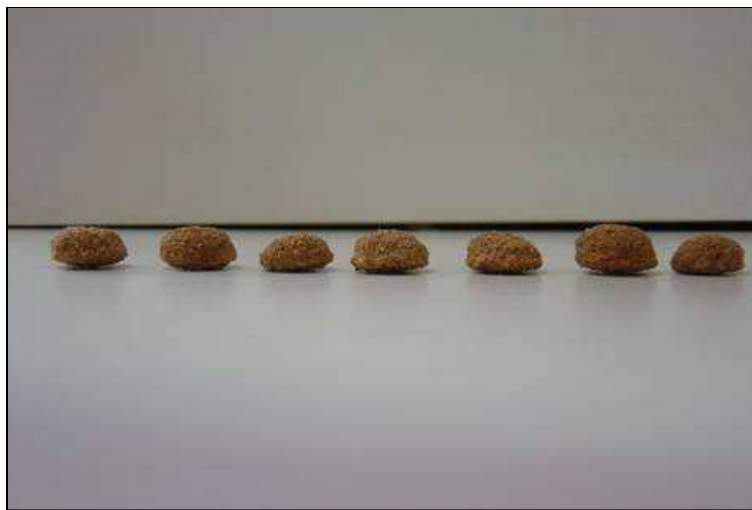


Figura 23: Exemplos de espécimes utilizados para a realização dos ensaios de resistência mecânica.

5.2.6.2. Ensaio de compressão entre pratos planos rígidos e paralelos

Foram realizados ensaios de compressão entre pratos planos rígidos e paralelos, utilizando-se como índice de resistência, a energia de deformação até 30% de deformação específica, semelhantemente ao ensaio de penetração. Analisou-se, também, a variabilidade do índice de resistência baseado na rigidez aparente.

Apesar da forma geométrica irregular, os extrudados sofreram ruptura que apresentaram fraturas com características muito semelhantes, desenvolvidas ao longo diâmetro do extrudado. O aspecto das fraturas é ilustrado na Figura 24.

As curvas força-deformação, obtidas nos ensaios, foram suaves, com crescimento monotônico e mudam de comportamento para valores acima de 20% de deformação. As

Figuras 25 a e b ilustram caracteristicamente curvas força-deformação do extrudado. Nelas foram traçadas as retas cujos valores da tangente foram utilizados para representar a rigidez aparente.

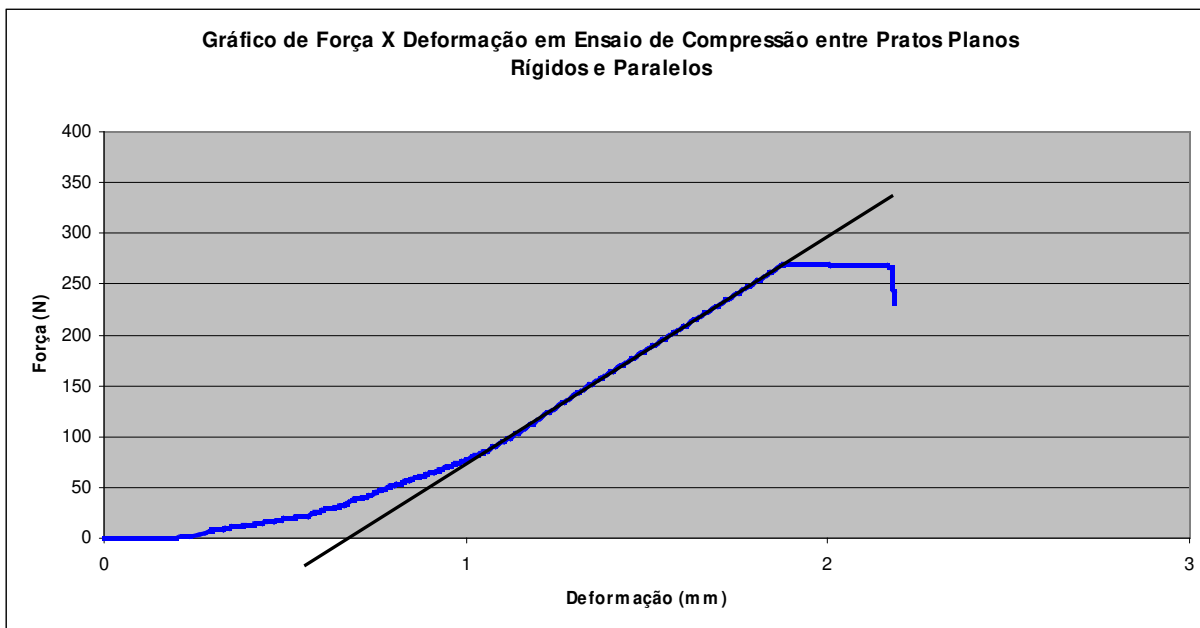


Figura 24: Exemplos de fraturas nos extrudados causadas pela compressão entre pratos planos rígidos e paralelos, até 30% de deformação específica.

5.2.6.2.1. Índice de resistência à compressão através da energia de deformação

O valor médio de energia até o limite de 30% de deformação específica dos tratamentos com lignosulfonato de cálcio e magnésio foi de 0,3256J e apresentou diferença significativa na ANOVA ao nível de 95% ($p < 0,05$). Ao aplicar os testes LSD, “Student-Newman-Keuls” e Duncan, diferenças significativas entre os tratamentos 1, 3 e 5 foram reveladas. A utilização dos tratamentos 3 e 5 resultaram em aumentos de 15,97 e 9,27% na energia de deformação específica, respectivamente, quando comparadas ao tratamento 1. Os valores médios obtidos para cada tratamento, assim como seus desvios padrões e coeficientes de variações são apresentados na Tabela 16 e ilustrados na Figura 26.

a)



b)

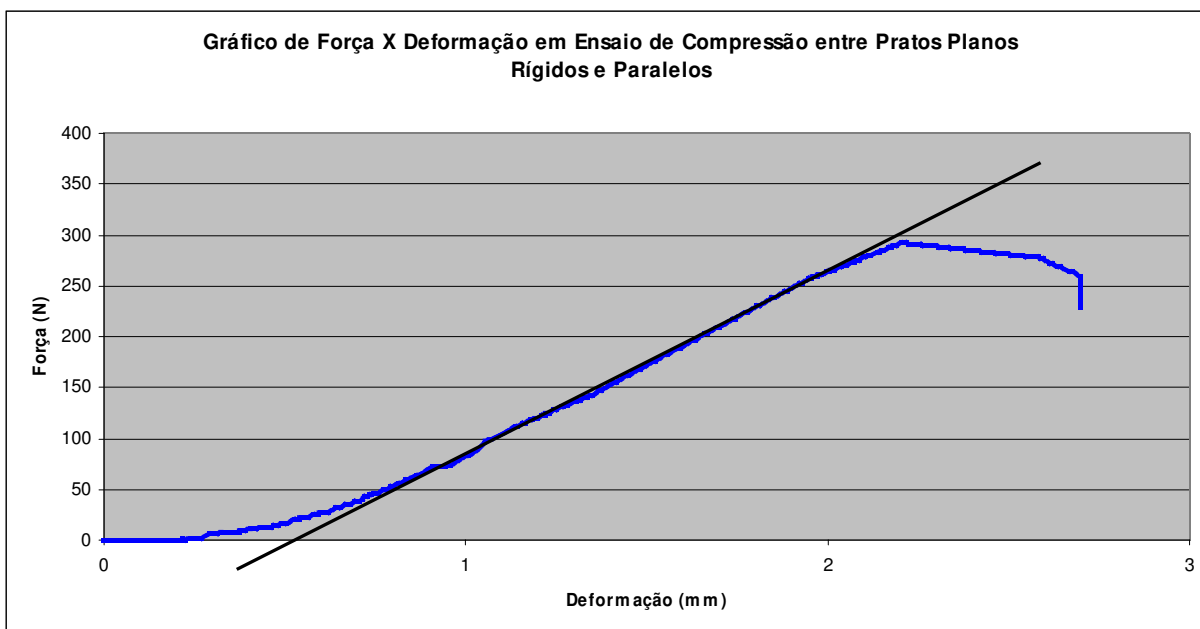


Figura 25 a e b: Exemplos de curvas de força-deformação, obtida pela compressão diametral dos extrudados, entre pratos planos rígidos e paralelos, até 30% de deformação específica e as tangentes utilizadas para os cálculos de rigidez aparente.

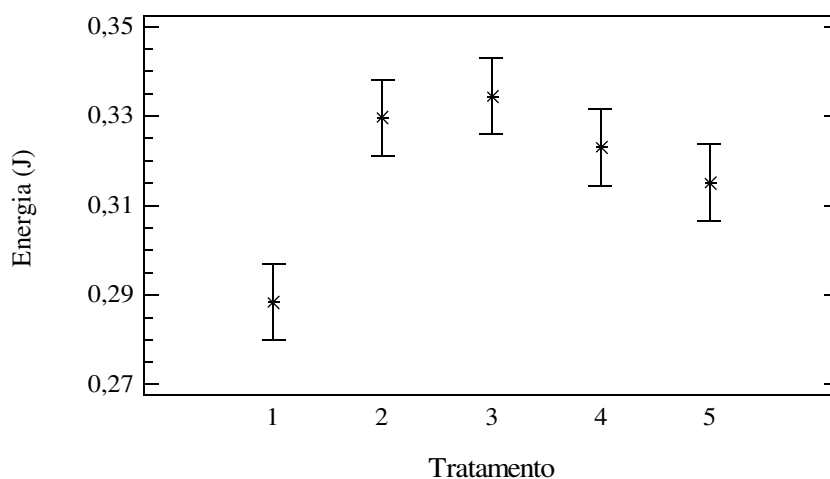


Figura 26: Valores de energia (J) para os diversos tratamentos, gerados pelas análises de compressão entre pratos planos rígidos e paralelos até a deformação específica de 30% em unidades extrudadas.

Tabela 16: Valores médios do índice de resistência mecânica, energia de deformação, para formulação 1, com desvios padrões e coeficientes de variação, para cada tratamento.

	Tratamento				
	1	2	3	4	5
Média (J)	0,2884	0,3296	0,3345	0,3230	0,3152
D.P. (J)	0,0649	0,0645	0,0557	0,0576	0,0632
c.v. (%)	22,59	19,59	16,66	17,81	20,06

A utilização de lignosulfonato de cálcio e magnésio, nas concentrações estabelecidas, causou aumento da energia de deformação a 30%, indicando modificação dos extrudados pelo aumento da resistência mecânica.

Apresentando coeficiente de variação com valor médio de 19,37%, próximo a 15% aceitável para materiais biológicos, o ensaio mostrou-se mais sensível que os ensaios de penetração, sugerindo ser o mais adequado para avaliar os extrudados discriminando diferenças entre os tratamentos.

5.2.6.2.2. Índice de resistência à compressão entre pratos planos rígidos e paralelos através da rigidez aparente

Os resultados dos ensaios de compressão de 100 extrudados por tratamento, apresentaram média geral de rigidez aparente de 205 356,0N/m. Os valores médios de cada tratamento, assim como seus desvios padrões e coeficientes de variações são apresentados na Tabela 17 e ilustrados na Figura 27.

Tabela 17: Valores médios do índice de resistência mecânica, rigidez aparente, para formulação 1, com desvios padrões e coeficientes de variação, para cada tratamento.

	Tratamento				
	1	2	3	4	5
Média (N/m)	202 474,0	209 571,0	207 089,0	201 712,0	205 927,0
D.P. (N/m)	40 751,1	27 544,3	25 304,0	23 835,8	31 435,2
c.v. (%)	20,13	13,14	12,22	11,82	15,27

Os valores de rigidez aparente não apresentaram diferenças estatísticas quando submetidos aos testes ANOVA ($p < 0,05$), LSD, “Student-Newman-Keuls” e Duncan. A inclusão de lignosulfonato de cálcio e magnésio à formulação não demonstrou ter influência na rigidez aparente dos extrudados. O índice apresentou diferença máxima, entre os valores médios, de 3,75% entre os tratamentos 2 e 4. A Figura 27 demonstra não haver tendência alguma quando utilizado o lignosulfonato de cálcio e magnésio.

Com coeficiente de variação médio de 14,81% e não mostrando diferenças entre os tratamentos, o índice de rigidez aparente, para os ensaios de compressão entre pratos planos rígidos e paralelos, apresentou variabilidade aceitável para avaliar a resistência dos extrudados e discriminar suas diferenças. Porém, não confirmaram os resultados obtidos para energia de

deformação. Neste, a inclusão de lignosulfonato de cálcio e magnésio sugere aumento da resistência mecânica do extrudado enquanto que no outro sugere não haver efeito.

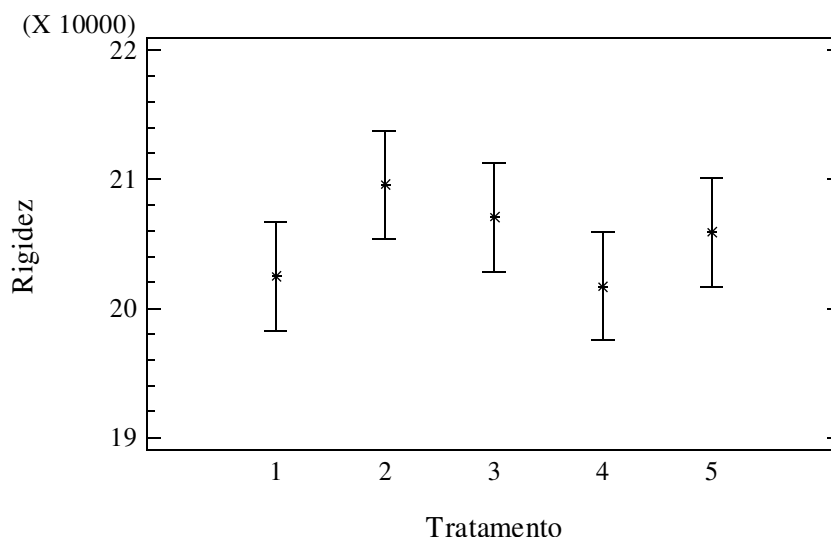


Figura 27: Valores de rigidez (N/m) para os diversos tratamentos, gerados pelas análises de compressão entre pratos planos rígidos e paralelos até a deformação específica de 30% em unidades extrudadas e os níveis superiores e inferiores calculados no teste LSD.

No entanto, o índice de resistência baseado em energia de deformação, para os ensaios de compressão entre pratos planos rígidos e paralelos, foi capaz discriminar as diferenças entre todos os tratamentos que continham lignosulfonato de cálcio e magnésio e o tratamento controle. Indicando, assim, ser o melhor índice para representar a resistência mecânica dos extrudados.

5.2.6.3. Durabilidade dos extrudados

Os ensaios de durabilidade foram realizados para verificar se a ação aglutinante do lignosulfonato de cálcio e magnésio afeta na resistência mecânica dos extrudados à abrasão.

O tempo consumido para realizar um ciclo de ensaio foi próximo aos 20 minutos e poderia ser reduzido com a adoção de um dispositivo mais rápido para fechamento da tampa e se fosse um equipamento portátil.

A vedação feita com borracha entre a caixa e a tampa foi eficiente evitando a perda de material, apesar de ocorrer perdas insignificantes de aproximadamente 10g, que foi notada pela formação de trilho de farelo no torno, ao longo da realização dos 80 ensaios.

Os ensaios de compressão entre pratos planos rígidos e paralelos resultaram em diferenças para energia até 30% de deformação específica, sugerindo que a modificação estrutural causada pela concentração do aditivo poderia resultar em diferenças na durabilidade.

Os resultados dos ensaios de durabilidade apresentaram média geral de 97,07%, sem diferenças significativas entre os tratamentos (ANOVA, $p < 0,05$). Os valores médios de cada tratamento, assim como seus desvios padrões e coeficientes de variações são apresentados na Tabela 18 e ilustrados na Figura 28.

Tabela 18: Valores médios de durabilidade, para a formulação 1, com desvios padrões e coeficientes de variação, para cada tratamento.

	Tratamento				
	1	2	3	4	5
Média (%)	97,14	97,02	97,00	97,21	96,99
D.P. (%)	0,9550	0,4514	0,4514	0,4975	0,3077
c.v. (%)	0,98	0,47	0,30	0,51	0,32

Comparando os valores obtidos nos ensaios, com os relatados por outros autores para materiais peletizados, verificou-se que alguns deles também não evidenciaram diferenças entre os tratamentos. ROBERSON (2003), ensaiando rações peletizadas para perus, obteve durabilidade de 82% para o tratamento controle e com concentração de 0,5% do aditivo, não afetando significativamente. Outros estudos demonstraram diferenças ao incluir o aditivo e também entre níveis de inclusão. ACAR et al. (1991) encontraram 67,1% de índice de durabilidade para peletes destinados a frangos de corte, quando incluíram 1,25% de lignosulfonato de cálcio às rações e apenas 43,1% para o controle sem o aditivo. Waldroup et

al. (*apud* ACAR et al., 1991) realizaram um teste similar e encontraram durabilidade de 72,5% para 1% de inclusão de lignosulfonato de cálcio e 55,9% para 1,5%.

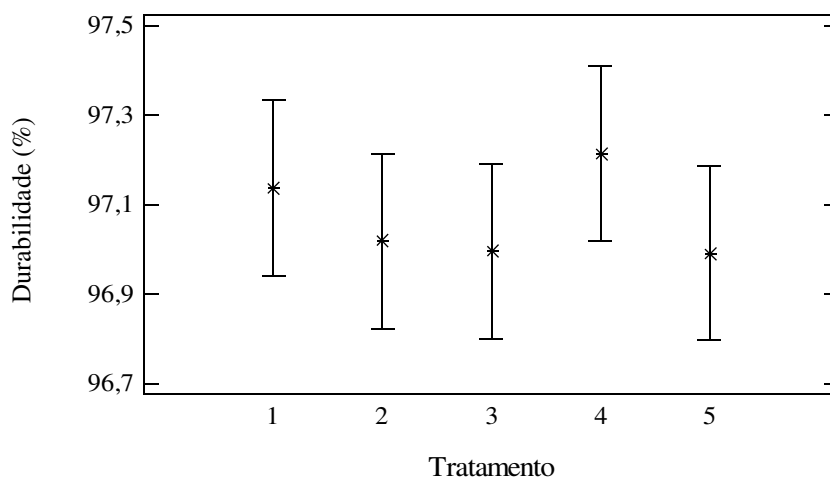


Figura 28: Valores médios de índices de durabilidade para os diferentes tratamentos.

Devido ao valor médio de coeficiente de variação da ordem de 0,57%, os ensaios mostraram-se adequados, indicando que para as concentrações consideradas, a inclusão de lignosulfonato de cálcio e magnésio não afetou a durabilidade.

5.2.6.4. Consumo de energia elétrica

Para verificar o efeito das concentrações de lignosulfonato de cálcio e magnésio na formulação, foi registrado o consumo de energia elétrica durante a extrusão através de medidas elétricas na alimentação do motor da extrusora.

5.2.6.4.1. Estudo preliminar

Durante o processamento da formulação 1 estimou-se o tempo consumido para processar cada batida e obtendo-se a média para cada tratamento. As estimativas de tempo foram realizadas através da visualização do nível da mistura no silo de alimentação da extrusora, quando este estava quase vazio, com aproximadamente 200 kg da mistura. Nesse

nível ocorria a liberação da mistura seguinte, enchendo o silo novamente. Como foram necessários, a partir desse instante, 3,5 minutos até que a antiga mistura se esgotasse, esse tempo foi computado para o cálculo do tempo estimado.

Os valores médios de tempo de processamento estimados, desvios padrões e coeficientes de variação para cada tratamento são mostrados na Tabela 19.

Constatou-se que os valores de tempo estimado médio dos processamentos variaram com os diferentes tratamentos (Tabela 20), sugerindo a redução dos valores de tempo, com o aumento da inclusão de lignosulfonato de cálcio e magnésio. Porém, não apresentaram diferenças significativas ao nível de 95% de confiança ($p < 0,05$). Ao realizar a regressão linear entre tempo de produção (Y) e tratamento (X), obteve-se a relação $Y = 34,9 - 1,55(X)$, com $R^2 = 8,32\%$ ($p < 0,10$), comprovando não ser uma relação linear.

Tabela 19: Valores médios de tempo de processamento estimado, para a formulação 1, com desvios padrões e coeficientes de variação, para cada tratamento.

	Tratamento				
	1	2	3	4	5
Média (minutos)	36,5	31,8	32,5	35,0	31,0
D.P. (minutos)	4,65	2,87	2,65	5,10	2,16
c.v. (%)	12,75	9,05	8,14	14,57	6,97

5.2.6.4.2. Consumo energético durante o processamento da formulação 2

Diante dessa indicação, uma série de experimentos foi realizada utilizando a formulação 2, uma vez que condições operacionais impediram a utilização da formulação 1. Os experimentos foram conduzidos de forma semelhante aos da formulação 1, porém com a inclusão de tratamento adicional com a concentração de 4,0%. Utilizaram-se 2 toneladas por tratamento, processando-se cronologicamente os tratamentos de 2 a 6 e por último o tratamento 1.

Utilizando um medidor registrador eletrônico de parâmetros elétricos trifásicos, com memória de massa (SAGA 4000), conectado ao painel de alimentação do motor da extrusora, registraram-se os parâmetros elétricos automaticamente, sem interrupções, por três horas e trinta minutos, durante o período do experimento.

Os valores de tempos estimados, assim como os de potência utilizada e de consumo de energia elétrica, estão apresentados na Figura 29. Observou-se que os resultados confirmam a tendência de redução no tempo de produção, apontada pelos experimentos anteriores com a formulação 1, isto é, à medida que se aumenta a concentração de lignosulfonato de cálcio e magnésio, o tempo de processamento, de mesma quantidade de mistura, diminui.

Tabela 20: Tempo de processamento da fórmula 1 para cada mistura.

Mistura	Tratamento	Tempo (minutos)	Média (minutos)
3	1	35	36,5
4		43	
11		32	
17		36	
9	2	35	31,8
10		28	
16		32	
18		32	
1	3	35	32,5
5		34	
7		32	
13		29	
8	4	33	35,0
14		30	
15		35	
19		42	
2	5	31	31,0
6		33	
12		32	
20		28	

O valor médio de potência utilizada durante o processamento dos tratamentos, foi de 80,50kW, com desvio padrão de 3,84kW e coeficiente de variação de 0,0477 que evidenciou a pequena variação entre os valores de potência média utilizada pelos tratamentos.

Os valores de tempo de processamento obtidos foram de 37, 36, 35, 34, 33 e 31 minutos, para os tratamentos de 1 a 6, respectivamente. Identificou-se uma relação linear entre o tempo de processamento e a concentração de lignosulfonato na mistura expressa pela relação $Y = 36,5833 - 1,5X$, com $R^2 = 96,43\%$ e coeficiente de correlação de -0,9820 ($p < 0,01$). Se esta relação fosse realizada com o valor médio de potência, provavelmente o consumo de energia elétrica seguiria uma relação linear com o tempo. Os resultados evidenciaram a redução do

fator tempo estimado de processamento, resultando, conseqüentemente, em aumento da produção de alimento por tempo, estando de acordo com os encontrados para peletização, por WINOWISKI (1995), VAN ZUILICHEM *et al.*(*apud* THOMAS *et al.*, 1998) e ZIGGERS (2004), que relatou o aumento superior a 20% na produtividade, quando incluído aglutinante às rações, justificado como sendo a ação lubrificante do aditivo.

Para o consumo de energia elétrica foram obtidos os valores médios de 47,40kWh, 46,85 kWh, 45,26kWh, 45,60kWh, 48,01kWh e 40,72kWh, para T1 a T6, respectivamente. Realizando a regressão linear para tratamentos e consumo de energia elétrica a relação é expressa por $Y = 21,0251 - 0,427813X$, com $R^2 = 63,13\%$ e coeficiente de correlação de $-0,7946$ ($p < 0,10$).

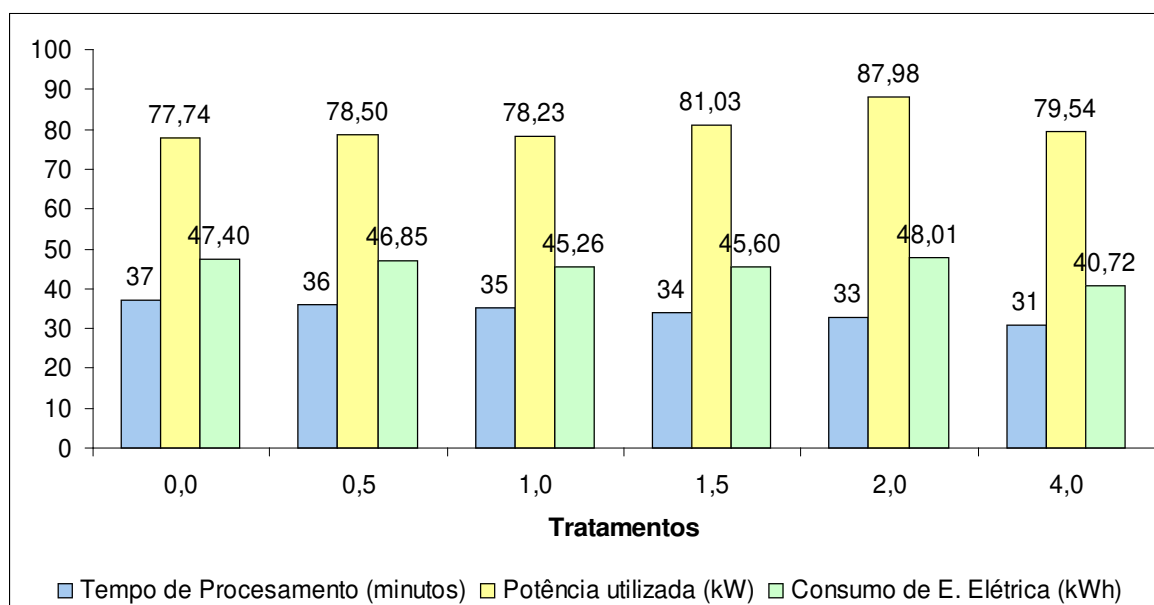


Figura 29: Valores de tempo de processamento (minutos), potência utilizada (kW) e energia elétrica consumida (kWh) para o processamento da fórmula 2.

Os tempos aparentes obtidos contêm erros difíceis de estimar, porém considerando que o operador, ao decidir sobre o momento de encerrar o processamento de uma mistura e o iniciar a outra, 3,5 minutos em média, possa tê-lo feito com precisão de $\pm 1,5$ minuto. Assim, os valores de tempo de processamento apresentariam as faixas de variação mostradas na Tabela 21.

Tabela 21: Tempos de processamento para variações previstas de 1,5 minutos.

Tratamento	Tempo mínimo (minutos)	Tempo Obtido (minutos)	Tempo máximo (minutos)
1	35,5	37	38,5
2	34,5	36	37,5
3	33,5	35	36,5
4	32,5	34	35,5
5	31,5	33	34,5
6	29,5	31	32,5

A menor diferença dos valores de tempo estimado de processamento entre os tratamentos 1 e 6, foi de 3,3 minutos. Considerando uma jornada de trabalho de 20 horas por dia, seria possível produzir 67,61 toneladas do tratamento controle, nas condições utilizadas no experimento. Enquanto que seria possível produzir 73,85 toneladas do tratamento com 4,0% de inclusão de lignosulfonato de cálcio e magnésio, com um mesmo consumo de energia elétrica, representando uma economia de 9,23%, ou 124,8 toneladas a mais, produzidas no período de 1 mês.

Considerando a maior diferença dos valores de tempo estimado de processamento entre os tratamentos 1 e 6, que foi de 9 minutos e as mesmas condições citadas acima, temos a seguinte situação: seria possível produzir 62,34 toneladas utilizando o tratamento controle e 81,36 toneladas do tratamento com 4,0% de inclusão de lignosulfonato de cálcio e magnésio, representando uma economia de 30,5%, ou 380,4 toneladas a mais, produzidas no período de 1 mês.

É necessário um histórico com mais tempo de registros para poder afirmar que a inclusão de lignosulfonato de cálcio e magnésio reduz o tempo de processamento e representa economia para os fabricantes de alimentos para animais. Essa comprovação poderá ser feita através de estudos futuros.

6. Conclusões

A utilização de lignosulfonato de cálcio e magnésio para a extrusão de formulações genéricas de alimentos para cães, afeta os índices de absorção de água e solubilidade em água elevando o valor de ambos significativamente.

Com o efeito verificado na resistência mecânica dos extrudados conclui-se que: o lignosulfonato de cálcio e magnésio aumenta a resistência à compressão entre pratos planos rígidos e paralelos, verificada através do índice de energia de deformação; e que o aditivo não afeta a durabilidade do produto, não havendo aparente redução na produção de finos.

O efeito da utilização do aditivo adotado no consumo de energia elétrica sugeriu a diminuição do tempo aparente de processamento, o que resulta em maior produção em um mesmo período de tempo, havendo assim, economia de recursos financeiros.

Para melhor compreensão dos efeitos do lignosulfonato de cálcio e magnésio na resistência mecânica dos extrudados são necessários estudos futuros para proporcionar melhoria nas metodologias para possibilitar maior sensibilidade dos resultados em discriminar os tratamentos.

Por sugerir uma redução no custo de produção pelo aumento da produtividade, futuros estudos sobre os efeitos do aditivo nos parâmetros elétricos são indicados.

Referências bibliográficas

ACAR, N.; MORAN, E. T. JR; REVINGTON, W. H.; BILGILI, S. F. Effect of Improved Pellet Quality from Using a Calcium Lignosulfonate Binder on Performance and Carcass Yield of Broilers Reared Under Different Marketing Schemes. **Poultry Science**, 70, p. 1339-1344, 1991.

ALVES, R. M. L.; GROSSMANN, M. V. E. Parâmetros de Extrusão para Produção de “Snacks” de Farinha de Cará (*Dioscorea alata*). **Ciênc. Tecnol. Aliment.** v.22, n.1, p.32-38, jan-abr, 2002.

ANDERSON, R.A.; CONWAY, H. F., PFEIFER, U. F.; GRIFFIN, JR. E. L. Gelatinization of corn grits by roll- and extrusion-cooking. *Cereal Science Today*. St Paul, Minnesota, v. 14, n. 1, p.4-7, January, 1969.

ASAE. Cubes, Pellets, and Crumbles--Definitions and Methods for Determining Density, Durability, and Moisture Content ASAE S269.4. 1994

ASP, N. –G. WHAT HAPPENS TO THE DIFFERENT MATERIALS AT DIFFERENT TEMPERATURES? In: O’CONNOR, Colm. ed. **Extrusion Technology for the Food Industry**. London, Elsevier Applied Science Publishers LTD. p. 16-21, 1987.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 2ª ed. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2003.

BEN-GERA, J.; ROKEY, G. J.; SMITH, O. B. Extrusion Cooking of Grains for Ethanol Production. In: JOWITT, Ronald. ed. **EXTRUSION COOKING TECHNOLOGY**. London, Elsevier Applied Science Publishers LTD. p. 95-105, 1984.

BJÖRCK, I.; ASP, N. –G. The effects of Extrusion Cooking on Nutritional Value – A Literature Review. In: JOWITT, Ronald. ed. **EXTRUSION COOKING TECHNOLOGY**. London, Elsevier Applied Science Publishers LTD. p. 181-208, 1984.

CAYOT, N.; BOUNIE, D.; BAUSSART, H. Dynamic Modelling for a Twin Screw Food Extruder: Analysis of the Dynamic Behavior Through Process Variables. **Journal of Food Engineering**, v. 25, p. 245-260, 1995, *apud* MENDES, Alexandre Consul. **Análise do Processo de Extrusão na Indústria de ‘PET-FOOD’ para a Aplicação de Técnicas de Controle Avançado**. 338p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

CHANG, Y. K.; EL-DASH, A. A. Effects of acid concentration and extrusion variables on some physical characteristics and energy requirements of cassava starch. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v.20, n.02, p.129-137, April-June, 2003.

CHANG, Y. K.; MARTÍNEZ-BUSTOS, F.; LARA, H. Effect of some extrusion variables on rheological properties and physicochemical changes of cornmeal extruded by twin-screw extruder. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v.15, n.4, p.370-381, December, 1998.

CHEFTEL, J. C. Nutritional Effects of Extrusion Cooking. **Food Chem.** v. 20, n. 4, p. 263-283, 1986, *apud* LICETI DIBOS, Atílio Enrique. **Efeito da temperatura de extrusão e o teor de proteína da farinha de soja desengordurada na qualidade do macarrão instantâneo de arroz**. 130p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

CHIANG, B. -Y; JOHNSON, J. A. Gelatinization of starch in extruded products. **Cereal Chem.**, v.54, p.436-443, 1977 *apud* CHANG, Y. K.; EL-DASH, A. A. Effects of acid concentration and extrusion variables on some physical characteristics and energy requirements of cassava starch. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v.20, n.02, p.129-137, April-June, 2003.

CHINNAWAMY, R.; BHATTACHAYA, K. R. Studies on expanded rice. Physicochemical basis of varietal differences. **J. Food Sci.**, 48, 600-1604, 1983 *apud* CHANG, Y. K.; EL-DASH, A. A. Effects of acid concentration and extrusion variables on some physical characteristics and energy requirements of cassava starch. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v.20, n.02, p.129-137, April-June, 2003.

CHINNAWAMY, R.; HANNA, M. Optimum extrusion-cooking conditions for maximum expansion of corn starch. **J. Food Sci.**, 53, 834-839, 1988 *apud* CHANG, Y. K.; EL-DASH, A. A. Effects of acid concentration and extrusion variables on some physical characteristics and energy requirements of cassava starch. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v.20, n.2, p.129-137, April-June, 2003.

COLONNA, P.; DOUBLIER, J. L.; MELCION, J. P.; DE MONTREDON, F.; MERCIER, C. Extrusion – Cooking and Drumdrying of wheat starch. I. Physical and Macromolecular modifications. **Cereal Chem.**, v. 61, n. 6, p. 538-543, 1984, *apud* LICETI DIBOS, Atílio Enrique. **Efeito da temperatura de extrusão e o teor de proteína da farinha de soja desengordurada na qualidade do macarrão instantâneo de arroz**. 130p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

COLONNA, P.; DOUBLIER, J. L.; MELCION, J. P.; DE MONTREDON, F.; MERCIER, C. Extrusion – Cooking and Drumdrying of wheat starch. I. Physical and Macromolecular modifications. **Cereal Chem.**, v.61, n.6, p.538-543, 1984.

Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal, 1998.

EL-DASH, Ahmed Atia. Application and Control of Thermoplastic Extrusion of Cereals for Food and Industrial Uses. In: POMERANZ, Y. & MUNCK, L. eds. **Cereals: a renewable resource, theory and practice**. St. Paul, Minnesota, AACC. p.165-216, 1981.

FAUBION, J. M.; HOSENEY, R. C.; SEIB, P. A. Functionality of grain components in extrusion. *Cereal Foods World*. V.27, n.5, p.212, 1982.

FERNANDES, M. S.; WANG, S.-H.; ASCHERI, J. L. R.; OLIVEIRA, M. F.; COSTA, S. A. J. Produtos extrusados expandidos de misturas de canjiquinha e soja para uso como petiscos. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.37, n.10, p.1495-1501, out., 2002.

FRAZIER, P. J.; CRAWSHAW, A.; DANIELS, N. W. R.; RUSSELL EGGITT, P. W. Optimization of process variables in extrusion texturing of soya. In: JOWITT, Ronald. ed. **EXTRUSION COOKING TECHNOLOGY**. London, Elsevier Applied Science Publishers LTD. p.1-25, 1984.

FRIEDRICH, W.; ROBOHM, K. F. Preßversuche mit Ligninsulfonat-bindemitteln. Kraftfutter, n.54, v.7, p. 344-349, 1970 *apud* THOMAS, M.; VAN VLIET, T; VAN DER POEL, A. F. B. Physical quality of pelleted animal feed 3. Contribution of feedstuff components. **Animal Feed Science Technology**, v.70, p.59-78, 1998.

GOMEZ, M. H. & AGUILERA, J; M. Changes in the starch fraction during extrusion cooking of corn. **Journal Food Science**. V.48, n.2, p.378-381, 1983.

HÁFEZ, Sônia. Mercado e Tendências do Pet Food no Brasil. In: II SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE ANIMAIS DE ESTIMAÇÃO, CBNA, 2002, Campinas. **Anais...** Campinas: CBNA, 149p., p.01-02, 2002.

HARPER, J. M. Food extruders and their applications. In: MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. (eds.) **Extrusion Cooking**. St. Paul, MN, AACC, p.1-15, 1998.

HIMADRI, K; DAS, A.; LAMBREV JEN HI TE, S. AKTERIAN; TANTCHVEV, S. Response Surface modeling of Extrusion Texturing of Defatted Soya Grits. **J. Food Sci. Technol.** v.29, n.3, p.141-146, 1992.

ILO, S.; TOMSCHIK, U.; BERGHOFER, E.; MUNDIGLER, N. The Effect of Extrusion Operating Conditions en the Apparent Viscosity and the Properties of Extrudates in Twin-screw Extrusion Cooking of Maize Grits. **Lebensm.-Wiss. u.-Technol.** v.29, n.7, p.593-598, 1996.

JOWITT, Ronald. ed. **EXTRUSION COOKING TECHNOLOGY**. London, Elsevier Applied Science Publishers LTD, 1984.

KEARS, J. P.; ROKEY, G. J.; HUBER, G. R. Extrusion of Texturized Proteins. World Conference on Vegetable Protein Utilization in human Foods and Animal Feedstuffs. **Proceedings...** Kansas, p.353-362, 1988, *apud* MENDES, Alexandre Consul. **Análise do Processo de Extrusão na Indústria de 'PET-FOOD' para a Aplicação de Técnicas de Controle Avançado**. 338p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

KEARNS, Joseph Patrick. Technology of production: extrusion and drying. In: II SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE ANIMAIS DE ESTIMAÇÃO, CBNA, 2002, Campinas. **Anais...** Campinas: CBNA, 149p., p.75-84, 2002.

KNACKE, O.; POHL, H. Experimenteller Beitrag zu den Grundlagen des Pelletisierens, **Chemie-Ing.-Tech.**, v.31, n.1, p.50-54 *apud* THOMAS, M.; VAN DER POEL, A. F. B. Physical quality of pelleted animal feed 1. Criteria for pellet quality. **Animal Feed Science Technology**, v.61, p.89-112, 1996.

LICETI DIBOS, Atílio Enrique. **Efeito da temperatura de extrusão e o teor de proteína da farinha de soja desengordurada na qualidade do macarrão instantâneo de arroz**. 130p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

LIN, S.; HSIEH, F.; HUFF, H. E. Effects of Lipids and Processing Conditions on Degree of Starch Gelatinization of Extruded Dry Pet Food. **Lebensm.-Wiss. u.-Technol.** v.30, p.754-761, 1997.

LINKO, P.; COLONNA, P.; MERCIER, C. HTST extrusion of cereal based materials. In: POMERANZ, Y. ed. **Advances in Cereal Science and Technology**, AACC, v.4, p.145-235, 1981.

LINKO, P.; Y. –Y. LINKO; OLKKU, J. Extrusion cooking and bioconversions. In: JOWITT, Ronald. ed. **EXTRUSION COOKING TECHNOLOGY**. London, Elsevier Applied Science Publishers LTD. p.143-157, 1984.

MATHEW, J. M.; HOSENEY, R. C.; FAUBION, J. M. Effects of Corn Sample, Mill Type, and Particle Size on Corn Curl and Pet Food Extrudates. **Cereal Chem.** V.76 n.5, p.621-624, 1999.

Melbar Produtos de Lignina Ltda. LIGNOSULFONATO – VIXIL. **Catálogo de produtos**. São Paulo.

MENDES, Alexandre Consul. **Análise do Processo de Extrusão na Indústria de ‘PET-FOOD’ para a Aplicação de Técnicas de Controle Avançado**. 338p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

MERCIER, C.; FEILLET, P. Modification of carbohydrate components by extrusion cooking of cereal products. **Cereal Chemistry**. v.52, n.3-1, p.283-297, May-June, 1975.

MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. (eds.) **Extrusion Cooking**. St. Paul, MN, AACC, p.1-15, 1998.

MILLAUER, C. The Monitoring and Control of an Extrusion System. In: O’CONNOR, Colm. ed. **Extrusion Technology for the Food Industry**. London, Elsevier Applied Science Publishers LTD. p.54-70, 1987.

MOHSENIN, NURI N. **Physical properties of plant and animal materials**: structure, physical characteristics and mechanical properties. Second Updated and Revised Edition. New York: Gordon and Breach Science Publishers, Inc., 1986.

MORRISON, H. L.; WALDROUP, P. W.; GREENE, D. E.; STEPHENSON, E. L. Determination of the Metabolizable Energy and Feeding Value of a Lignin Sulfonate Pellet Binder. **Poultry Science**, v.47, p. 592-597, 1968.

O'CONNOR, Colm. ed. **Extrusion Technology for the Food Industry**. London, Elsevier Applied Science Publishers LTD., 1987.

OSMAN, M. G.; SAHAI, D.; JACKSON, D. S. Oil Absorption Characteristics of a Multigrain Extrudate During Frying: Effect of Extrusion Temperature and Screw Speed. **Cereal Chem.** v.77, n.2, p.101-104, 2000.

OTUN, E. L.; CRAWSHAW, A.; FRAZIER, P. J. Flow behavior and structure of proteins and starches during extrusion cooking. In: FARIDI, H. & FAUBION, J. M. eds. **Fundamentals of dough rheology**. St. Paul, AACC, 1986, *apud* LICETI DIBOS, Atílio Enrique. **Efeito da temperatura de extrusão e o teor de proteína da farinha de soja desengordurada na qualidade do macarrão instantâneo de arroz**. 130p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

PFOST, H. B. Testing the durability of pelleted feed. **Feedstuffs**, v.23, p.66-68, march, 1963 *apud* THOMAS, M.; VAN DER POEL, A. F. B. Physical quality of pelleted animal feed 1. Criteria for pellet quality. **Animal Feed Science Technology**, v.61, p.89-112, 1996.

POMERANZ, Y. & MUNCK, L. eds. **Cereals: a renewable resource, theory and practice**. St. Paul, Minnesota, AACC, 1981.

PRADA, Flávio. Alimentos Premium e Super-Premium para Animais de Estimação. In: II SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE ANIMAIS DE ESTIMAÇÃO, CBNA, 2002, Campinas. **Anais...** Campinas: CBNA, 149p., p.03-18, 2002.

PROUDFOOT, F. G.; DEWITT, W. F. The effect of the Pellet Binder “Lignosol FG” on the Chicken’s Digestive System and General Performance. **Poultry Science**, v.55, p.629-631, 1976.

PROUDFOOT, F. G.; HULAN, H. W. Effects of Using 0, 1.0, 1.5, and 2.0% “Lignosol FG” as a Pellet Binder in Broiler Chick Finisher Diets. **Poultry Science**, v.58, p.87-89, 1979.

PROUDFOOT, F. G.; HULAN, H. W. The Effect of Nutri-Bond as a Pellet Binder in Chicken Broiler Diets. **Poultry Science**, v.59, p.659-661, 1980.

RIAZ, M. N. (ed.). **Extruders in Food Applications**. Boca Raton. CRC PRESS, 2002.

RIAZ, M. N. Introduction to extruders and their principles. In: RIAZ, M. N. (ed.) **Extruders in Food Applications**. Boca Raton. CRC PRESS, p.1-24, 2002.

ROBERSON. Kevin D. Effect of Feed Texture on Growth Performance and Litter Moisture When Fed to Growing-Finishing Commercial Toms. **International Journal of Poultry Science**, v.2, n.3, p.183-187, 2003.

ROSSEN, J. L. & MILLER, R. C. Food extrusion. **Food Technol.** V.27, n.8, p. 46-53, 1973
apud RIAZ, M. N. INTRODUCTION TO EXTRUDERS AND THEIR PRINCIPLES. In:
RIAZ, M. N. ed. **Extruders in Food Applications**. Boca Raton. CRC PRESS, p.1-24, 2002.

SEBIO, Leonard. **EFEITO DE ALGUNS PARÂMETROS OPERACIONAIS DE EXTRUSÃO NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA FARINHA DE INHAME (*Dioscorea rotundata*)**. 106p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

SIBBALD, I. R.; WOLYNETZ, M. S. Research Note: Pellet Binder and Steam Pelleting as Nitrogen-Corrected True Metabolizable Energy Contributors: An Example of the Statistics Used to Evaluate a Component of a Mixture. **Poultry Science**, v68, p.1299-1302.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL (SINDIRACOES), <<http://www.sindiracoes.org.br>>, 06/01/2005.

SMITH, O. B. History and status of specific protein-rich foods: extrusion-processed cereal foods. In., M. Milner (ed.). **Protein-Enriched Cereal Foods for World Needs**. AACC, St. Paul, MN, p.140-153, 1969. In: RIAZ, M. N. Introduction to extruders and their principles. In: RIAZ, M. N. (ed.). **Extruders in Food Applications**. Boca Raton. CRC PRESS, p.1-24, 2002.

SMITH, O. B. Why use extrusion. Symposium on Extrusion: Process and Product Development. AACC, St. Paul, MN, 1971. In: RIAZ, M. N. Introduction to extruders and their principles. In: RIAZ, M. N. (ed.). **Extruders in Food Applications**. Boca Raton. CRC PRESS, p.1-24, 2002.

SREBERNICH, Silvana Mariana. **Efeito da umidade, temperatura, velocidade do parafuso e diâmetro da matriz nas características do amido de sorgo submetido à extrusão termoplástica**. 107p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1989.

STATIGRAPHICS Plus for Windows 4.1, Professional Version. Copyright© 1994-1999 by Statistical Graphics Corp.

TERRA, P. Líquidos na Mistura, Peletização, Pós-Peletização e Extrusão. In: **Simpósio sobre tecnologia de adição de líquidos em sistemas sólidos**. SAPIA, Paulínia-SP, 2000.

THOMAS, M.; VAN DER POEL, A. F. B. Physical quality of pelleted animal feed 1. Criteria for pellet quality. **Animal Feed Science Technology**, v.61, p.89-112, 1996.

THOMAS, M.; VAN VLIET, T; VAN DER POEL, A. F. B. Physical quality of pelleted animal feed 3. Contribution of feedstuff components. **Animal Feed Science Technology**, v.70, p.59-78, 1998.

U. S. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION:

<http://www.fda.gov/ora/inspect_ref/iom/APPENDICES/appA10.html>, acessado em 05/01/2005

VAN ZUILICHEM, D. J.; MOSCICKI, L.; STOLP, W. Nieuwe bindmiddelen verbtern brokkwaliteit. **De Molenaar**. V.82, n.50, p.1572, 1979a, *apud* THOMAS, M.; VAN VLIET, T; VAN DER POEL, A. F. B. Physical quality of pelleted animal feed 3. Contribution of feedstuff components. **Animal Feed Science Technology**, v.70, p.59-78, 1998.

VAN ZUILICHEM, D. J.; MOSCICKI, L.; STOLP, W. Nieuwe bindmiddelen verbtern brokkwaliteit. **De Molenaar**. V.82, n.51-52, p.1618-1622, 1979b, *apud* THOMAS, M.; VAN VLIET, T; VAN DER POEL, A. F. B. Physical quality of pelleted animal feed 3. Contribution of feedstuff components. **Animal Feed Science Technology**, v.70, p.59-78, 1998.

VAN ZUILICHEM, D. J.; MOSCICKI, L.; STOLP, W. Nieuwe bindmiddelen verbtern brokkwaliteit. **De Molenaar**. V.83, n.1, p.12-18, 1980, *apud* THOMAS, M.; VAN VLIET, T; VAN DER POEL, A. F. B. Physical quality of pelleted animal feed 3. Contribution of feedstuff components. **Animal Feed Science Technology**, v.70, p.59-78, 1998.

VAN ZUILICHEM, D. J.; STOLP, W. SURVEY OF THE PRESENT EXTRUSION COOKING TECHNIQUES IN THE FOOD CONFECTIONARY INDUSTRY. In: O'CONNOR, Colm. ed. **Extrusion Technology For the Food Industry**. London, Elsevier Applied Science Publishers LTD. p.1-15, 1987.

VAN ZUILICHEM, D. J.; STOLP, W.; JANSSEN, L. P. B. M. Engineering Aspects of Single- and Twin-screw Extrusion-cooking of Biopolymers. In: **EXTRUSION COOKING TECHNOLOGY**. London, Elsevier Applied Science Publishers LTD. p.75-93, 1984.

WALDROUP, P. W.; RITCHIE, S. J.; RAMSEY, B. E. Effects of lignin sulfonate pellet binder on pellet quality and feeding value for broilers. **Feedstuffs**, v.54, n.3, p.33, 1982 *apud* ACAR, N.; MORAN, E. T. JR; REVINGTON, W. H.; BILGILI, S. F. Effect of Improved Pellet Quality from Using a Calcium Lignosulfonate Binder on Performance and Carcass Yield of Broilers Reared Under Different Marketing Schemes. **Poultry Science**, 70, p. 1339-1344, 1991.

WALDROUP, P. W.; WATKINS, S. E.; SKINNER, J. T.; DESAI, A. D. Stability of Bacitracin Methylene Disalicylate in the Presence of Pellet Binding Agents in Poultry Feed. **International Journal of Poultry Science**, v.1, n.1. p.13-15, 2002.

WINOWISKI, T. S. **Factors that Affect Pellets Quality and Trouble Shooting the Pelleting Process**. Technical Bulletin. Vol FT-23-1995. American Soybean Association. Singapore, 1995.

YEH, A. I. e JAW, Y. M. Modeling Residence Time Distributions for Single Screw Extrusion Process. **Journal of Food Engineering**, v.35, p.211-232, 1998 *apud* MENDES, Alexandre Consul. **Análise do Processo de Extrusão na Indústria de 'PET-FOOD' para a Aplicação de Técnicas de Controle Avançado**. 338p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de

Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2003.

ZIGGERS, D. The better the pellet, the better the performance. **Feed Tech.** v.8, n.6, p.18-21, 2004.