

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E VALOR BIOLÓGICO DE  
RAÇÕES AQUÁTICAS ELABORADAS EM EXTRUSOR  
DE DUPLA ROSCA COM DIFERENTES NÍVEIS DE  
SUBSTITUIÇÃO DO FARELO DE SOJA PELA SOJA  
INTEGRAL**

**Manoel Soares Soares Júnior**

PARECER

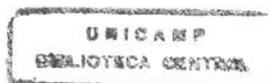
Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por Manoel Soares Soares Júnior, aprovada pela Comissão Julgadora em 03 de maio de 2000.

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, para obtenção do título de Doutor em Tecnologia de Alimentos.

Campinas, 03 de maio de 2000.

  
Prof. Dr. Yoon Kil Chang  
Presidente da Banca

CAMPINAS  
Estado de São Paulo - Brasil  
Março - 2000



**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E VALOR BIOLÓGICO DE  
RAÇÕES AQUÁTICAS ELABORADAS EM EXTRUSOR  
DE DUPLA ROSCA COM DIFERENTES NÍVEIS DE  
SUBSTITUIÇÃO DO FARELO DE SOJA PELA SOJA  
INTEGRAL**

**Manoel Soares Soares Júnior**

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **Yoon Kil Chang**

Co-orientador: Prof. Dr. **Luiz Edivaldo Pezzato**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, para obtenção do título de Doutor em Tecnologia de Alimentos

CAMPINAS  
Estado de São Paulo - Brasil  
Março - 2000

900001137

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	T/UNICAMP
	So. 11c
V.	Ex.
TOMBO BC/	41470
PROC.	278/00
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	11-07-00
OPD	

CM-00143120-8

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA F.E.A. - UNICAMP

So 11c	<p>Soares Júnior, Manoel Soares</p> <p>Características físicas e valor biológico de rações aquáticas elaboradas em extrusor de dupla rosca com diferentes níveis de substituição do farelo de soja pela soja integral / Manoel Soares Soares Júnior. – Campinas, SP: [s.n.], 2000.</p> <p>Orientador: Yoon Kil Chang Co-orientador: Luiz Edivaldo Pezzato Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos.</p> <p>1. Peixe – Alimentação e rações. 2. Processo de extrusão. 3. Soja. 4. Farelo de soja. 5. Nutrição. I. Chang, Yoon Kil. II. Pezzato, Luiz Edivaldo. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. IV. Título.</p>
--------	---

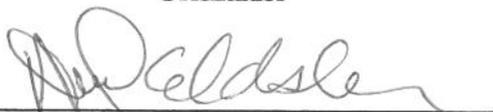
**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E VALOR BIOLÓGICO DE RAÇÕES  
AQUÁTICAS ELABORADAS EM EXTRUSOR DE DUPLA ROSCA COM  
DIFERENTES NÍVEIS DE SUBSTITUIÇÃO DO FARELO DE SOJA PELA SOJA  
INTEGRAL**

**Manoel Soares Soares Júnior**



---

**Prof. Dr. Yoon Kil Chang**  
FEA/UNICAMP  
Orientador



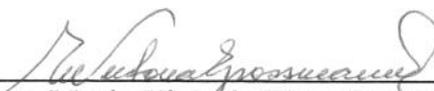
---

**Prof. Dr. Ahmed Atia El-Dash**  
FEA/UNICAMP  
Membro



---

**Zoot. Dra. Margarida Maria Barros Ferreira Lima**  
UNESP/FMVZ  
Membro



---

**Prof. Dra. Maria Victoria Eiras Grossmann**  
TAM/UEL  
Membro



---

**Prof. Dr. Jaime Amaya Farfan**  
FEA/UNICAMP  
Membro

---

**Prof. Dra. Lireny Aparecida Guaraldo Gonçalves**  
FEA/UNICAMP  
Membro

---

**Prof. Dr. Jose Eurico Possebon Cyrino**  
ESALQ/USP  
Membro

Aprovado em     de Abril de 2000.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, TEREZINHA e MANOEL e aos meus irmãos, TEREZINHA, OBERDAN, JUSSARA e MÁRCIA.

## BELO BELO

Belo belo minha bela  
Tenho tudo que não quero  
Não tenho nada que quero  
Não quero óculos nem tosse  
Nem obrigação de voto  
Quero quero  
Quero a solidão dos píncaros  
A água da fonte escondida  
A rosa que floresceu  
Sobre a escarpa inacessível  
A luz da primeira estrela  
Piscando no lusco-fusco  
Quero quero  
Quero dar a volta ao mundo  
Só num navio a vela  
Quero rever Pernambuco  
Quero ver Bagdá e Cusco  
Quero quero  
Quero o moreno de Estela  
Quero a brancura de Elisa  
Quero a saliva de Bela  
Quero as sardas de Adalgisa  
Quero quero tanta coisa  
Belo belo  
Mas basta de lero-lero  
Vida nove fora zero.

Manuel Bandeira

## HOMENAGEM

Aos professores Dr. Yoon Kil Chang, Dr. Luiz Edivaldo Pezzato e a Dra. Lireny Aparecida Guaraldo Gonçalves, pelo exemplo profissional e humano e pela amizade e carinho dedicados à minha formação.

## AGRADECIMENTOS

À Engenheira Química Dra. Wilma Aparecida Spinosa, à Profa. Dra. Edma Miranda e ao Engenheiro Químico Dr. Márcio Caliarí pela amizade, incentivo e auxílio na execução deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Gil Eduardo Serra e à Zootecnista Dra. Margarida Maria Barros Ferreira Lima pela amizade, auxílio e sugestões apresentadas.

À Coordenadoria do Curso de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos, pela confiança depositada ao possibilitar a minha participação no Curso de Pós-Graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela concessão da bolsa de doutoramento.

À Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Departamento de Tecnologia de Alimentos e Laboratórios de Tecnologia de Cereais e Tubérculos e Óleos e Gorduras e seus funcionários, pelo apoio e auxílio a este trabalho.

À Universidade Estadual de São Paulo, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu, Departamento de Melhoramento e Nutrição Animal e Laboratórios de Nutrição de Organismos Aquáticos e de Bromatologia e seus funcionários, pelo auxílio no trabalho experimental e análises químicas.

Aos funcionários da Fundação de Ensino do Município de Assis, Laboratório de Análises Químicas pelo auxílio nas análises químicas.

Às empresas Ralston Purina do Brasil Ltda, Caramuru Alimentos de Milho Ltda., Kowalski Alimentos Ltda., Nutron Alimentos Ltda., que gentilmente doaram as matérias-primas utilizadas nas rações experimentais.

Ao Lab Tec Ltda e seus funcionários pelas análises de índice de peróxido das rações experimentais.

À Universidade de Marilha, na pessoa do Prof. Carlo Rossi Del Carratore, pela doação dos alevinos de Piavuçu.

Aos amigos Kelly, Carol, Isa, Rosana, Miguel, Betinha, Jorge, Leonard, Miriam, Marlene, Zezé, Nilo, Seu Zé, Cida, Georgia, Furuya, Ricardo, Ângela, Renata, Mirna, Juliano, e a todos que de alguma forma contribuíram para a execução deste trabalho.

# ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE ANEXOS.....	xv
RESUMO.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
I. INTRODUÇÃO.....	01
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	04
2.1. OPERAÇÕES UNITÁRIAS NA PRODUÇÃO DE RAÇÕES.....	04
2.1.1. Ingredientes.....	06
2.1.2. Recepção e armazenamento de grãos.....	08
2.1.3. Pré-processamento.....	09
2.1.4. Peletização a vapor.....	10
2.1.5. Extrusão.....	11
2.1.6. Secagem, resfriamento e recebimento.....	13
2.1.7. Controle de qualidade.....	15
2.2. PELETIZAÇÃO AO VAPOR CONTRA EXTRUSÃO.....	16
2.3. EXTRUSOR DE ROSCA ÚNICA E DUPLA.....	19
2.4. EFEITO DAS VARIÁVEIS DE EXTRUSÃO.....	21
2.5. PADRÕES DE QUALIDADE DE RAÇÕES AQUÁTICAS.....	27
2.6. SUBSTITUIÇÃO DA PROTEÍNA ANIMAL PELA VEGETAL.....	29
2.7. SOJA.....	31
2.7.1. Fatores anti-nutricionais da soja.....	33
2.7.2. Qualidade da soja como matéria-prima.....	36
2.7.3. Processamento da soja.....	36
2.7.4. Farelo de soja.....	37
2.7.5. Farinha de soja integral.....	39
2.7.6. Tratamento térmico da soja integral.....	41
2.8. PIAVUÇU ( <i>Leporinus macrocephalus</i> ).....	44
III. MATERIAL E MÉTODOS.....	46

3.1. MATÉRIA-PRIMA.....	46
3.2. EXPERIMENTO DE EXTRUSÃO.....	46
3.2.1. Formulação das rações.....	46
3.2.2. Preparo das rações por extrusão.....	48
3.2.3. Determinação da composição química dos ingredientes e rações.....	50
3.2.4. Planejamento experimental.....	50
3.2.4.1. Triagem das variáveis.....	50
3.2.4.2. Modelagem.....	50
3.2.5. Variáveis resposta.....	54
3.2.5.1. Capacidade de flutuação.....	54
3.2.5.2. Peso específico aparente.....	54
3.2.5.3. Taxa de expansão radial.....	54
3.2.5.4. Perda por lixiviação na água e absorção de água.....	55
3.2.5.5. Dureza.....	55
3.2.6. Análise dos resultados.....	56
3.3. EXPERIMENTO BIOLÓGICO 1.....	57
3.3.1. Qualidade da água.....	57
3.3.2. Desempenho zootécnico e das rações.....	58
3.3.3. Composição química da carcaça inteira e limpa.....	58
3.3.4. Composição de ácidos graxos da carcaça inteira.....	59
3.3.5. Análise dos resultados.....	60
3.4. EXPERIMENTO BIOLÓGICO 2.....	60
3.4.1. Digestibilidade das rações.....	60
3.4.2. Análise dos resultados.....	62
3.5. ÍNDICE DE PERÓXIDO DAS RAÇÕES.....	62
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
4.1. ANÁLISE QUÍMICA DOS MACROINGREDIENTES.....	63
4.2. ANÁLISE QUÍMICA DAS RAÇÕES EXPERIMENTAIS.....	64
4.3. TRIAGEM DAS VARIÁVEIS.....	65
4.4. PROPRIEDADES FÍSICAS DAS RAÇÕES.....	67
4.4.1. Capacidade de flutuação.....	67

4.4.2. Peso específico aparente.....	74
4.4.3. Índice de expansão radial.....	82
4.4.4. Perdas por lixiviação na água.....	90
4.4.5. Absorção de água.....	98
4.4.6. Dureza.....	107
4.5. OTIMIZAÇÃO DAS RAÇÕES.....	114
4.6. ÍNDICE DE PERÓXIDO DAS RAÇÕES A 5 E 25°C.....	118
4.7. CRESCIMENTO, CONSUMO E UTILIZAÇÃO DAS RAÇÕES.....	121
4.8. DIGESTIBILIDADE.....	130
4.9. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CARAÇA DE PIAVUÇU.....	134
4.10. COMPOSIÇÃO EM ÁCIDOS GRAXOS DO PIAVUÇU.....	139
V. CONCLUSÕES.....	143
VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	145
ANEXOS.....	164

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1. Esquema geral de fabricação de rações.....	05
FIGURA 3.1. Extrusor de dupla rosca.....	49
FIGURA 4.1. Efeito da temperatura e umidade na capacidade de flutuação da ração controle.....	69
FIGURA 4.2. Efeito da temperatura e umidade na capacidade de flutuação da ração com 30% de substituição.....	70
FIGURA 4.3. Efeito da temperatura, velocidade de alimentação e umidade na capacidade de flutuação da ração com 48% de substituição.....	71
FIGURA 4.4. Efeito da umidade na capacidade de flutuação da ração com 78% de substituição.....	72
FIGURA 4.5. Efeito da umidade na capacidade de flutuação da ração com 100% de substituição.....	73
FIGURA 4.6. Efeito da temperatura e umidade no peso específico aparente da ração controle.....	76
FIGURA 4.7. Efeito da temperatura, velocidade de alimentação e umidade na peso específico aparente da ração com 48% de substituição.....	77
FIGURA 4.8. Efeito da temperatura e umidade no peso específico aparente da ração com 48% de substituição.....	78
FIGURA 4.9. Efeito da temperatura e umidade no peso específico aparente da ração com 74% de substituição.....	79
FIGURA 4.10. Efeito da temperatura e umidade no peso específico aparente da ração com 100% de substituição.....	80
FIGURA 4.11. Efeito da temperatura e umidade no índice de expansão radial da ração controle.....	84
FIGURA 4.12. Efeito da temperatura no índice de expansão radial da ração com 30% de substituição.....	85
FIGURA 4.13. Efeito da temperatura e umidade no índice de expansão radial da ração com 48% de substituição.....	86
FIGURA 4.14. Efeito da temperatura e umidade no índice de expansão radial da ração com 74% de substituição.....	87
FIGURA 4.15. Efeito da temperatura e umidade no índice de expansão radial da ração com 100% de substituição.....	88
FIGURA 4.16. Efeito da temperatura, velocidade de alimentação e umidade nas perdas por lixiviação na água da ração controle.....	93
FIGURA 4.17 Efeito da temperatura nas perdas por lixiviação na água da ração com 30% de substituição...	94
FIGURA 4.18 Efeito da temperatura e umidade nas perdas por lixiviação na água da ração com 48% de substituição.....	94
FIGURA 4.19. Efeito da velocidade de alimentação e umidade nas perdas por lixiviação na água da ração com 74% de substituição.....	95
FIGURA 4.20 Efeito da temperatura e umidade nas perdas por lixiviação na água da ração com 100% de substituição.....	96

FIGURA 4.21 Efeito da temperatura e umidade na absorção de água da ração controle.....	100
FIGURA 4.22. Efeito da temperatura, velocidade de alimentação e umidade na absorção de água da ração com 30% de substituição.....	101
FIGURA 4.23. Efeito da temperatura e velocidade de alimentação na absorção de água da ração com 48% de substituição.....	102
FIGURA 4.24. Efeito da temperatura, velocidade de alimentação e umidade na absorção de água da ração com 74% de substituição.....	103
FIGURA 4.25. Efeito da temperatura, velocidade de alimentação e umidade na absorção de água da ração com 100% de substituição.....	104
FIGURA 4.26. Efeito da temperatura, velocidade de alimentação e umidade na dureza da ração controle...	107
FIGURA 4.27. Efeito da temperatura e umidade na dureza da ração com 30% de substituição.....	108
FIGURA 4.28. Efeito da temperatura e umidade na dureza da ração com 48% de substituição.....	109
FIGURA 4.29. Efeito da temperatura e umidade na dureza da ração com 74% de substituição.....	110
FIGURA 4.30. Efeito da temperatura e umidade na dureza da ração com 100% de substituição.....	111
FIGURA 4.31. Otimização da ração controle.....	113
FIGURA 4.32. Otimização da ração com 30% de substituição.....	114
FIGURA 4.33. Otimização da ração com 48% de substituição.....	115
FIGURA 4.34. Otimização da ração com 74% de substituição.....	116
FIGURA 4.35. Otimização da ração com 100% de substituição.....	117
FIGURA 4.36. Índice de peróxido das rações armazenadas a temperatura ambiente aos 0, 30, 60 e 90 dias.....	120
FIGURA 4.37. Índice de peróxido das rações armazenadas sob refrigeração aos 0, 30, 60 e 90 dias.....	121
FIGURA 4.38. Ganho de peso do piavuçu em função do nível de substituição de FS por SI na ração.....	123
FIGURA 4.39. Piavuços ( <i>Leporinus macrocephalus</i> ) alimentados com rações com diferentes níveis de substituição de FS por SI, após 70 dias de experimento.....	124
FIGURA 4.40. Consumo de ração extrusada com diferentes níveis de substituição de FS por SI.....	125
FIGURA 4.41. Incremento em comprimento do piavuçu em função do nível de substituição de FS por SI na ração extrusada.....	126
FIGURA 4.42. Conversão alimentar da ração extrusada em função do nível de substituição de FS por SI com piavuçu.....	127

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1. Comparações entre a ração peletizada e a extrusada.....	17
TABELA 2.2. Intensidade de ação dos fatores nas condições dos processos.....	23
TABELA 3.1. Composição dos ingredientes e valor nutritivo das rações.....	47
TABELA 3.2. Planejamento fatorial fracionário (valores codificados).....	51
TABELA 3.3. Variáveis e níveis de variação (triagem).....	51
TABELA 3.4. Planejamento $2^3$ com 3 variáveis e 3 repetições no ponto central.....	52
TABELA 3.5. Variáveis e níveis de variação (modelagem).....	53
TABELA 3.6. Fórmulas de ganho de peso, incremento de comprimento, conversão alimentar, taxa de eficiência protéica e taxa de sobrevivência.....	59
TABELA 4.1. Composição centesimal da soja, farelo de soja e milho.....	63
TABELA 4.2. Composição centesimal das rações experimentais extrusadas.....	64
TABELA 4.3. Médias dos dados experimentais de capacidade de flutuação na triagem..	65
TABELA 4.4. Efeito das variáveis sobre a capacidade de flutuação na triagem.....	65
TABELA 4.5. Médias dos resultados experimentais de capacidade de flutuação.....	68
TABELA 4.6. Modelos de regressão e parâmetros estatísticos da capacidade de flutuação para os diferentes níveis de substituição de FS por SI.....	69
TABELA 4.7. Médias dos resultados experimentais de peso específico aparente.....	75
TABELA 4.8. Modelos de regressão e parâmetros estatísticos do peso específico aparente para os diferentes níveis de substituição de FS por SI.....	75
TABELA 4.9. Médias dos resultados experimentais de índice de expansão radial.....	83
TABELA 4.10. Modelos de regressão e parâmetros estatísticos do índice de expansão radial para os diferentes níveis de substituição de FS por SI.....	83
TABELA 4.11. Médias dos resultados experimentais de perdas por lixiviação na água....	91
TABELA 4.12. Modelos de regressão e parâmetros estatísticos das perdas por lixiviação na água para os diferentes níveis de substituição de FS por SI.	92
TABELA 4.13. Médias dos resultados experimentais de absorção de água.....	99
TABELA 4.14. Modelos de regressão e parâmetros estatísticos da absorção de água para os diferentes níveis de substituição de FS por SI.....	99
TABELA 4.15. Médias dos resultados experimentais de dureza.....	106

TABELA 4.16. Modelos de regressão e parâmetros estatísticos da dureza para os diferentes níveis de substituição de FS por SI.....	107
TABELA 4.17. Limites aceitáveis das propriedades físicas das rações experimentais...	112
TABELA 4.18. Resultados do índice de peróxido das rações armazenadas a 5 e 25°C...	119
TABELA 4.19. Médias dos resultados experimentais do desempenho do piavuçu e das rações experimentais extrusadas.....	122
TABELA 4.20. Resultados do coeficiente de digestibilidade aparente da fração proteína das diferentes rações com piavuçu.....	131
TABELA 4.21. Médias dos resultados experimentais do coeficiente de digestibilidade aparente das diferentes rações com tilápia do Nilo.....	132
TABELA 4.22. Composição média da carcaça inteira do piavuçu no início do experimento.....	134
TABELA 4.23. Teores médios de proteína bruta, extrato etéreo e matéria mineral das carcaças inteira e limpa dos piavuçus alimentados com as rações experimentais.....	135
TABELA 4.24. Médias dos resultados experimentais dos ácidos graxos da carcaça inteira dos piavuçus antes e após o tratamento com as rações.....	141

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Configuração das roscas do extrusor.....	165
ANEXO 2. PROC GLM para capacidade de flutuação na ração controle.....	166
ANEXO 3. PROC ANOVA/TUKEY para os dados experimentais de gordura visceral..	167

## RESUMO

A soja (*Glicine max*) não é utilizada na sua forma integral em grão pelas empresas produtoras de rações extrusadas para aquicultura. O farelo e o óleo de soja normalmente são adquiridos separadamente e são novamente misturados com outros ingredientes, principalmente com o milho e suplementos minerais e vitamínicos para completar as formulações pré-estabelecidas para cada espécie alvo. Este trabalho investigou primeiramente o efeito das variáveis de extrusão sobre as características físicas das rações com níveis de substituição do farelo de soja pela soja integral da ordem de 0%, 30%, 48%, 74% e 100%. Após a triagem das variáveis, foram realizados 11 tratamentos para cada nível de substituição, usando um extrusor Werner & Pfleiderer ZSK-30 de dupla rosca, de acordo com um delineamento fatorial  $2^3$  com três repetições no ponto central. As variáveis independentes foram: temperatura de extrusão, velocidade de alimentação e umidade. Usou-se a metodologia de superfície de resposta para avaliar o efeito combinado das variáveis independentes sobre as variáveis-resposta. As médias de cada tratamento foram tratadas por análise de regressão múltipla para elaboração de modelos de primeira ordem. Também usou-se a análise de variância para testar a adequação dos modelos usando o SAS for Windows, e foram construídos gráficos tridimensionais usando o programa STATISTICA. A capacidade de flutuação diminuiu com a redução da temperatura e aumento da umidade e nível de substituição do farelo de soja pela soja integral. O peso específico aparente tendeu a diminuir com o aumento da temperatura e do nível de substituição e diminuição da umidade. Posteriormente, dois ensaios biológicos foram realizados, um para avaliação do desempenho zootécnico e composição da carcaça dos peixes alimentados com as rações de diferentes níveis de substituição do farelo de soja pela soja integral, outro para digestibilidade das rações. No primeiro, foram usados 100 juvenis de piavuçu (*Leporinus macrocephalus*) com peso médio de 5,06 g e comprimento inicial médio de 73,0 mm. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com 5 tratamentos e 4 repetições e a análise dos dados foi realizada através de análise de variância. As 5 rações experimentais foram isoproteicas, isocálcicas e isofosfóricas, mas não isoenergéticas, em função da substituição do farelo pela soja integral e aumento do teor de lipídios na composição das rações. Não foi constatada diferença significativa ( $P < 0,05$ ) quanto ao ganho de peso, incremento de comprimento, consumo de ração, conversão alimentar e eficiência de fixação de proteína, evidenciando que não houve efeito deletério para o piavuçu quando da utilização da soja integral em substituição ao farelo de soja nas rações extrusadas usando equipamento de dupla rosca. Embora não tenha sido constatada diferença significativa quanto ao ganho de peso entre os tratamentos, observou-se através das análises do coeficiente de digestibilidade aparente, que as rações com 74% e 100% de substituição foram significativamente melhor aproveitadas que as demais rações, evidenciando um efeito positivo dos lipídios na digestibilidade das rações. O aumento do nível de substituição do farelo de soja pela soja integral nas rações elevou significativamente o teor de gordura e diminuiu o teor de proteína e minerais da carcaça inteira do piavuçu, mas não afetou o teor de gordura, proteína e minerais da carcaça limpa. Entretanto, o aumento do nível de substituição do farelo de soja pela soja integral ocasionou um aumento dos ácidos graxos insaturados e diminuição dos saturados na carcaça dos juvenis de piavuçu.

Palavras chave: Ração – peixe, extrusão, soja integral, farelo de soja, nutrição, piavuçu.

## ABSTRACT

Full fat soy bean (*Glycine max*) is not used by the producers of extruded feed for aquaculture. Soy bean meal and soy bean oil are usually acquired separately, and then mixed with other ingredients, particularly corn and mineral and vitamin supplements, to complete the pre-established recommendation for each target species. Firstly, this thesis investigated the effect of extrusion variables on the physical characteristics of the feed with increased levels substitution of soy bean meal for full fat soy bean: 0%, 30%, 48%, 74% and 100%. After selection of the variables, 11 treatments were set up for each substitution level, using a twin-screw extruder (Werner & Pfleiderer ZSK-30), according to a factorial design of  $2^3$  with three repetitions of the central point. The independent variables were: extrusion temperature, feeding rate and moisture. The surface-response method was used to evaluate the combined effect of the independent variables on the dependent variables. Means of treatments were treated by multiple regression analysis to the elaboration of models of first order. Variance analysis was used to test the adequacy of the models using SAS procedures for Windows, and tridimensional graphics were built using the STATISTICA program. The buoyancy decreased with the reduction of temperature, increase of moisture and substitution level of soy bean meal for full fat soy bean. The specific apparent weight tended to decrease with the increase of temperature and level of substitution and reduction of moisture. Two biological experiments were performed. One to evaluate the animal performance and carcass composition of fish fed with feed of different substitution levels of soy bean meal for full fat soy bean and another to evaluate digestibility. In the first way, 100 juveniles "piavuçu" (*Leporinus macrocephalus*) were used with medium weight of 5,06g and initial medium length of 73mm. The experimental design used was completely randomized, with 5 treatments and 4 repetitions and the data submitted to analysis of variance. The experimental feeds were all isoproteic, isocalcium e isophosphoric, but not isoenergetic, because of the substitution of soy bean meal for full fat soy bean and the increase of the lipid level in the composition of the feed. No significant differences were observed in weight gain, length increase, feed consumption, feed conversion and protein fixation efficiency, proving that there was not a harmful effect to the piavuçu when full fat soy bean was used in substitution of soy bean meal and extruded feed is produced in twin screw equipment. Although no significant difference in weight gain between treatments was noticed, it was observed through the analysis of the apparent digestibility coefficient that feed with 74% and 100% of substitution were more efficiently used than the other feeds, proving a positive effect of the lipids on the feed digestion. The increase in substitution level of soy bean meal for soy bean full fat in the feed increased significantly the grade of fat and decreased the grade of protein and minerals of "piavuçu" full carcass, but did not affect the grade of fat, protein and minerals of the clean carcass. The increase of the substitution level caused an increase of the unsaturated and a decrease of the saturated fatty acids in the carcass of juvenile "piavuçu".

Key words: Feed – fish, extrusion, full-fat soy bean, soy bean meal, nutrition, piavuçu.

## I. INTRODUÇÃO

No Brasil a demanda por rações comerciais para organismos aquáticos tem crescido rapidamente. A produção de rações para a aquicultura cresceu de 4.200 ton. em 1992 para 60.000 ton. em 1997, e segundo a Associação Nacional dos Produtores de Alimentos para Animais (ANFAL) deve chegar a 90.000 ton. em 1999. Este montante deverá ser produzido por 32 companhias, sendo que 90% será constituída de rações para peixes (ANFAL, 1998).

O farelo de soja é o segundo componente, em quantidade, mais utilizado nas rações animais. Representa ao redor de 19,7% de todas as matérias-primas utilizadas, somente perdendo para o milho. Atualmente, entre as fontes de proteínas vegetais, este é o ingrediente protéico mais econômico para alimentar animais monogástricos. Segundo a ANFAL/SINDIRAÇÕES (1999), foram produzidos um total de 27,3 milhões de toneladas de soja no Brasil em 1998, das quais 8,3 milhões de toneladas foram exportadas e 18,9 milhões de toneladas foram processadas, produzindo-se 14,8 milhões de toneladas de farelo. Cerca de 60% do farelo de soja produzido foi exportado, principalmente para países de avicultura e suinocultura intensivas.

Não existem estimativas sobre o volume de soja integral utilizado pela indústria de ração, pois, o grão de soja "in natura" ou integral não é utilizado como ingrediente nas rações comerciais, apesar de possuir composição de aminoácidos adequada e alto teor energético. As temperaturas usadas no processamento das rações comerciais peletizadas não são suficientemente altas para inativar os fatores anti-nutricionais presentes na soja integral, que prejudicam o desenvolvimento dos animais.

Por outro lado, o farelo de soja sofre tratamento térmico durante a extração com solvente. A temperatura atingida normalmente inativa os fatores anti-nutricionais, tornando o farelo de soja mais estável quimicamente. Isto possibilita um manejo mais flexível do ingrediente dentro da indústria.

Quando industrializada, a soja integral produz 80 a 82% de farelo e 18 a 20% de óleo degomado. As empresas produtoras de rações adquirem estes produtos industrializados, voltando a misturá-los em suas unidades, agregando os custos inerentes de processamento ao preço final da

ração. Seria economicamente vantajoso se pudéssemos economizar o tempo e o custo de industrialização embutido neste processo mediante o uso da soja integral.

A fabricação de rações através do processo de extrusão é um ótimo meio para inativar os fatores anti-nutricionais presentes na soja integral, e envolve além da componente térmica o trabalho mecânico, que causa o rompimento das paredes celulares dos grãos, ocasionando um aumento da digestibilidade dos nutrientes e da energia metabolizável. Um manejo adequado das variáveis do processo de extrusão permite melhorar a qualidade do produto final. As rações extrusadas podem flutuar ou afundar, dependendo da espécie alvo e possuem maior estabilidade na água, facilitando o manejo de alimentação, reduzindo perdas e melhorando a qualidade da água. Assim, é possível obter maior produtividade por unidade de área, com redução dos custos e aumento da lucratividade na piscicultura.

Sabe-se que a ração é um insumo que contribui com a maior parte dos custos da piscicultura. Estudos visando diminuir o custo e melhorar a qualidade das rações, como por exemplo a utilização da soja integral na ração extrusada, podem desenvolver ainda mais a piscicultura, tornando-a mais competitiva frente às outras atividades zootécnicas.

Atualmente é comum o uso de soja integral extrusada como ingrediente industrializado nas formulações de rações comerciais, devido seu alto valor energético. Porém, este ingrediente possui um diferencial de custo elevado em relação à soja integral não extrusada. A utilização da soja integral na formulação de rações extrusadas pode adicionar níveis altos de lipídios às dietas. A ação "economizadora de proteína" dos lipídios na dieta ainda é desconhecida para a maioria das espécies aquáticas.

Algumas espécies de organismos aquáticos utilizam os lipídios para poupar a utilização de proteínas como nutriente energético e, assim, aumentar a eficiência de fixação da proteína nos tecidos. Os ingredientes protéicos são os componentes de custo mais elevado das rações.

Recentemente, com a expansão da atividade pesqueira em estabelecimentos conhecidos como "pesque e pague", tem-se buscado a produção de espécies que se adaptem à pesca esportiva. Entre as espécies brasileiras destaca-se o piavuçu (*Leporinus macrocephalus*), atualmente muito criado com esta finalidade. Esta espécie possui bom desempenho zootécnico, aceitam facilmente as dietas artificiais e, apesar de ser apropriada para o manejo sob condições

intensivas, ainda é muito pouco estudada. Com base no exposto, os objetivos deste trabalho foram:

- Verificar a viabilidade da substituição do farelo de soja por soja integral em rações extrusadas, produzidas experimentalmente em um extrusor de dupla rosca de laboratório.
- Estudar o efeito da temperatura de extrusão, umidade e velocidade de alimentação do extrusor (definidas como as variáveis mais importantes para a flutuação da ração extrusada) sobre a capacidade de flutuação na água, peso específico aparente, índice de expansão radial, perdas por lixiviação na água, absorção de água e dureza das cinco rações extrusadas com diferentes níveis de substituição de farelo de soja por soja integral.
- Estudar a vida de prateleira das rações extrusadas, principalmente sua estabilidade em relação à oxidação durante o armazenamento à temperatura ambiente e sob refrigeração.
- Estudar o efeito das rações extrusadas, selecionadas com base nas propriedades físicas desejadas, sobre o crescimento e ganho de peso de juvenis de piavuçu, *Leporinus macrocephalus*.
- Verificar o consumo, a conversão alimentar e a taxa de eficiência protéica das rações extrusadas, pelo piavuçu.
- Determinar a digestibilidade das frações matéria seca, proteína e extrato etéreo das rações extrusadas com adultos de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, e a digestibilidade da fração proteína com os juvenis de piavuçu, *Leporinus macrocephalus*.
- Determinar os teores de umidade, proteína bruta, extrato etéreo e matéria mineral das amostras de carcaça inteira e carcaça limpa dos piavuçus, antes e depois de alimentados com as diferentes rações extrusadas. Quantificar a gordura acumulada nas vísceras e o teor de lipídios do fígado dos piavuçus submetidos às diferentes rações extrusadas.
- Qualificar e quantificar os principais ácidos graxos existentes nos piavuçus arraçoados com as diferentes rações extrusadas.

## II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. OPERAÇÕES UNITÁRIAS NA PRODUÇÃO DE RAÇÕES AQUÁTICAS

Segundo HEIJNEN (1998) as demandas do mercado têm provocado no mundo inteiro algumas tendências gerais na tecnologia de rações: a) uso de uma maior variedade de matérias-primas que possam permitir que as rações atendam às exigências dos animais a um custo aceitável pelos consumidores; b) maior mecanização e automação para produzir produtos de melhor qualidade, com menor custo e maior flexibilidade; c) pré-processamento ou preparo das matérias-primas em separado da linha de produção para evitar a contaminação cruzada e assim tornar mais eficiente a produtividade; d) uso de equipamentos que reduzam o ruído, a poluição e a emissão de resíduos para proteger o ambiente e melhorar as condições de trabalho nas fábricas e e) aumento do uso de sistemas de controle para melhorar a qualidade e diminuir os custos.

O processo de produção de rações comerciais envolve basicamente os passos apresentados na Figura 2.1.

Após os grãos serem triturados em um moinho de martelos, os ingredientes agrupados e pesados são misturados em lotes. Logo após, a mistura sofre uma nova moagem, e é extrusada ou peletizada a vapor. Os grânulos formados são resfriados, e/ou secos, cobertos com gordura, peneirados e armazenados para o ensaque ou transporte a granel (ROBINSON & LI, 1995).

Todos os animais necessitam de proteínas, vitaminas, lipídios e energia para o crescimento normal e outras funções fisiológicas. O principal objetivo de quem transforma os ingredientes em ração é maximizar o valor nutricional dos vários componentes para obter os níveis de nutrientes exigidos pelas diferentes espécies e assim aumentar os lucros da produção animal.

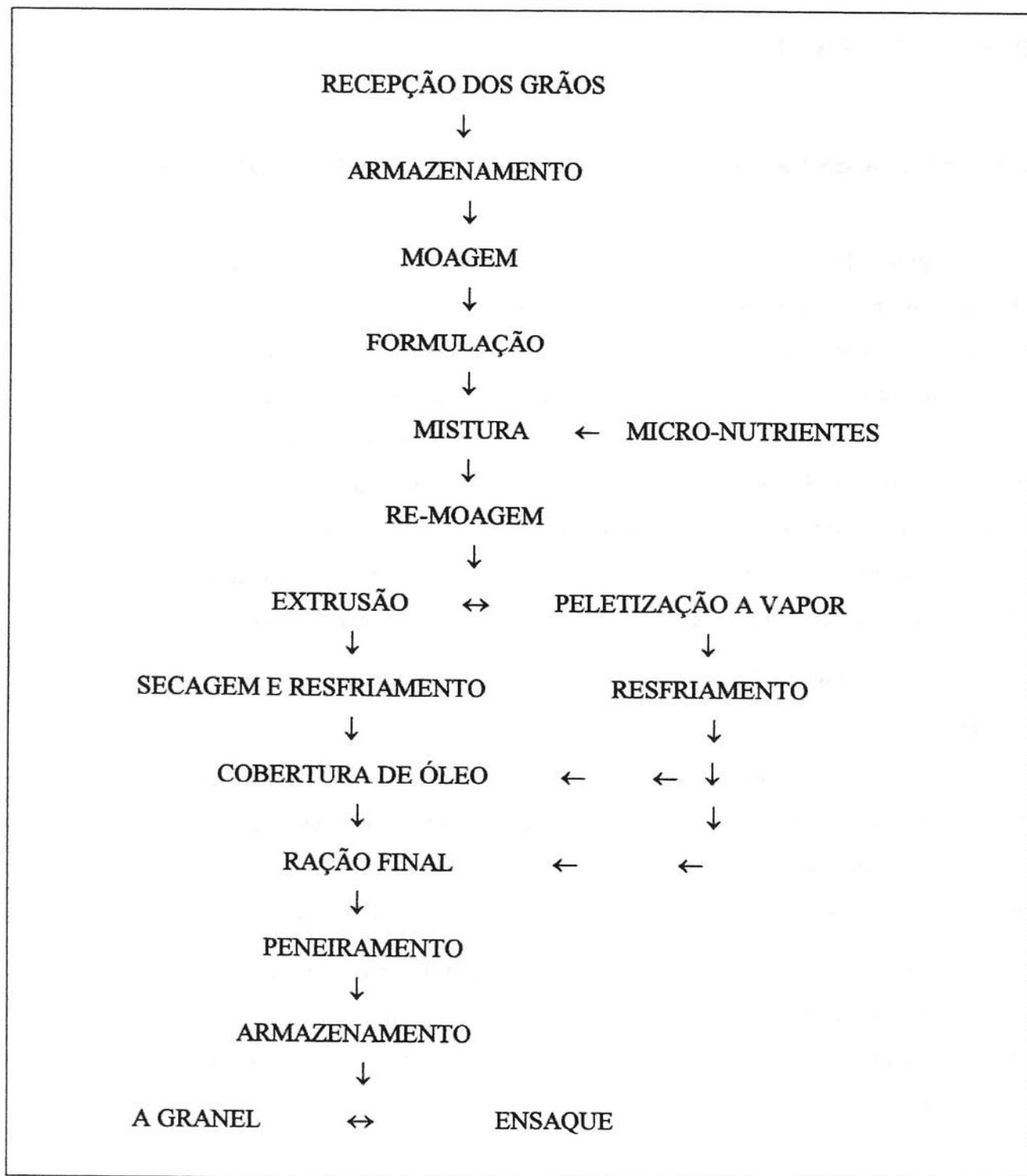


Figura 2.1. Esquema geral de fabricação de rações (ROBINSON & LI, 1995)

Na fabricação de rações é essencial que o produto final esteja numa forma que seja facilmente consumido e digerido. O processo de fabricação pode aumentar ou reduzir a disponibilidade de certos nutrientes, alterar a digestibilidade, inativar certas substâncias indesejáveis presentes nos ingredientes, reduzir fungos e bactérias, e melhorar a palatabilidade. O processamento pode variar desde uma simples redução de tamanho da partícula até a formação de grânulos através da peletização ou extrusão (ROBINSON & LI, 1995).

### **2.1.1. Ingredientes**

A escolha da matéria prima influi diretamente no custo efetivo da ração, portanto é um fator muito importante. A seleção de ingredientes tem um grande impacto sobre a textura do produto final, uniformidade, extrudabilidade, qualidade nutricional, viabilidade econômica e habilidade para aceitar altos níveis de gordura (KEARNS, 1999).

Alguns fatores freqüentemente influenciam a escolha dos componentes do produto final, como a logística para a obtenção e armazenamento dos ingredientes e aditivos. Em geral os ingredientes da ração devem estar disponíveis de forma consistente durante o ano inteiro, serem facilmente manuseáveis no processo de fabricação, resistentes aos rigores do processo de fabricação e viáveis economicamente. Estas características são a principal razão para que o farelo de soja e o milho sejam os principais ingredientes usados em rações (ROBINSON & LI, 1995).

Quando um grande número de ingredientes é disponível, a falta de silos de armazenamento de ingredientes limita o seu uso nas rações. Geralmente as fábricas de ração possuem no máximo 6 ou 7 silos para diferentes ingredientes. Devido a limitação de armazenamento, os ingredientes são rapidamente utilizados e os silos reabastecidos quase que diariamente (ROBINSON & LI, 1995).

Os ingredientes protéicos são os constituintes mais importantes das rações aquáticas. Normalmente constituem de 25 a 70% das formulações, e podem ser classificados como de origem vegetal ou animal. As proteínas vegetais que contribuem com os aspectos estruturais e nutricionais, geralmente têm as seguintes características: índice de solubilidade do nitrogênio

elevado, absorção de água e características ligantes excelentes, perfil de aminoácidos com algumas limitações e custo baixo. Os grãos de oleaginosas são também uma excelente fonte de energia. Já as proteínas animais não contribuem estruturalmente na extrusão de rações aquáticas (KEARNS, 1999).

O amido é a principal forma de carboidratos encontrado nas rações para peixes, podendo variar de 5 a mais de 60% da formulação. Atua como ingrediente energético e deve ser bem cozido (gelatinizado) no processamento. Quando isto ocorre, o amido torna-se solúvel e absorve grandes quantidades de água. Em algumas formulações é o ingrediente mais importante, contribuindo para a coesão e expansão do produto final (rações extrusadas). Em produtos extrusados a elevação do teor de amido promove a diminuição da sua densidade aparente. A quantidade de amido necessária para obter a expansão desejada é influenciada pelo teor de proteína solúvel em água. A presença de proteínas funcionais melhora a expansão e a coesão do produto, possibilitando reduzir o teor de amido exigido para obter as propriedades físicas desejadas. Recomenda-se um mínimo de 10% de amido para que as rações aquáticas flutuem (KEARNS, 1999).

As gorduras são importantes componentes das rações para peixes. São excelentes fontes de energia, podendo constituir mais de 30% de algumas formulações, mas normalmente compõem menos de 22% das rações extrusadas (KEARNS, 1999). Ingredientes com altos teores de gordura tornam a peletização ou a extrusão da ração mais difícil. A gordura suplementar normalmente é pulverizada sobre a ração final para reduzir o esfarelamento da ração (ROBINSON & LI, 1995).

Condições de alta temperatura, pressão e umidade que ocorrem durante o processo de peletização e extrusão, desativam certos nutrientes e melhoram a disponibilidade de outros. Vitaminas são particularmente sensíveis à destruição, por isso as rações são normalmente superfortificadas para compensar perdas durante a fabricação (ROBINSON & LI, 1995).

É comum também a utilização de ingredientes em menores quantidades nas rações comerciais. Entre estes os mais comuns são as misturas prontas de minerais e vitaminas (premix), fósforo (na forma solúvel ou insolúvel em água), aminoácidos sintéticos (metionina, treonina,

lisina, etc.), antioxidantes (BHT, BHA, etc.), saborizantes e odorizantes (melhoram a palatabilidade).

### **2.1.2. Recepção e armazenamento de grãos**

As matérias primas básicas normalmente são transportadas em caminhão, a granel ou em sacaria. Normalmente são pesadas e amostradas para a realização das análises do controle de qualidade, que determinam a aceitação ou rejeição do lote.

Recomenda-se a coleta de cerca de 10 amostras do produto por caminhão quando o carregamento é a granel. Quando a matéria-prima é transportada em sacarias, recomenda-se de 5 a 10 amostras para cada 50 sacas recebidas. O peso de cada amostra normalmente é de 1 kg. Testes laboratoriais são feitos de acordo com a matéria prima avaliada. Milho, soja e quirera de arroz, por exemplo, são avaliados visualmente, com classificação de acordo com o número de ardidos, quebrados, presença de matérias estranhas, odor e umidade. Em farinhas de peixe, carne e vísceras, são feitas análises de acidez, índice de peróxido, granulometria, odor, teor de umidade, gordura e proteína. As matérias primas podem ser classificadas como desejáveis, aceitáveis ou impróprias, de acordo com os padrões internos de cada empresa. Após a divulgação dos resultados pelo laboratório, as cargas aprovadas podem ser descarregadas no setor de recepção (LYRIO, 1996).

As matérias primas são transferidas para os silos ou armazéns normalmente por meio de elevadores de canecas, esteiras ou parafusos de transporte. Durante o transporte nas esteiras pode ser realizado o expurgo dos grãos com inseticida para evitar a possibilidade de infestação durante o armazenamento (LYRIO, 1996).

O armazenamento é normalmente realizado em silos metálicos equipados com termometria sendo possível o controle da temperatura por aeração. Os silos de farinhas de origem animal devem possuir fundos vibratórios para que a formação de aglomerados não obstrua as saídas dos mesmos.

### 2.1.3. Pré-processamento

A preparação da matéria-prima ou pré-processamento inclui a moagem, formulação e mistura dos ingredientes e aditivos. Os grãos inteiros, farinhas e farelos normalmente são moídos em moinhos de martelos e passam por um conjunto de peneiras antes da etapa de formulação e mistura. De acordo com a formulação utilizada os ingredientes são dosados por pesagem automática. Esta operação é realizada em bateladas. A mistura normalmente é feita em um misturador de pás e tem por objetivo homogeneizar os macro e micro-ingredientes dosados.

A aplicação de micro ingredientes como vitaminas, antibióticos, bacteriostáticos e enzimas foi melhorada com os misturadores atuais, que são capazes de incorporar aditivos numa taxa de grama por tonelada, como o misturador de pás multimix. A incorporação de micro-ingredientes junto aos produtos na forma de pó durante o estágio de mistura é uma prática muito importante e deve ser precisa (HEIJNEN, 1998).

Durante a formulação os ingredientes moídos são movidos para o interior de um silo de espera acima do misturador e são pesados antes de misturados. Após a formulação a batelada cai no misturador, onde é misturada por um tempo pré-determinado, normalmente de 1,5 a 3 minutos (ROBINSON & LI, 1995).

A formulação final misturada deve passar por outro processo de moagem antes do processamento propriamente dito. Quando a abertura do orifício da matriz for de 3 mm de diâmetro, é comum que a partícula final da moagem passe através de uma peneira com orifícios de 1,5 mm. Se o tamanho das partículas dos ingredientes for maior que os orifícios da matriz, ocorrerá uma obstrução parcial ou total, prejudicando a qualidade do produto final e o fluxo de processamento (KEARNS, 1999).

A granulometria da mistura influi diretamente na aparência final do produto, tornando-o menos homogêneo e influenciando na sua aspereza. Portanto, a mistura deve passar por uma peneira, com aberturas suficientes para separar as partículas cujos tamanhos não são adequados ao padrão do produto que se deseja obter. A parte rejeitada nesta etapa, normalmente cerca de 10% da batelada, deve ser moída novamente, voltando posteriormente para a entrada da peneira (LYRIO,

1996). Após esta moagem, a mistura passa pelo peneiramento e é movida para um silo pulmão acima dos extrusores ou peletizadores (ROBINSON & LI, 1995).

#### 2.1.4. Peletização ao vapor

No processo de peletização a umidade, calor e pressão são usados para transformar ingredientes moídos em ração peletizada. A mistura inicialmente é pré-condicionada. Ou seja, é adicionado vapor e água aos ingredientes moídos, para aumentar o teor de umidade para 15 a 18% e a temperatura para 70 a 85°C. O vapor ajuda a gelatinizar o amido, formando os grânulos da ração. A massa quente é forçada pelo sistema de prensas do peletizador a atravessar um anel constituído de muitos orifícios. O tamanho dos orifícios é dependente do tamanho de pélete desejado. Os péletes saem da peletizadora com aproximadamente 10% de umidade, necessitando de rápida secagem e resfriamento (ROBINSON & LI, 1995).

O sistema de prensagem é composto por quatro partes: alimentador, acondicionador, extrusor e cortador, além dos equipamentos adicionais, secador e refrigerador. A alimentação do sistema é realizada por canecas ou rosca sem fim, as quais conduzem a mistura até a câmara de acondicionamento. Nesta ocorre a introdução de vapor e água, numa temperatura de 120°C. Como consequência do contato com o vapor d'água, a mistura passa a apresentar uma temperatura de 50 a 90°C e um teor de umidade de aproximadamente 16%. Isto melhora a durabilidade do pélete e sua eficiência alimentar. Durante o acondicionamento, vapor e líquidos (melaço e óleos) são adicionados à massa para melhorar a qualidade do alimento e facilitar a saída dos péletes (PEZZATO, 1996).

O alimento e o vapor entram na câmara em um mesmo ponto e fluem juntos ao longo da câmara. Na câmara os líquidos são bem misturados com a massa. A pressão no acondicionador é a atmosférica. O tempo de retenção da massa no acondicionador é geralmente menor que um minuto. A massa é comprimida pelos roletes que compõem o sistema da prensa, o que aumenta sua densidade para 0,5 a 0,7 g/ml. A matriz apresenta orifícios cônicos, sendo que quanto menores

forem os diâmetros destes, maior será a elevação da temperatura do grânulo. O pelete sai da matriz com elevadas temperaturas e umidade, sendo necessário que estes sejam submetidos à desidratação e refrigeração. (PEZZATO, 1996).

### 2.1.5. Extrusão

Saindo do silo pulmão, a mistura cai em um alimentador tipo gravitacional, que nada mais é do que uma balança dosadora de fluxo, que tem por função formar uma camada uniforme sobre uma correia, para que, de acordo com a velocidade da mesma, seja estabelecido um fluxo constante, ajustável à capacidade dos equipamentos da linha de processamento (LYRIO, 1996).

Ou então, a mistura cai em um alimentador tipo volumétrico, que com roscas sem fim, de velocidade ajustável, produzem um fluxo constante de mistura. Porém estes equipamentos são menos precisos e possuem problemas de formação de bolsas de ar que podem prejudicar o fluxo do produto e sua qualidade.

Extrusão é um processo que envolve a mistura, cozimento e plasticização dos ingredientes da ração, através da combinação de pressão, calor e fricção dentro de um equipamento chamado extrusor (ROBINSON & LI, 1995). O ato de forçar materiais através de um orifício é definido simplesmente como extrusão. As ações simultâneas que constituem uma linha contínua de processo, definem o processamento da extrusão (BRENT, 1999).

A mistura com umidade ao redor de 8% é conduzida ao pré-condicionador, recebendo a adição de outros ingredientes que irão compor o produto final. O equipamento onde ocorre o pré-condicionamento consiste de um misturador de alta velocidade, que serve como alimentador do extrusor e possui entradas de vapor, água, e outros líquidos como óleo degomado. As vazões destes ingredientes são controladas por bombas de alimentação (ROBINSON & LI, 1995).

Os ingredientes de rações para peixes são pré-condicionados por 3 a 5 minutos, durante os quais a umidade é adicionada na forma de vapor (água também pode ser injetada) para aumentar o nível de umidade ao redor de 25%. Durante esse período a massa é cozida, com a penetração da

umidade nas suas partículas. O pré-condicionamento melhora o sabor e a digestibilidade da ração, reduz o desgaste do canhão do extrusor e permite um aumento do volume de produção. Após o pré-condicionamento a massa é introduzida no canhão do extrusor que contém uma rosca rotativa (ROBINSON & LI, 1995).

A tecnologia de extrusão é feita por extrusores do tipo rosca simples ou rosca dupla. Nesses extrusores ocorre um fluxo contínuo de material da sessão de alimentação até a descarga final da rosca (BRENT, 1999). O canhão e a rosca do extrusor são as partes mais importantes do equipamento, onde ocorre a operação de cozimento. Estes exercem também o bombeamento ou ação derivada de transporte, em parte, pela rotação da rosca no interior do canhão do extrusor acionada por um motor (BRENT, 1999).

A extensão das reações de cozimento é dependente de inúmeros fatores, especialmente o método no qual cada processo na linha é operado. O produto cozido pode incluir benefícios, como aumento da durabilidade, melhora da estabilidade em ambientes aquáticos, melhora da palatabilidade, aumento da digestibilidade e da performance animal (BRENT, 1999).

As temperaturas no extrusor normalmente variam de 90 a 150°C e resultam do atrito mecânico gerado dentro do extrusor. A mistura superaquecida é forçada pelo movimento da rosca a atravessar uma matriz localizada no final do canhão extrusor, de diferentes diâmetros de abertura em função do tamanho de ração desejado. A matriz restringe o fluxo do produto, causando o desenvolvimento da pressão e atrito necessário. A matriz é também usada para dar forma ao produto extrusado que passa através dela. O produto ao emergir da matriz provoca uma súbita redução na pressão, que resulta na vaporização de parte da água da massa e os grânulos da ração expandem. O nível de umidade dos grânulos que saem do extrusor é mais alto (18-21%) que os da ração peletizada a vapor; sendo que estes devem ser secos a altas temperaturas por longos períodos de tempo (ROBINSON & LI, 1995).

O extrusor pode ser dividido em três regiões, onde a configuração do desenho da rosca muda de acordo com o efeito desejado. A primeira região atua na recepção e transporte uniforme dos ingredientes, causando pequena pressão sobre a massa. Na segunda ocorre a mistura e o aumento da pressão sobre esta. A temperatura e a pressão aumentam ainda mais na terceira região

do equipamento, onde ocorre o cozimento. A formação dos “kibbles” (produto extrusado ainda úmido) acontece com a passagem da massa através da matriz. A temperatura de saída do produto fica em torno de 115°C e a pressão na região final oscila de acordo com as variáveis de extrusão, mas normalmente fica ao redor de 40 kgf/cm<sup>2</sup>. A extrusora possui entradas de vapor e água, sendo que na saída da mesma deve ser acoplado um sistema de controle de formato, cor e densidade dos “kibbles” (LYRIO, 1996).

A matriz localizada no final do canhão extrusor oferece restrição ao fluxo do produto causando o aumento da pressão e do cisalhamento, além de dar forma ao extrusado. Alimentos altamente expandidos e rações aquáticas flutuantes requerem 200 a 250 mm<sup>2</sup> de área de abertura por tonelada métrica produzida. As matrizes, para produção de rações aquáticas secas expandidas, normalmente são simples placas planas com um determinado número de orifícios (KEARNS, 1999).

Logo após a matriz o produto formado é reduzido pelo equipamento de corte. Este equipamento consiste de um motor acoplado a um aparato rotatório constituído por duas, três ou quatro facas. As facas giram muito próximas da superfície da matriz e interceptam o produto logo após a sua saída. A regulagem da velocidade de rotação das facas é responsável pelo comprimento do produto.

#### **2.1.6. Secagem, resfriamento e recobrimento**

Após os ‘kibbles’ saírem do extrusor são cortados e transportados por um sistema pneumático, entrando no secador por uma calha vibratória que distribui o produto uniformemente sobre esteiras. Dentro do secador, o produto faz um percurso de ida e volta pela extensão do mesmo, até atingir uma umidade ao redor de 8,5%. O equipamento é composto por vários módulos com ventiladores para captação do ar ambiente e serpentinas alimentadas por vapor proveniente da caldeira, para aquecimento do ar até temperaturas próximas de 130°C. O ar úmido é removido do interior do equipamento por exaustores situados em dois pontos (LYRIO, 1996).

Secadores/resfriadores são provavelmente os equipamentos mais necessários após a extrusão de rações aquáticas. A maioria das rações aquáticas são processadas entre 22 a 30% de umidade. Parte da umidade é perdida através dos jatos de vapor do produto superaquecido que sai da matriz e se expande. O resto da umidade fica na ração, que deve ser submetida ao processo de secagem. O principal objetivo da secagem é tornar a ração apta para um período prolongado de armazenamento. A atividade de água para rações secas expandidas deve ser reduzida para níveis abaixo de 0,6 para se obter estabilidade no armazenamento, que na prática corresponde a uma umidade residual real entre 8 a 10%. As características de flutuação ou afundamento das rações aquáticas podem ser influenciadas pelas condições de secagem. A flutuabilidade pode ser melhorada com secagem a temperaturas elevadas para diminuir o teor de umidade residual. Rações que afundam devem ser secas a temperaturas moderadas e não além do ponto onde a estabilidade de armazenagem é obtida (KEARNS, 1999).

Rações extrusadas também perdem umidade por jatos de vapor e no resfriamento evaporativo (2%), mas requerem secagem adicional pois contém aproximadamente 20% de umidade, necessitando passar por um secador para atingir um teor de 8 a 10%. Neste nível de umidade o tempo de prateleira do produto é ampliado. A secagem é geralmente realizada usando-se um secador multi-estágio que tem diferentes zonas de temperatura. Geralmente o tempo de secagem é de aproximadamente 30 minutos e as temperaturas variam de 135 a 150°C (ROBINSON & LI, 1995).

Nos dias de hoje, os micronutrientes são adicionados tanto no estado seco como no estado líquido às rações. A cobertura da ração por pulverização pode ser a solução para os efeitos deletérios do tratamento térmico sobre estes compostos (HEIJNEN, 1998).

A cobertura ocorre na saída do secador, e os grânulos da ração entram numa peneira vibratória que tem a função de separar aquelas que permanecem unidas (refeito) durante a etapa anterior. A tela da peneira varia de acordo com o produto desejado. O produto que passa pela peneira entra no tambor de recobrimento, que corresponde a um cilindro horizontal aberto em uma das extremidade (saída). No interior deste tambor o produto é pulverizado com gordura (vegetal ou animal) com ou sem microcomponentes. Os pulverizadores contam com entradas de

líquido e ar comprimido que se unem formando o jato com o qual o produto é recoberto (LYRIO, 1996).

Após a secagem as rações extrusadas podem passar através de um pulverizador de gorduras que aplica uma fina camada de gordura à superfície do pélete. A cobertura de gordura ajuda a reduzir a formação de finos. Depois dessa cobertura o produto é então armazenado em silos para aguardar a expedição. Somente antes da expedição, a granel ou ensaque, a ração é peneirada para remoção dos finos. Algumas fábricas podem também peneirar os péletes após a secagem e antes da cobertura com gordura. Os finos são reciclados e usados como ingrediente de ração (ROBINSON & LI, 1995).

A finalidade do resfriamento consiste em obter uma temperatura final adequada do produto para evitar a condensação de água dentro da embalagem. O ar utilizado nesta etapa corresponde ao ar ambiente, que passa pelo produto distribuído sobre a esteira do resfriador. A velocidade da esteira pode ser regulada de acordo com o fluxo de produção. Ao final do resfriador a ração passa por outra peneira vibratória com o objetivo de separar os grânulos ainda aglomerados (rejeito). A ração é conduzida por roscas de transporte e elevadores até o silos de armazenamento. O produto pronto permanece nestes silos até o acondicionamento em embalagens de polietileno ou expedição a granel. No processo de acondicionamento a ração passa do silos para as embalagens por gravidade. Após a pesagem o ar é removido das embalagens e ocorre o fechamento por solda elétrica. As embalagens são colocadas em 'pallets' e estes são organizados na área de expedição com o auxílio da empilhadeira. Deste setor os 'paletts' são levados para a área externa da fábrica, onde ficam os caminhões que devem ser carregados com o produto embalado (LYRIO, 1996).

#### **2.1.7. Controle de qualidade**

Métodos de controle de qualidade severos são exigidos na fabricação de rações de alta qualidade. Os ingredientes são inspecionados através da cor, odor e textura antes de serem aceitos. Amostras devem ser extraídas para análises de umidade, toxinas, pesticidas e metais

pesados, além de análise química. O controle de qualidade continua durante cada fase de produção para garantir que a ração contenha os teores de nutrientes e as características físicas padrão. Todos os equipamentos devem ser continuamente checados para manter as especificações exigidas pelos fabricantes. A mistura é checada periodicamente por amostragem para vitaminas e outros micronutrientes particulares. O produto final é rotineiramente amostrado para determinação da umidade, proteína bruta, gordura e fibra bruta, e periodicamente para micronutrientes selecionados para garantir o valor nutricional. Cada lote de ração deve ser inspecionado para as características físicas incluindo a flutuabilidade (ROBINSON & LI, 1995).

O produto final na linha de produção deve ser analisado a cada meia hora em relação ao seu teor de umidade, densidade e formato, para garantir que a produção fique dentro dos limites especificados. Os próprios operadores da seção de empacotamento podem ficar encarregados de realizar estas análises. Diariamente deve-se realizar análises que forneçam os teores médios de proteína, gordura e umidade da ração. Deve-se também proceder avaliações da selagem da embalagem e aparência do produto final. O laboratório deve ficar encarregado de divulgar procedimentos de limpeza e manutenção dos equipamentos (LYRIO, 1996).

## **2.2. PELETIZAÇÃO A VAPOR CONTRA EXTRUSÃO**

As rações peletizadas ou extrusadas constituem o principal fator na composição dos custos da piscicultura intensiva. O processo de fabricação de cada um destes tipos de ração define suas características. As principais diferenças entre a ração peletizada e a extrusada podem ser observadas na Tabela 2.1.

Na fabricação de ração peletizada utiliza-se equipamentos e tecnologia mais simples, com custos mais baixos. A utilização de substâncias aglutinantes é uma necessidade, pois contribui para aumentar a estabilidade na água. A uniformidade na moagem dos ingredientes é outro requerimento importante em rações peletizadas, porque auxilia a maior compactação. A ração peletizada bem processada chega a manter-se estável na água por um prazo mínimo de 20

minutos. Apresenta alta densidade, o que faz com que ela afunde, requerendo um elevado grau de tecnificação do criador para monitorar corretamente a quantidade de alimento ofertado. Caso contrário, é alto o risco de desperdício e de comprometimento da qualidade da água (ANFAL, 1998).

Tabela 2.1. Comparações entre a ração peletizada e a extrusada.

Parâmetros	Ração Peletizada	Ração Extrusada
Densidade/flutuação	alta / afunda	baixa / flutua
Observação da resposta alimentar	difícil	fácil
Nível de arraçoamento	limitado	à vontade
Possibilidades de perdas	alta	baixa
Estabilidade na água	baixa a média	alta
Manejo alimentar	complexo	simples
Impacto negativo na água	médio a grande	pequeno
Tempo de engorda dos peixes	médio a longo	reduzido
Eficiência alimentar	média a baixa	alta
Custo no Brasil (28% proteína)	R\$ 0,32	R\$ 0,42

Fonte: KUBITZA (1997)

Na ração extrusada a elevação da pressão e da temperatura de extrusão faz com que a ração adquira uma importante característica: a capacidade de flutuar. Essa vantagem torna o manejo muito mais eficiente, pois facilita a visualização da resposta de consumo alimentar dos peixes e da quantidade de ração que ainda permanece na água, o que ajuda no controle dos desperdícios e da qualidade do meio ambiente da criação. A extrusão utiliza equipamentos mais sofisticados, elevando um pouco o custo da produção. O processo de cozimento controlado faz com que os nutrientes contidos nos diversos ingredientes fiquem mais disponibilizados à ação digestiva dos organismos aquáticos. Este fato otimiza a eficiência alimentar, aumenta a digestibilidade, diminui a produção de resíduos e reduz a carga de efluentes que comprometem a qualidade da água. Esses são pontos importantes para elevar os níveis de produtividade e acelerar

o crescimento dos peixes. Como desvantagem, o processo de extrusão apresenta certa perda de algumas vitaminas, devido à temperatura muito elevada. Isto pode ser sanado com o emprego de vitaminas mais resistentes ao processo, aliado à adição daquelas mais sensíveis por aspersão logo após a secagem (ANFAL, 1998).

As rações extrusadas contêm mais água que as partículas peletizadas e requerem calor externo para a secagem. Então, após a extrusão, as partículas devem passar por um túnel de secagem para reduzir a umidade para um nível seguro para a estocagem (LOVELL, 1989).

As rações extrusadas são mais estáveis na água e possibilitam a utilização de teores elevados de gordura em sua composição. Assim, a obtenção de melhores índices de conversão alimentar explica a redução do custo por quilo de peixe produzido com uma ração de melhor qualidade, mesmo sendo de maior preço (KUBITZA, 1997).

Rações para peixes são utilizadas na forma de grânulos ou esfareladas para ajudar na apreensão, aumentando a eficiência da ração e reduzindo o risco de desperdício e entupimento do sistema de água. Os dois métodos mais comuns para dietas secas envolvem o uso das variáveis calor, umidade e pressão, para produzir grânulos expandidos (extrusados) e grânulos formados sob pressão e vapor. Os grânulos extrusados tem vantagens sobre os feitos ao vapor, pois, geralmente têm maior estabilidade na água e flutuam, permitindo a determinação direta do consumo de ração (STICKNEY, 1979). Entretanto, níveis mais altos de calor, umidade e pressão são utilizados no processamento por extrusão comparando-se com a peletização (ROBINETTE, 1977).

Tem-se demonstrado que a estabilidade do ácido ascórbico é pequena durante o processamento por extrusão quando comparado com a peletização a vapor (HILTON et al., 1977; LOVELL & LIM, 1978). A temperatura e a pressão maiores na extrusão causam a gelatinização do amido da dieta, aumentando então a biodisponibilidade dos carboidratos. Também é possível que a reação de Maillard e a destruição de aminoácidos reduzam a utilização de proteínas das dietas extrusadas mais do que as granuladas ao vapor (HILTON et al., 1981).

HILTON et al. (1981) e SLINGER et al. (1978) observaram que os grânulos extrusados além da sua capacidade de flutuação têm características físicas diferentes dos grânulos a vapor. Os

grânulos extrusados foram mais duráveis que os outros e tiveram estabilidade superior. A instabilidade na água dos grânulos a vapor, provavelmente leva a um aumento das perdas por lixiviação de vitaminas destes comparados com os grânulos extrusados.

### 2.3. EXTRUSOR DE ROSCA ÚNICA E DUPLA

Os extrusores usados na indústria de rações aquáticas podem ser classificados com relação ao desenho da rosca, que pode ser única ou dupla. Em ambos extrusores as características do produto final são afetadas pelas paredes da câmara de extrusão, velocidade da rosca, seleção das matrizes e facas, características da matéria-prima e condições de processamento como temperatura e umidade (KEARNS, 1999).

O extrusores de dupla rosca estão sendo utilizados pela indústria, principalmente na área de plásticos e alimentos, como na produção de polímeros, adesivos, borrachas termoplásticas, plásticos biodegradáveis, recicláveis, fármacos, seladores, produtos agrícolas, rações (cães, gatos e peixes) (WERNER & PFLEIDERER, folder).

Os extrusores de rosca dupla estão sendo usados na produção de rações aquáticas especiais, que justificam o custo do processamento, como por exemplo rações com mais de 17% de gordura, com alto teor de carne fresca ou gordura animal, ou com tamanho e forma uniformes e ultra pequenas de 0,8 a 2,0 mm de diâmetro (KEARNS, 1999).

Muitas companhias estão usando extrusores de dupla rosca para produzir alimentos para humanos e animais. Estas companhias tiveram aumento de produtividade, redução de custo de produção e oportunidade para lançar novos produtos. Rações para organismos aquáticos estão sendo produzidas em extrusores de dupla rosca, incluindo rações comerciais para salmão, truta, bagre de canal e peixes ornamentais (CLEXTRAL, folder).

O sistema TSE “twin screw extrusion” possibilita a gelatinização do amido, a texturização das proteínas e a incorporação de aditivos (pigmentos, saborizantes, plasticizantes) e ingredientes aos alimentos e rações. Estas vantagens proporcionaram uma evolução dos produtos extrusados,

que adquiriram maior uniformidade nas suas propriedades físico-químicas e nutricionais, agregando qualidade e valor aos produtos finais (KEARNS, 1999).

O trabalho de KEARNS (1999) aborda os princípios fundamentais da extrusão de dupla rosca na fabricação de rações e reúne as principais e mais significativas informações. Os extrusores de dupla rosca diferem dos de uma rosca por apresentarem melhor controle de fluxo do produto, melhor controle dos fatores do processamento e melhor mistura. São auto limpantes, e por isto têm maior flexibilidade e custo reduzido de partida e parada. Um extrusor de dupla rosca possui três zonas: alimentação (entrada dos ingredientes), cozimento e formação (saída do produto). Na zona de alimentação os ingredientes, trabalhados pelo movimento co-rotacional da dupla rosca, são continuamente conduzidos para dentro do corpo (canhão) do extrusor e misturados finamente. Líquidos como óleos, água ou leite podem ser injetados em orifícios no corpo do extrusor, antes ou após o cozimento. Na zona de cozimento, a massa é submetida a um aquecimento, que pode ser oriundo do calor mecânico, do convectivo ou do vapor, dependendo do produto desejado. O calor mecânico é gerado dentro do canhão pela variação da configuração e compressão da rosca (elementos reversos, discos de mistura). O calor convectivo é transferido diretamente pelas paredes do canhão para a massa. Este é o método mais efetivo de transferência de calor. Enquanto que o calor de vapor tem de ser injetado na massa por orifícios. Na zona de formação, o produto toma sua forma, expandida ou não, dependendo do nível de umidade, temperatura, pressão e geometria da matriz. Os diferentes tipos de elementos de configuração das roscas podem conduzir a matéria prima para dentro do extrusor, comprimir e desgaseificar a massa, criar um fluxo negativo aumentando o cisalhamento, ou ainda fazer outras tarefas. Quando é necessário o amassamento, os elementos com múltiplos movimentos podem aumentar o fluxo negativo ou aumentar a dissipação de energia mecânica no extrusado. Estes elementos ainda reduzem a eficiência da condução e adicionam mais tempo de residência ao extrusado, como se este estivesse sendo conduzido pelo corpo do extrusor. As roscas podem ter vários passos para aumentar o tempo de residência dentro do extrusor, sem mudar o volume livre destas. A rosca de cozimento final pode ser cônica para causar um rápido aumento de pressão, com uma distribuição uniforme ao redor da periferia da rosca e uma queda de algumas pulsações que podem estar presentes na secção final do extrusor (KEARNS, 1999).

Quando níveis de gordura na formulação são aumentados acima de 8%, torna-se difícil para um extrusor de rosca única transformar a energia mecânica em energia térmica, necessária para o cozimento. A gordura normalmente produz lubrificidade reduzindo a fricção. A condução co-rotacional positiva promovida pelas duas roscas sincronizadas permite a expansão do produto com níveis de gordura internos ao redor de 25%. É verdade que o extrusor de rosca única processa formulações contendo até 25% de gordura, porém a consistência do produto é mais facilmente mantida no sistema de dupla rosca. Assim, a condução positiva mantém a pressão na matriz, promovendo a expansão e o desenvolvimento textural do produto (ROKEY, 1989).

Devido à condução positiva o extrusor de dupla rosca permite uma adequada mistura e atrito dentro da câmara de extrusão, necessárias para o desenvolvimento dos sistemas glúteos e farináceos sob condições de altos níveis de gordura (ROKEY, 1989).

A transferência de calor com aquecedores opcionais e o resfriamento do canhão podem trazer pequenas contribuições na elevação ou redução da temperatura. Isto é especialmente verdade para extrusores de grande porte com maiores taxas de volume e menor área de superfície de transferência de calor. A transferência de calor proveniente dos aquecedores ou do interior da superfície do canhão pode influenciar as propriedades do material mais próximo das paredes do extrusor. Este tipo de controle da temperatura do canhão parece ser fundamental para o sucesso do processo de extrusão em extrusores de rosca única (BRENT, 1999).

#### **2.4. EFEITO DAS VARIÁVEIS DE EXTRUSÃO SOBRE A QUALIDADE DE RAÇÕES PARA AQUICULTURA**

Na aquicultura o arraçoamento das espécies em cultivo se dá dentro da água. Esta prática implica em perdas de nutrientes por lixiviação, fato que preocupa os técnicos nesta área. Pesquisas têm sido realizadas visando minimizar este problema, quando diferentes ingredientes vêm sendo testados, além das mais variadas técnicas de processamento que permitam a obtenção de dietas estáveis na água. O emprego de rações na forma de farelo tem demonstrado uma rápida separação dos ingredientes que a compõe, além das perdas de nutrientes na água. Melhores resultados de

conversão alimentar e desempenho produtivo têm sido proporcionados por rações na forma de grânulos, constituindo-se, portanto, nas mais recomendadas para o manejo alimentar das espécies aquáticas com potencial zootécnico (PEZZATO et al., 1998).

O processamento é provavelmente o fator que mais contribui para a qualidade do grânulo. O grau de cozimento obtido pelas extrusoras é sempre maior que o obtido nas peletizadoras. O amido será apenas parcialmente gelatinizado nas peletizadoras. As condições de processamento devem ser otimizadas para criar peletes com características desejáveis. As matérias primas também têm papel importante na determinação da qualidade do pélete. Especificamente elas podem ter maior influência sobre a expansão e coesividade. Na formulação de dietas estes fatores devem ser levados em consideração (EVANS, 1999).

Para obter o melhor resultado possível no arraçamento os grânulos devem ter certas características minuciosamente definidas: sua dureza deve atender as exigências da espécie em criação; os grânulos devem ser absolutamente livres de finos; dependendo da espécie animal a ração deve flutuar na superfície, ficar suspensa na água logo abaixo da superfície ou afundar após certo tempo; os grânulos não devem desintegrar na água antes de 6 a 8 horas. Todas estas características são necessárias para suprir os hábitos de alimentação dos animais e prevenir a turbidez ou contaminação da água. Como as rações para animais terrestres, as rações aquáticas também existem com várias características e formulações para satisfazer os estágios de crescimento particulares de cada animal (MILLAUER & LOSENEGGER, 1999). Dentro dos limites definidos pelo nutricionista, o processo de extrusão pode controlar as características do produto como forma, densidade, re-hidratação, textura e cor (KEARNS, 1999).

As principais reações químicas que ocorrem nos macronutrientes durante e após o processamento das rações são: desaminação, formação de d-aminoácido, formação de isopeptídios, desnaturação nas proteínas, caramelização, solubilização e formação de amido resistente nos carboidratos e (auto) oxidação, degradação térmica, isomerização, polimerização e formação de produtos da reação de Maillard (BOS et al., 1997).

Os diferentes processos de produção de dietas promovem grandes mudanças na composição e estabilidade das matérias primas utilizadas. Estabilidade pode ser definida como a

habilidade da substância em reter sua atividade durante um período sob condições químicas ou físicas estressantes (McGINNIS, 1994). Os tipos de reações químicas e a magnitude das mudanças na qualidade nutricional dos ingredientes, será determinado pela intensidade e duração de alguns fatores envolvidos no processo: temperatura, pressão e umidade (ARANGO, 1998a).

O processo de extrusão é amplamente usado na produção de rações para aquicultura, pois proporciona excelente controle sobre propriedades físicas da ração. Na moderna aquicultura comercial, as características dos grânulos podem ser especificadas para atender uma ampla faixa de demanda, incluindo, a eficiência de conversão, a redução de risco ambiental, a automatização da alimentação, o comportamento das diferentes espécies, somando-se as exigências para o transporte, armazenamento e manuseio de ração (EVANS, 1999).

COELHO (1994) aponta o calor, a umidade, a pressão, as reações de oxi-redução e a fricção como os principais fatores envolvidos nas mudanças ocorridas nos processos de fabricação de ração. A Tabela 2.2 apresenta a intensidade de cada fator para as condições de peletização e extrusão.

Tabela 2.2. Intensidade da ação dos fatores nas condições e resultados dos processos.

Fatores de Estresse	Peletização	Extrusão
Calor	Médio-alto	Muito Alto
Umidade	Média-alta	Muito Alta
Pressão	Média-alta	Muito Alta
Reações de Oxi-Redução	Alta	Muito Alta
Fricção	Muito Alta	Baixa

Fonte: COELHO (1994)

Segundo PUTNAM (1992) as faixas de perdas de vitaminas durante a extrusão são 12-88% para a vitamina A, 7-86% para vitamina E, 6-62% para a tiamina, 0-40% para a riboflavina, 4-44% para a vitamina B6, 1-40% para a vitamina B12, 0-40% para a niacina, 8-88% para o ácido fólico, 3-20% para biotina e 10-75% para carotenóides.

Atualmente, a vitamina A, D3,  $\beta$ -caroteno, astaxantina e cantaxantina são encapsuladas pelo processo “beadlet” formando ligações cruzadas com gelatina, em uma matriz de amido de milho, gelatina, glicerina e antioxidantes. As vitaminas B2, biotina, ácido fólico e C são encapsuladas através do processo “spray dried” ficando retidas numa matriz de carboidratos, proteína e antioxidantes, enquanto a vitamina E é encapsulada por “spray dried” e as partículas formadas pela matriz de gelatina e carboidratos são revestidas com ácido silícico (ARANGO, 1998).

A vitamina C é disponível nas formas: ácido L-ascórbico cristalino, ácido L-ascórbico coberto (silicone, gordura, cera, lactose/proteína/etilcelulose, etilcelulose e ésteres de ácido ascórbico (L-ascorbil-2-sulfato, L-ascorbil-2-monofosfato, L-ascorbil-2-polifosfato e L-ascorbil-6-palmitato) (ARANGO, 1998b).

Num estudo de GADIANT & FENSTER (1994) a estabilidade da vitamina C coberta com silicone e do ascorbil polifosfato, ao processo de extrusão de ração para bagre de canal, foi de 51% e 100%, respectivamente. Após um mês de armazenamento, 31 e 100%; e após três meses de 16 e 96%, respectivamente.

Quando uma dieta na forma de grânulo entra em contato com a água, reações físico-químicas ocorrem e tendem a diminuir sua estabilidade agregante e como consequência sua composição originalmente proposta (BASSO et al., 1992). A estabilidade do grânulo na água é muito importante por resultar em menores perdas de nutrientes (JAUNCEY & ROSS, 1982). Essa estabilidade não precisa ser superior a 30 minutos (CSÁVÁS, 1978). Dos diferentes tipos de alimentos, os grânulos secos são consumidos mais rapidamente pela carpa, porém, devem durar ao redor de uma hora, devido ao hábito de alimentação da carpa (GHITTINO, 1972).

A estabilidade mais baixa dos grânulos ricos em gordura quando imersos por mais de uma hora, pode ser devida a incompleta gelatinização causada pela cobertura de gordura sobre as partículas de carboidratos. O grau de estabilidade das rações acredita-se ser quase diretamente relacionado a extensão da gelatinização durante o condicionamento a vapor (STIVERS, 1971).

Se a extrusão for realizada sob baixa umidade (menos de 20%) e alta temperatura (mais de 150°C) é quase certo que se formarão complexos lipídio/amilose e lipídio/proteína. Os ácidos

graxos livres e os lipídios polares são especialmente reativos nestas situações. As gorduras promovem a lubricidade e plasticidade. Em níveis acima de 8% enfraquecem a elasticidade da massa reduzindo a expansão e o desenvolvimento textural. Não só o nível de gordura, mas também a fonte de gordura tem um efeito sobre a taxa de expansão durante a extrusão. Gorduras incorporadas como parte de ingredientes particulares tendem a ter menos efeito sobre a expansão que gorduras adicionadas em estado puro. Aquecendo a fonte de gordura entre 40 e 60°C antes de misturar na formulação, minimizam-se as mudanças de viscosidade, dependendo das temperaturas que ocorrem no cozimento do produto, reduzindo o efeito depressivo sobre a expansão. Se a gordura for adicionada no estado líquido, na forma de um jato separado, o ponto de adição é crítico. A gordura usualmente é adicionada próxima à descarga do condicionador para permitir um ótimo pré-condicionamento, uma vez que a gordura tende a cobrir as partículas individuais dos ingredientes, impedindo a absorção de umidade e transferência de energia térmica necessária para completar a gelatinização do amido. Se uma quantidade alta de gordura (15-29%) for adicionada durante a extrusão, uma parte do total desta gordura deve ser injetada perto da descarga final do extrusor. Esta técnica de injetar a gordura somente na borda da matriz minimiza os efeitos da gordura sobre o cozimento e permite adequada mistura necessária para a obtenção de um produto homogêneo. Normalmente, o uso de pré-condicionadores a vapor e extrusores com corpos mais longos aumentam o tempo de residência do produto durante a fase de cozimento, superando a lubricidade adicionada pelos altos níveis de gordura (KEARNS, 1999).

O tamanho das partículas dos ingredientes da formulação afetam a textura e a uniformidade do produto extrusado. É desejável que as partículas tenham densidade e tamanho uniforme para prevenir a separação durante a mistura e transporte anteriores à extrusão. O tamanho uniforme das partículas também promove uma absorção por igual da umidade nos grânulos, pois diferentes tamanhos de partículas irão variar a velocidade de absorção (KEARNS, 1999).

Existem muitas espécies de peixes que requerem diferentes tipos de rações. As rações podem ser produzidas para flutuar, afundar, afundar lentamente ou afundar rapidamente. Devem possuir uma correta textura, estabilidade, digestibilidade, exato valor nutritivo requerido pelo

animal alimentado e ainda evitar a poluição da água. Podem ter diferentes tamanhos, dependendo do estágio de crescimento, variando de 0,3 a 17mm. Os grânulos devem ter uma boa digestibilidade e taxa de conversão para o peixe. Deve ser compatível com teores maiores de 15% de gordura. Estes grânulos devem ser estáveis ao manuseio e transporte, sem produzir finos no fundo da embalagem (MILLAUER & LOSSENGER, 1999).

A característica de flutuabilidade do grânulo extrusado é devido à prisão do ar dentro da partícula, reduzindo a densidade específica, a qual é de 450 g/L para o grânulo extrusado e de 610 g/100L para o grânulo peletizado a vapor. A reduzida densidade do grânulo extrusado provavelmente contribua para uma maior e mais rápida absorção de água deste quando comparado com o grânulo peletizado a vapor (HILTON et al.,1981).

HILTON et al. (1981) notaram que prolongada imersão causou aumento do volume do grânulo extrusado. É possível, que o maior volume do grânulo extrusado especialmente após a imersão em água possa ter reduzido a quantidade de alimento consumido pela truta. Nenhuma diferença significativa foi detectada no peso seco da digesta no estômago da truta alimentada com as dietas extrusadas ou peletizadas após 30 minutos da injeção. Notou-se também que a truta alimentada com a dieta extrusada consumiu menos que a truta alimentada com a dieta peletizada. Isto sugere que a demora do enchimento gástrico reduziu o consumo total diário de ração da truta arco-íris. É possível que esta propriedade dos grânulos extrusados possa retardar os processos digestivos da truta e aumentar o tempo de preenchimento gástrico. Enquanto o retardamento do preenchimento gástrico pode ter reduzido o consumo de ração e conseqüentemente o crescimento da truta, a passagem mais lenta da ração através do trato digestivo pode ter aumentado a digestibilidade da ração e assim aumentado a eficiência de aproveitamento da mesma. As propriedades de flutuação do grânulo extrusado dão maior eficiência ao manejo alimentar, reduzindo a possibilidade de um excesso de ração e poluição da água (STICKNEY, 1979).

## 2.5. PADRÕES DE QUALIDADE DE RAÇÕES AQUÁTICAS EXTRUSADAS

Atualmente no Brasil, o fabricante deve fornecer na embalagem da ração os níveis de garantia mínimos para proteína, gordura, energia, cálcio, fósforo, micronutrientes, e vitaminas e máximos para umidade e fibra. A ração deve ser isenta de microorganismos patogênicos e toxinas de *Aspergillus flavus*. Porém, a legislação não exige que sejam especificadas na embalagem do produto as propriedades físicas e biológicas da ração, porque ainda não existem padrões definidos para estas características.

A revisão realizada por EVANS (1999) sobre padrões de qualidade de rações aquáticas extrusadas é completa, e é resumida neste tópico como segue.

A ração deve apresentar-se de forma que seja aceitável para as espécies criadas e deve ser eficientemente conduzida para o local de consumo. Rações com baixa palatabilidade e pouco estáveis aumentam as sobras não consumidas, causando impacto negativo sobre a qualidade da água, geração de efluente, crescimento de algas e eutrofização. Isto irá influir nas práticas de manejo, tal como a frequência de troca de água, aumentando os custos e trazendo consequências ambientais adversas. Os padrões de qualidade de rações para a aquicultura precisam ser definidos, o que pode ser atingido quando os métodos para a medição da qualidade dos péletes forem adequados e regularmente usados para monitorar sua qualidade.

As características físicas mais importantes na aquicultura são: durabilidade, densidade, velocidade de afundamento, estabilidade e absorção de água, absorção de óleo, dureza, força de ruptura e grau de gelatinização.

A amostragem para realização dos principais métodos para a medição da qualidade do pélete deve ser realizada simultaneamente com a produção para que possa se ajustar qualquer defeito de qualidade. Entretanto, também é necessário amostrar no ato da comercialização e consumo. Antes de fazer as medições é recomendável remover os finos com peneiras. As dimensões do grânulo são normalmente medidas usando paquímetro.

O número de medidas de cada grânulo e número mensurado deve ser determinado pela sua variabilidade. A densidade aparente é obtida pela medição direta do peso e do volume da ração. É importante que um procedimento com boa repetibilidade seja utilizado. Normalmente utiliza-se um cilindro grande o suficiente, mas o equipamento particularmente especializado para esta tarefa é o “chronometer”. Hoje existe uma outra metodologia composta por um analisador mecânico “on line”. A velocidade de afundamento é medida pela queda do grânulo de uma específica altura de uma coluna d’água, e então, registra-se a velocidade descendente através desta coluna d’água. A salinidade da água pode ser ajustada para cada espécie estudada.

A durabilidade mede a habilidade do grânulo seco de resistir a desintegração em um equipamento com um tambor rotativo motorizado (Tumbling Can Test), ou um que simula um vigoroso manuseio pneumático (Holmen Pellet Tester). O segundo normalmente determina valores mais baixos para a durabilidade que o primeiro. Os grânulos inteiros são separados por peneiramento, e os quebrados são pesados dividindo-se por este peso a quantidade de grânulos submetida ao teste durante um tempo padronizado.

A estabilidade na água é de particular importância para rações sujeitas a períodos prolongados de imersão, especialmente as rações para camarões e mariscos. As condições do teste como a salinidade da água e temperatura, podem imitar as condições naturais. Um período de 4 a 6 horas normalmente é satisfatório. Os grânulos são mantidos submersos dentro de um recipiente de nylon, o qual é sujeitado a uma fraca agitação. Os grânulos retidos dão a medida da estabilidade na água.

A taxa de lixiviação pode ser determinada pela medição da composição da água do recipiente. As medições da absorção de óleo devem ser feitas em péletes obtidos diretamente na linha de produção, no ponto da cobertura de óleo. Normalmente a temperatura do produto, neste ponto, deve ser ao redor de 50°C e a temperatura do óleo de 60°C. A absorção de óleo é medida pelo ganho de peso após a imersão dos péletes em excesso de óleo por um período especificado. Os parâmetros de textura de maior interesse são a resistência a ruptura e dureza. Normalmente, os testes são feitos em grânulos individualmente, em número suficiente de repetições para produzir

um resultado confiável. Equipamento tipo Instron ou similares são versáteis e dão uma resposta de tempo versus força, pelos quais a dureza e a força de ruptura são facilmente calculados.

A medida da quantidade de água absorvida pelos grânulos pode ser de interesse para rações que afundam. Mudanças na textura e volume normalmente ocorrem após a entrada da água, que simultaneamente afeta a taxa de lixiviação. Um método satisfatório para a medição do grau de gelatinização é o enzimático. Este é baseado no princípio de que o amido gelatinizado é inteiramente hidrolizado a glicose pela enzima amiloglicosidase. Duas medições são feitas para cada amostra, uma medição da glicose da amostra sem pré-tratamento e a outra liberada da amostra após ter sido completamente gelatinizada pelo calor na presença de dimetil sulfóxido. Um método químico mais simples e rápido é o baseado na propriedade de ligação do iodo com o amido gelatinizado, porém este está sujeito a erros. Um método baseado na medição das propriedades de pasta dos grânulos em suspensão, pelo Rápido Visco Amilógrafo (RVA), mostra ser promissor como um método simples e rápido para medir a gelatinização.

A qualidade do grânulo tem um papel importante no aumento da produção da aquicultura. A indústria deve torná-lo mais estável, para melhorar a qualidade da água a longo prazo, e evitar impacto ambiental prejudicial. Oportunidades de melhorar os grânulos deverão ser perseguidas utilizando principalmente inovações nas formulações e métodos de processamentos superiores.

## **2.6. SUBSTITUIÇÃO DA PROTEÍNA ANIMAL POR VEGETAL, EM RAÇÕES AQUÁTICAS**

O desenvolvimento de dietas de custo reduzido é uma necessidade para o sucesso do manejo de todos os sistemas de produção animal. As rações são freqüentemente o componente de maior custo na criação das espécies aquáticas e podem contribuir com 20-55% do custo operacional total dependendo da espécie e do sistema de produção. A pesquisa para rações economicamente viáveis utilizando ingredientes com origem não marinha continua sendo

prioridade para possibilitar o desenvolvimento da indústria da aquicultura sustentável e lucrativa (JONES et al., 1996).

A farinha de peixe é tradicionalmente o ingrediente principal nas rações de peixes, porque apresenta proteína de alta qualidade e tem boa palatabilidade (LOVELL, 1984). Entretanto, o aumento da demanda, alto custo, e disponibilidade oscilante dessa farinha no mercado mundial (BARLOW, 1989), tem estimulado estudos de fontes alternativas, particularmente proteínas vegetais para substituição na ração de grande número de espécies marinhas e de água doce. Entre as proteínas vegetais a soja é a matéria-prima mais promissora para substituir parcial ou totalmente a farinha de peixe nas rações (BOONYRATPALIN et al., 1998).

Nutricionistas em muitos países tentaram por anos substituir a farinha de peixe pela proteína vegetal. O farelo de soja foi usado na maioria destes estudos. Entretanto, o crescimento foi quase sempre retardado em relação direta à taxa de substituição, não obstante a suplementação com óleos, aminoácidos, vitaminas e minerais. Uma das hipóteses para explicar o insucesso foram problemas ocorridos na tecnologia de produção do farelo de soja. Tais como, insuficiente aquecimento para a inativação dos inibidores de tripsina que interferem na digestão da proteína ou, a baixa disponibilidade de lisina, atribuída ao superaquecimento (VIOLA et al., 1983b).

Os preços relativamente altos das proteínas animais tem dado incentivos econômicos para o desenvolvimento de tecnologia para a substituição por proteínas vegetais, sendo a mais abundante a soja. Quantidades significativas de farinha de peixe foram substituídas por soja e o complexo de carboidratos dos cereais nas fórmulas de rações para peixe e camarão. Tilápia e bagre de canal americano são produzidos somente com proteínas de fontes vegetais (LUSAS, 1999). Uma vantagem inerente das proteínas vegetais é a sua grande disponibilidade e não sazonalidade, com colheitas praticamente 8 meses por ano, se considerarmos os dois hemisférios, enquanto que fenômenos climáticos como o El Niño afetam periodicamente o comércio da farinha de peixe.

A produção mundial de farelos protéicos para rações é estimada em 154,9 milhões de TM (FAS ONLINE, 1998). Estes englobam principalmente os farelos de soja, algodão, amendoim, girassol, canola, coco e palma. O farelo de soja corresponde a aproximadamente 63% do peso

total, enquanto a farinha de peixe 4,1%. Sobre a base de proteína equivalente (usando 44% de proteína para o farelo de soja como referência), este corresponde a 66% da produção e a farinha de peixe a 6,3%.

O tecido vegetal, em contraposição ao animal, não tem células específicas para armazenar gordura. O óleo fica disperso em pequenos plastos esféricos (esferossomos) dentro das células dos cotilédones e do germe, como fonte de reserva de energia para a plântula, e também pode ser depositado em combinação com ceras nas células da epiderme da semente para prevenir sua desidratação (LUSAS, 1999).

As proteínas de oleaginosas são ricas em lisina, mas deficientes em aminoácidos sulfurados como metionina e cistina, enquanto o contrário ocorre nas proteínas dos cereais. Os sub-produtos de cereais são misturados com os farelos de oleaginosas para complementar o perfil de aminoácidos. Aminoácidos sintéticos ou produzidos através de fermentações também podem ser adicionados às rações para otimizar o balanceamento das formulações. As farinhas de oleaginosas contêm quantidades variáveis de antinutrientes incluindo os inibidores de tripsina, que podem ser inativados pelo calor úmido após a extração de óleo, o ácido fítico (ácido hexafosfórico ester de inositol) que reduz a biodisponibilidade de zinco, cálcio, ferro, e outros elementos, o que obriga uma suplementação adicional de fósforo e outros minerais. Ao redor de dois terços do fósforo da matéria vegetal (80% da soja) apresenta-se na forma de fitatos, sendo indisponível nas rações. As espécies da aquicultura variam sua habilidade para utilizar o fósforo ligado a fitatos: o bagre de canal americano pode utilizar de 0 a 50% do fósforo presente na soja (STICKNEY, 1997).

## 2.7. SOJA

A soja foi cultivada na China há 3.000 anos atrás, mas somente no século passado tornou-se a maior cultura entre as plantas oleaginosas, representando 54% da produção mundial de óleo. Sendo composta por 40% de proteína, 34% de carboidratos e 21% de óleo, a soja é um

ingrediente versátil, possuindo literalmente centenas de usos, sendo o principal como ração animal (HANNA, 1999).

A produção mundial de soja da safra 1999/2000 deverá ser ao redor de 151 milhões de t (FAPRI, 1998), provindo cerca de 47% dos Estados Unidos, 20% do Brasil, 11% da Argentina e 10% da China (AMERICAN SOYBEAN ASSOCIATION, 1998). Baseado em dados da composição típica, os 151 milhões de t conterão 60 milhões de t de proteínas e 32 milhões de t de óleo. Aproximadamente 85% da soja produzida é processada.

A soja é a cultura que apresenta as melhores perspectivas de competitividade crescente do Brasil em relação aos seus principais concorrentes, os Estados Unidos e a Argentina, porque é o único que combina grande capacidade de crescimento horizontal e vertical (terras e tecnologia). Da área ainda disponível para a agricultura de grãos, 200 milhões de ha são de cerrado, onde os solos e as condições climáticas são adequadas para o cultivo de soja, sendo que o potencial de produção considerando 1/3 da área ocupada pela mesma, forneceriam cerca de 180 milhões de t (maior que a mundial). O gargalo para a exploração econômica desta nova fronteira está, principalmente, na falta de infra-estrutura adequada de transporte do grão a longas distâncias através de hidrovias e ferrovias, pois serão sempre superiores a 1000 km e as vezes a 2.000 km, inaceitáveis para o transporte rodoviário. No Brasil, segundo a ABIOVE, cerca de 70% da safra é transportada por rodovia, ficando a ferrovia com 25% e a hidrovia com 5% (LEITE, 1999).

Os principais atributos da *Glycine max* são a alta concentração de proteína, perfil e nível de aminoácidos, especialmente lisina, e o alto valor energético. A forma pela qual a soja é mais utilizada na produção animal é como farelo, resultante da extração do óleo, o qual é também largamente empregado pelas indústrias de ração. A utilização do grão de soja integral tem apresentado crescimento nos últimos 15 anos, em virtude de ser uma fonte alternativa de proteína e energia nas rações, do aumento dos preços internacionais dos grãos, e da queda dos preços dos óleos vegetais (LIMA, 1999).

### 2.7.1. Fatores anti-nutricionais da soja

A soja possui alguns compostos naturais, que agem no trato digestório dos animais, alterando os processos de digestão e absorção de nutrientes, denominados fatores antinutricionais.

Segundo BELLAVER & SNIZEK (1999) os principais fatores antinutricionais que devem ser levados em consideração são: os inibidores de tripsina e quimiotripsina (fatores Kunitz e Bowman-Birk) que inibem a digestão protéica; as lectinas, que têm como principal modo de ação, a combinação com as células da parede intestinal causando interferência não específica na absorção de nutrientes; fatores alérgicos (glicina e  $\beta$ -conglucina), que reduzem a absorção de nutrientes e causam efeitos deletérios sobre as microvilosidades do intestino delgado; lipase e lipoxigenase que promovem a oxidação e rancificação da gordura da soja, e os polissacarídeos não-amídicos solúveis (PNAS) como celulose, polímeros não celulósicos (pentosanos, arabinoxylanos, xylanos,  $\beta$ -glucanos) e polissacarídeos pécticos (glicomananos, galactomananos, arabinanos, xiloglucanos e galactanos), que causam diminuição no desempenho dos animais. A atividade antinutritiva dos PNAS pode ser eliminada com o uso de enzimas na ração, as quais causarão despolimerização, auxiliando a digestão de polissacarídeos.

Inibidores vegetais de proteases são proteínas que interferem na ação das enzimas que participam no processo de digestão das proteínas. A maioria dos inibidores de proteases que têm sido estudados estão presentes na soja (Ikenaka & Norioka citado por VIOLA, 1999). Os inibidores de proteases ligam-se as enzimas proteolíticas, tornando-as não funcionais (Coon, citado por VIOLA, 1999). É aceito que o principal efeito antinutricional dos inibidores de tripsina na dieta seja o estímulo à secreção de enzimas digestivas pelo pâncreas. Os inibidores no lúmen do intestino delgado inicialmente reagem com a protease pancreática apropriada. Como resultado, as concentrações de endopeptidases no lúmen decrescem. A não ativação do tripsinogênio no intestino pelos inibidores induz a mucosa intestinal a produzir colecistoquinina, hormônio que estimula as células acinares do pâncreas a produzir mais tripsinogênio, quimiotripsinogênio, e as enzimas elastase e amilase. O sinal para a liberação da colecistoquinina é dependente da queda da concentração de enzimas pancreáticas no lúmen. O resultado final do processo de estimulação da

secreção de enzimas pancreáticas é a perda nas fezes de uma parte das proteínas pancreáticas secretadas, que não podem ser recicladas. (Pusztai et al. citados por VIOLA, 1999).

Como a maioria das enzimas pancreáticas são ricas em aminoácidos sulfurados, suas perdas irão agravar os problemas antinutricionais o que leva à depressão no crescimento. Ao mesmo tempo o pâncreas começa a aumentar de tamanho, devido à sua hipertrofia e hiperplasia (Liener citado por VIOLA, 1999).

Dois fatores inibidores de proteases são responsáveis pela atividade antinutricional da soja. O fator Kunitz é uma proteína com peso molecular 20000 constituída por 181 aminoácidos e com duas ligações dissulfídicas. Segundo Ikenaka & Norioka citado por VIOLA (1999) o sítio ativo esta situado entre os aminoácidos 63 (arginina) e 64 (isoleucina). Esta proteína forma complexos com a tripsina na proporção molecular de 1:1, formando compostos estáveis (Kunitz, Coon, citado por VIOLA, 1999). O seu efeito tem sido demonstrado no decréscimo de digestão da proteína em suínos pela inibição de enzimas proteolíticas (Yen et al., citados por HERKELMAN et al., 1992). Segundo Kakade et al. citados por HAN et al. (1991) 40% da perda de desempenho em suínos e aves consumindo soja crua pode ser creditado ao efeito inibidor de Kunitz.

O inibidor de Bowman-Birk possui 71 resíduos de aminoácidos, com alto conteúdo de cisteína. Apresenta a capacidade de inibir simultaneamente duas proteases de forma independente. A tripsina é inibida pelo sitio ativo LEU (43)-SER (44) e a quimiotripsina pelo sitio ativo LIS (16)-SER (17). O peso molecular é de 80.000, com um equivalente a 17% do conteúdo em cisteína (Ikenaka & Norioka, Coon, Larbier & Leclerq citados por VIOLA, 1999). Os inibidores de tripsina reduzem a digestibilidade do nitrogênio e da energia (Rudolph et al., Vandergrift et al. citados VIOLA, 1999).

Grãos, e em especial de leguminosas, são fontes ricas em lectinas. Lectinas (hemaglutinas) são compostos protéicos que estão presentes na forma de glicoproteínas. São caracterizadas pela capacidade de ligar-se a componentes dos açúcares. A afinidade com açúcares pode diferir entre as várias lectinas. O primeiro efeito das lectinas esta relacionado com o fato destas ligarem-se a parede da mucosa intestinal. Esta ligação resulta em danos às células do epitélio intestinal, o que pode resultar em decréscimo na absorção de nutrientes, uma troca na atividade das enzimas das

bordas em escova e uma hiper secreção de proteína endógena, um aumento da produção de mucina e uma perda de proteína plasmática para o lumen Intestinal (Huisman & Tolman, Larbier & Leclercq citados por VIOLA, 1999).

Segundo PUZTAI et al. (1993), em situações altamente específicas, as lectinas ligam-se de maneira irreversível a glicídios simples ou complexos, que estão em solução e presentes nas membranas ou outras superfícies biológicas. As lectinas diminuem a disponibilidade dos aminoácidos da dieta em função da menor área de absorção do intestino devido a lesões na mucosa. Também é sugerido que as lectinas podem aumentar o catabolismo dos tecidos protéicos (Larbier & Leclercq citado por VIOLA, 1999). Uma série de complexos eventos que culminam em severa depressão no crescimento e levam à morte dos animais, ocorrem devido à ligação das lectinas com as células epiteliais do intestino, hipertrofia intestinal acompanhada de aumento na taxa de síntese de proteína que constitui o muco, aumento do catabolismo no fígado e proteína muscular, diminuição do nível de insulina do sangue e inibição das hidrolases das bordas em escova (Liener, 1988 citado por VIOLA, 1999).

Assim como para os inibidores de tripsina, o tratamento pelo calor é o método mais freqüentemente utilizado para reduzir a atividade das lectinas. Os resultados têm demonstrado que as lectinas são mais sensíveis ao calor do que os inibidores de tripsina; com tostagem a seco a inativação é menos efetiva do que quando utilizados os métodos de tostagem úmida, autoclavagem e extrusão (HUISMAN & TOLMAN, 1992).

O complexo de enzimas lipoxigenases (CEL) é considerado ser responsável pelo desenvolvimento do sabor ruim na soja e outros legumes, e em vários produtos vegetais secos (vagens, cenouras, batatas, etc.). Este ataca os ácidos graxos poli-insaturados, especialmente linoleico e linolênico, e inicia uma parcial oxidação da estrutura molecular que, inicial ou posteriormente deriva em aldeídos e cetonas. A literatura aponta pesquisas com três lipoxigenases em soja: L-1, L-2 e L-3 (LUSAS, 1999). A soja integral sem processamento não tem aplicação na formulação de rações, ou se existe, é limitada, sendo seu uso dependente do processamento industrial (VIOLA, 1999).

### **2.7.2. Qualidade da soja como matéria-prima**

Os fatores de qualidade (defeitos) e os limites máximos (%) de tolerância para o grão de soja, estabelecidos pelo Ministério da Agricultura e do Abastecimento são: grãos avariados (ardidos, brotados, danificados, imaturos, chocos e mofados) 1%; grãos quebrados 30%; grãos esverdeados 10%; impurezas e matérias estranhas 1% e umidade 14%. A soja que não se enquadra dentro dos limites máximos de tolerância de defeitos é considerada de padrão básico – FPB. Porém, os padrões de qualidade do recebimento de grãos de soja varia em função da empresa que compra e do produto final a que se destina. Por exemplo, a Perdigão S/A somente recebe o grão de soja para produção de farinhas integrais e farelo branco desengordurado (produção de proteínas) com menos de 0,5 e 1% respectivamente de impurezas e matérias estranhas, grãos avariados inferiores a 0,5 e 3%, respectivamente, e 14% de umidade para ambos casos (CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1999).

### **2.7.3. Processamento da soja**

A soja após ser transportada é recebida na empresa de esmagamento para limpeza e secagem. Nessa fase a soja deve ter no máximo 12% de umidade, o que permitirá uma boa armazenagem. No processamento o grão da soja é transportado através de rolos quebradores, produzindo a soja quebrada com casca, a qual será separada no separador de cascas. Estas serão moídas e tostadas para posterior reincorporação ao farelo, dependendo do tipo de subproduto a ser comercializado. A soja sem casca segue para o condicionador, e em seguida para a laminação. Na laminação, os grãos partidos passam por rolos e seguem para a expansão. Neste estágio o material é tratado com vapor para tornar-se esponjoso. Este segue para o resfriador e em seguida para o extrator de óleo com hexano, onde são produzidas duas frações: a miscela e o farelo de soja cru. O farelo de soja é levado ao tostador que tem duas funções: recuperar parte do hexano ainda presente no farelo e desativar os fatores antinutricionais. A seguir vai para o peletizador para

compactar o farelo e viabilizar a armazenagem, o transporte, e o uso na formulação de rações (BELLAYER & SNIZEK, 1999).

Na tradicional extração por solvente os grãos ou frutos oleaginosos são descascados, quebrados, umidificados e aquecidos (para deixar o cotilédone mole), floculados (semente fica com uma espessura fina). Rolos duplos, girando com velocidades diferentes são freqüentemente preferidos para romper células individuais. Na prensagem a semente é essencialmente aquecida para desnaturar proteínas e facilitar o rompimento da parede (LUSAS, 1999).

O tratamento térmico durante a extração do óleo pode afetar a digestibilidade de alguns aminoácidos, especialmente a lisina. O farelo de soja é a principal fonte de lisina das rações comerciais. O ponto crítico na avaliação da qualidade do farelo de soja é determinar se o mesmo foi sub ou super processado pelo calor. O super aquecimento com aparecimento da reação de Maillard produz uma coloração caramelada que é devida ao pigmento melanoidina. Para avaliar o grau de processamento térmico existem vários métodos, entre os quais o índice de atividade ureática, a solubilidade da proteína em KOH, a atividade inibidora de tripsina e a capacidade de coloração da proteína processada. Na prática apenas os dois primeiros têm sido relevantes devido à facilidade de execução e ao baixo custo laboratorial (BELLAYER & SNIZEK, 1999).

No processamento da soja são produzidos vários ingredientes com aplicação na alimentação animal, entre os quais: os farelos de 44 ou 48% de proteína, o óleo degomado, as lecitinas, a borra, a casca e o concentrado protéico (BELLAYER & SNIZEK, 1999). Os ingredientes de proteína de soja incluem: soja integral, farelo, concentrado e isolado protéico. O isolado e o concentrado protéico são utilizados em alimentos humanos e em dietas experimentais purificadas, pois seu custo limita suas utilizações em rações comerciais.

#### **2.7.4. Farelo de soja**

Quando processado adequadamente, o farelo de soja é altamente palatável e digestível. Apresenta alto conteúdo de proteína bruta (entre 42 e 50%), bom balanço de aminoácidos, baixa concentração de fibras e elevado conteúdo de energia digestível (SWICK, 1998).

O produto da soja mais utilizado em rações aquáticas é o farelo de soja descascada, extraído com solvente (48,5% de PB). A digestibilidade da proteína e aminoácidos essenciais varia de espécie para espécie, mas tem sido comparável com a farinha de peixe dependendo da sua qualidade. A digestibilidade total entretanto é menor para farelo de soja que para farinha de peixe, sugerindo dificuldades na utilização dos carboidratos entre as espécies (LUSAS, 1999).

Nutricionistas de peixes em muitos países têm tentado por anos substituir a farinha de peixe por proteína de ingredientes vegetais. O farelo de soja foi utilizado na maioria destes estudos. Entretanto, o crescimento foi quase sempre retardado em relação direta à taxa de substituição, não obstante a suplementação com óleo, aminoácidos, vitaminas e minerais. Uma das hipóteses para explicar o insucesso foi o defeito na tecnologia de produção de farelo de soja: insuficiente aquecimento para a inativação dos inibidores de tripsina que interferem na digestão da proteína e a baixa disponibilidade de lisina, atribuída ao superaquecimento (VIOLA et al., 1983).

Recentemente outras tecnologias mais novas de processamento de soja estão em uso, originando produtos sem os defeitos do farelo de soja convencional, como por exemplo a soja integral processada (extrusada, aquecida a seco ou tratada a vapor) e o concentrado protéico (60% PB) produzido por extração alcóolica após o desengorduramento feito com hexano (VIOLA et al., 1983).

Existem muitas contradições sobre a performance do farelo de soja nas diferentes espécies, principalmente na literatura científica de aquicultura. Salmão e truta são alimentados com rações que possuem altos teores de proteína e energia. Rações para salmão podem incluir acima de 50% de farinha de peixe e 15% de farelo de soja na fase inicial, e 30% de farinha de peixe e 25% de farelo de soja em dietas para crescimento (HARDY, 1989).

Altos níveis de substituição de farinha de peixe por farelo de soja estão sendo feitas em rações para espécies como bagre de canal e tilápia, que podem conter aproximadamente 50% de farelo de soja, somente 5% de farinha de peixe, e acima de 40% de derivados de cereais (LOVELL, 1989). Tilápias estão sendo alimentadas com ração totalmente vegetal. Rações contendo 35% de proteína e com uma porcentagem de lisina em relação à proteína de aproximadamente 4,7% são utilizadas para tilápias em acabamento, em sistema de criação semi-

intensivo. Estudos indicam que o fator crítico da utilização de proteínas de origem vegetal nas rações de tilápia tem sido a disponibilidade de fósforo na ração. A suplementação com fósforo mineral permite a completa substituição da farinha de peixe sem afetar a performance dos peixes (GUR, 1997).

A substituição total da farinha de peixe por farelo de soja com suplementação de L-metionina em rações para juvenis de bagre azul (*Ictalurus furcatus*, Lesuer) resultou após 12 semanas de ensaio em maiores ganho de peso, sobrevivência, taxa de crescimento específico, taxa de conversão da ração, e taxa de eficiência proteica; o consumo da ração foi similar entre os tratamentos (15% de farinha de peixe e 42% de farelo de soja na ração controle e sem farinha de peixe e 70% de farelo de soja com adição de 0 a 0,9% de metionina nos outros tratamentos) (WEBSTER et al., 1995).

#### **2.7.5. Farinha de soja integral**

A utilização de soja integral na formulação de rações apresenta algumas vantagens. O emprego de óleos vegetais é normalmente caro, existindo também a dificuldade quanto à sua armazenagem e dosagem. Além disso o farelo e o óleo de soja apresentam agregados o preço do processo de extração do óleo (VIOLA, 1999).

A soja integral é uma leguminosa que apresenta excelente qualidade nutricional com teor de proteína bruta elevado, em torno de 38%, e adequado balanço de aminoácidos. Apresenta como primeiro aminoácido limitante a metionina. Associado à qualidade protéica este grão ainda apresenta elevado teor de óleo, em torno de 18%, o que lhe confere valor de energia metabolizável e digestível superior ao do milho (VIOLA, 1999).

Outra vantagem do grão de soja integral é que possui lecitinas em sua composição, enquanto que estas são extraídas com o óleo e não acompanham o farelo de soja. As lecitinas melhoram o nível nutricional das dietas através da emulsificação das gorduras, permitindo um aumento na digestão e absorção de gorduras (LINDSEY, 1988). A propriedade de emulsificação

das lecitinas ajuda a aumentar a dispersão das gorduras na fase aquosa durante a digestão e absorção. A emulsificação também melhora o manuseio e a funcionalidade dos produtos. A lecitina apresenta outras funções importantes como antioxidante, prevenindo a reação entre o oxigênio e os ácidos graxos insaturados, evitando a formação de hidroperóxidos e radicais livres, que causam influências negativas na performance e desenvolvimento do animal (CASEY, 1997, 1998).

O objetivo do uso da farinha de soja integral é reduzir o custo da ração pela eliminação das despesas necessárias como coleta, compra e venda, expedição e extração com solventes. Como resultado, a soja frequentemente pode ser utilizada mais próxima do local de produção. Entretanto, o inibidor de tripsina deve ser inativado antes do fornecimento às espécies da aquicultura. O grão de soja moído pode ser incorporado como ingrediente nas pré-misturas de rações extrusadas (LUSAS, 1999).

O maior entrave ao uso da soja “in natura” em dietas é a presença de diversos compostos que prejudicam o desenvolvimento dos animais, tais como inibidores de proteases, como os inibidores de tripsina, alcalóides, saponinas, hemaglutinas, taninos e glicosídeos. Os inibidores de tripsina são considerados os mais importantes componentes antinutricionais da soja, destacando-se os inibidores Kunitz e Bowman-Birk. Lectinas são compostos protéicos associados a carboidratos (glicoproteínas), que tem a capacidade de ligarem-se à parede da mucosa intestinal prejudicando a absorção de nutrientes, reduzindo a atividade enzimática nas bordas do epitélio, aumentando a secreção de proteínas endógenas, elevando a produção de mucina e perda de proteína plasmática para o lúmen intestinal (LIMA, 1999).

A maioria destes compostos são termolábeis, sendo necessário o emprego de tratamento térmico para a sua inativação. A inativação destes compostos é menos efetiva quando se emprega a tostagem a seco, em comparação com outros métodos como a tostagem úmida, autoclavagem e extrusão (HUISMAN & TOLMAN, 1992).

### 2.7.6. Tratamento térmico da soja integral

A soja ‘in natura’ não é consumida devido à presença de fatores antinutricionais em sua composição. Entretanto, o processamento pelo calor permite a destruição da maioria das moléculas inibidoras da digestão. Existem diversos métodos de processamento do grão da soja, que incluem o calor úmido e o calor seco. Entre os sistemas mais utilizados estão: tostagem, “jet-exploder”, micronização, cocção e extrusão, descritos a seguir (Lima et al. citados por BELLAVER & SNIZEK, 1999).

O processo de tostagem por calor seco envolve o cozimento da soja com ar seco aquecido em temperaturas variando de 110 a 170°C, dependendo do tipo de equipamento utilizado (tambor rotativo e o tostador de túnel são os mais comuns), o que ocasiona variações no grau e qualidade da tostagem. A tostagem por calor úmido é feita em um equipamento que movimenta a soja enquanto a submete diretamente ao vapor, com baixa pressão de trabalho, processando de 1.500 a 3.000 Kg de grãos/h, necessitando de caldeira para produção de vapor (procedimento é semelhante à autoclavagem).

No processamento “jet-exploder” o grão de soja entra em um tubo onde é submetido a um jato de ar aquecido (315°C). Ao sair do tubo o ar se encontra a 120-200°C e esse gradiente de temperatura provoca, em 1 minuto, a elevação da temperatura do grão acima do ponto de ebulição da água, sendo aquecido a 140-150°C e submetido a pressão, o que provoca a ruptura da estrutura do grão, que posteriormente é resfriado, laminado e moído.

No processo de micronização o grão de soja passa pela limpeza, entra por uma moega dosadora e vai a uma esteira vibratória de ladrilhos que estão sob queimadores a gás que produzem raios infravermelhos como fonte de calor. Durante 5 minutos de passagem pela esteira os raios infravermelhos penetram no grão movimentando as moléculas, aquecendo-o e vaporizando a água. O grão fica inchado e com fissuras internas e passa por um cilindro que o lamina, depois trafega por um tanque redondo com agitador onde ocorre o resfriamento do produto. O produto laminado deve ser moído para posterior utilização em rações.

O cozimento consiste em adicionar os grãos de soja a um volume de água, na proporção de 1:2, quando esta se encontra em ebulição (100°C), por um período de 30 minutos. Passado este período os grãos são retirados da água e postos para esfriar e secar sobre papel impermeável ou então seco em estufas para posteriormente serem moídos.

Outro processo utilizado é a extrusão, que é um processo de cozimento sob pressão, umidade, alta temperatura, curto tempo e fricção dos ingredientes movimentados por uma rosca sem fim dentro da camisa de um canhão de extrusão. A pressão é elevada no interior do equipamento devido à resistência que o material sofre ao passar pelo orifício de saída chamado de matriz. Na extrusão seca, os grãos de soja integral ou moída são empurrados para dentro do extrusor. O alto teor de óleo da soja atua como lubrificante, dispensando a adição de umidade ao processamento. A temperatura é elevada para 138 a 150°C, sendo suficiente para desnaturar os fatores antinutricionais e romper as células de óleo. O processo de extrusão úmida é parecido, porém a soja é preconditionada com vapor d'água e pressão a uma temperatura de 125 a 138°C aumentando a eficiência da extrusão.

Entre os ingredientes a soja integral extrusada é a que apresenta melhores características nutricionais. Entretanto o seu custo de processamento e preço de mercado nem sempre permitem o seu uso nas rações de suínos e aves (BELLAVÉR & SNIZEK, 1999).

A produção de farinhas de soja utilizando tratamento térmico adequado agrega valor ao produto, tornando-o menos competitivo no caso das rações extrusadas. Toda farinha de soja integral tem densidade calórica mais alta que os farelos extraídos com solvente, e normalmente um teor de fibra mais alto devido à não remoção da casca. Entretanto, a digestibilidade da proteína e aminoácidos essenciais variam com os processos e espécies. O "NRC" dos Estados Unidos tem utilizado o termo coletivo "grão de soja processado por calor" e tem reportado valores de energia metabolizável de 3.300 kcal/kg para aves e 3.625 kcal/kg para suínos. Estes valores tem sido contestados por fabricantes de extrusores que tem obtido 4.020 kcal/kg e 4.180 kcal/kg, respectivamente para soja integral processada por "extrusão seca" (LUSAS, 1999).

A digestibilidade de aminoácidos e retenção do nitrogênio mais altas, que traduzem uma redução de peso da ração requerida por unidade de ganho de peso em aves, tem sido reportada

para o processo de extrusão seca, comparado com a extrusão úmida ou tostagem (HANSEN, 1996).

Em um estudo sobre a qualidade do farelo de soja e sojas integral crua, macerada, extrusada e tostada para a alimentação de pacus, todos os produtos analisados apresentaram fatores antinutricionais, sendo que a menor atividade para os inibidores da tripsina foi observada para o farelo de soja ( $P < 0,01$ ). A atividade hemaglutinante foi menor para os produtos que receberam tratamento térmico. O farelo de soja apresentou uma atividade ureática zero, não obtendo um índice de qualidade recomendado para sua comercialização (STECH et al., 1998a). Os diferentes tratamentos térmicos aplicados à soja têm como consequência a mudança na disponibilidade de alguns aminoácidos. A soja extrusada apresentou o melhor perfil quantitativo de aminoácidos. Devido à extrusão as proteínas tornam-se mais susceptíveis à hidrólise (STECH & CARNEIRO, 1998a). As sojas que sofreram algum tratamento, principalmente o térmico, apresentaram melhores coeficientes de digestibilidade do que a soja crua. Todos os materiais analisados possuem alto teor de proteína digestível para o pacu, e a utilização do farelo de soja e as sojas extrusada e tostada implicaram em melhora da qualidade da dieta (STECH & CARNEIRO, 1998b).

Segundo HOLMES (1987) há vantagens da farinha de soja integral tostada ou extrusada sobre o farelo de soja, porque contém os antioxidantes naturais do óleo (tocoferol e lecitina), prolongando assim o tempo de prateleira. A farinha de soja integral sub-processada, mostrará logo os sinais de rancidez devido à incompleta destruição das lipoxigenases. Até 9 semanas de estocagem não ocorre grande modificação oxidativa nas gorduras da farinha de soja integral. Há aumento de peróxidos com 15 semanas de estocagem a 45°C. Pode-se assumir que uma temperatura ambiente normal, o tempo de estocagem é de 2 meses sem prejuízo à qualidade.

O uso de farinha de soja integral em dietas de aves produziu resultados comparáveis com aqueles obtidos com o uso de farelo de soja desengordurado e óleo de soja nas rações, e a um custo menor (SCOTT, 1973). Antes dos feijões de soja serem utilizados na dieta devem ser tratados com calor para destruir o inibidor de tripsina, junto com outros fatores tóxicos, sem afetar negativamente o valor nutricional dos feijões (REINITZ et al., 1978).

Vantagens econômicas na alimentação de camarão e várias outras espécies de peixes com farinha de soja integral têm sido reportados, mas deve-se ter cautela para confirmar que tipo de processo foi utilizado na preparação da farinha (LUSAS, 1999).

## 2.8. PIAVUÇU (*Leporinus macrocephalus*)

Nos últimos anos tem havido um grande incremento de empreendimentos do tipo Pesque-Pague no Brasil, em especial nos Estados do sul e centro do país. Apenas no Estado de São Paulo, calcula-se que existam atualmente mais de 3.000 explorações nas quais se pode encontrar várias dezenas de espécies de peixes (DIAS, 1998). Nestas incluem-se espécies introduzidas de outros continentes, como a tilápia e os bagres africano e americano, bem como espécies de outras bacias hidrográficas. O sucesso comercial destes empreendimentos faz prever que o seu número aumente substancialmente num futuro próximo. Por outro lado, e uma vez que os pescadores normalmente não produzem peixes, existe grande número de pisciculturas necessárias para abastecer este tipo de mercado (EIRAS et al., 1998).

Os peixes do gênero *Leporinus* são uns dos mais frequentes nos rios do Brasil. Conhecidos vulgarmente por piabas, pias, piaparas e piabuços são consumidos na alimentação do povo que neles reconhecem boas qualidades nutritivas (CAMPOS, 1945). O gênero *Leporinus* é da família *Anostomidae*, ordem *Characoidei*, Sub Ordem *Percoidei* (GODINHO, 1984).

As espécies do gênero *Leporinus* são praticamente desconhecidas do ponto de vista zootécnico (CASTAGNOLLI, 1992). Espécies como *L. elongatus*, *L. friderice*, *L. obtusidens* e *L. macrocephalus* são utilizadas por piscicultores por apresentarem bom desempenho e aceitação de dietas artificiais (SOARES, 1997). Caracterizando-se por possuir hábito alimentar onívoro, utilizam uma ampla gama de alimentos, sendo que vegetais e sementes são os itens frequentes na sua alimentação (ADRIAN et al., 1994).

O gênero *Leporinus* Spix, 1829, é um dos mais complexos entre *Characiformes*, sobretudo por apresentar grande número de espécies, cerca de sessenta. O *Leporinus macrocephalus* sp é

uma das espécies que apresentam maior porte dentro do gênero, sendo por isso mesmo de importância econômica para a pesca na área do Pantanal Matogrossense, onde é conhecido pelo nome de “piavussu” (GARAVELLO & BRITSKI, 1988). O piavuçu (*Leporinus sp*) é uma das principais espécies comercializadas nas pescarias do Pantanal Matogrossense, é reolífico e tem reprodução anual (FERRAZ DE LIMA, 1993). É uma espécie herbívora, também com tendência a consumir outros alimentos, como caramujos e caranguejos. Alcança comprimento aproximado de 60 cm ou mais. Peixe de piracema, reproduz-se nas cabeceiras dos rios, de novembro a janeiro. O tamanho mínimo de captura é 38 cm. Na cheia pode ser encontrado nos ambientes inundados, mas de preferência em locais com água corrente, como corixos e pequenos braços de rios (EMBRAPA, 1999).

A piapara (*L. elongatus*) e o piavuçu (*L. macrocephalus*) são espécies que vêm sendo amplamente utilizadas para a piscicultura principalmente nos estados da região sudeste e sul do Brasil. Em cativeiro estas espécies apresentam bom ganho de peso e boa conversão alimentar. O sistema de criação adotado é semelhante àquele utilizado para pacu e corimba. Possuem bom desempenho nos períodos de temperatura mais baixa, o que é importante principalmente no aspecto de alimentação. São utilizadas dietas com 25 a 26% de proteína durante o período de terminação e 28 a 30% de proteína no período inicial. A utilização de fontes protéicas de origem vegetal tem sido bem aproveitada. Em cativeiro possuem capacidade de atingir 1,0 kg de peso no período de um ano, no qual já pode ser comercializado, e são destinados principalmente para “pesque-pague”, onde além do valor da sua carne, têm sido reconhecidas pelo seu valor na pesca esportiva. Sua carne geralmente possui valor intermediário entre a do pacu e a do corimba, sendo de custo inferior à do pintado, da piracanjuba, do dourado e da matrinhã, com os estoques dos mercados repostos basicamente pela pesca extrativa (FURUYA, 1997).

### **III. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. MATÉRIA PRIMA**

Foram utilizadas para a elaboração das rações: grãos de soja integral, doados pela Kowalski Alimentos Ltda., Apucarana - PR; grãos de milho (Caramuru Alimentos de Milho Ltda, Apucarana - PR); farelo de soja desengordurado com solvente (Ralston Purina do Brasil Ltda., Paulínia - SP); premix vitamínico/mineral - Peixes Completo Nutron 805A, fosfato bicálcico - Fosbical, butano hidroxi tolueno - BHT e DL-metionina (Nutron Alimentos Ltda., Campinas - SP).

#### **3.2. EXPERIMENTO DE EXTRUSÃO**

##### **3.2.1. Formulação das rações**

As rações foram balanceadas com ajuda de uma planilha eletrônica Microsoft Excel. Utilizou-se as exigências nutricionais da tilápia do Nilo, recomendada pelo NRC (1983). As rações foram formuladas para possuírem diferentes níveis de substituição de farelo de soja desengordurado com solvente (FS) por soja integral (SI) sem tratamento térmico, a não ser o posterior processo de extrusão utilizado na fabricação das rações (Tabela 3.1).

Grãos de soja, farelo de soja e grãos de milho, moídos e passados em peneira com orifícios de 0,5 mm, foram utilizados como fontes de proteína e energia das dietas. O aminoácido DL-metionina foi utilizado para completar o perfil de aminoácidos requeridos. O suplemento mineral/vitamínico utilizado foi o premix Nutron 805A, o teor de pureza da DL-metionina usada foi de 98% e a fonte mineral de fósforo foi o fosfato bicálcio (65% de fósforo disponível).

Tabela 3.1. Composição percentual dos ingredientes e valor nutritivo calculado das rações experimentais com diferentes níveis de substituição de farelo de soja desengordurado por soja integral

	Níveis de substituição (%)				
	0	30	48	74	100
Soja integral	0,00	20,00	35,00	50,00	67,47
Farelo de soja	50,00	35,00	24,00	13,00	0,00
Milho	46,16	41,18	36,98	33,08	28,56
BHT	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Fosfato bicálcico	2,82	2,70	2,90	2,80	2,82
DL-Metionina	0,00	0,10	0,10	0,10	0,13
Premix*	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>Valores Calculados</b>					
Proteína Bruta (%)	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
Cálcio (%)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Fosfóro (%)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Extrato Etéreo (%)	2,1	5,0	7,0	9,1	11,6
ED/kcal**	3193	3326	3413	3510	3621

\* Níveis de vitaminas e minerais garantidos na embalagem de Nutron 805<sup>A</sup> (nutriente/níveis de garantia em 1 Kg): Ácido Fólico 250 mg; Ácido Pantotênico 5.000 mg; Vit. A 1.000.000 UI; Vit. B<sub>1</sub> 250 mg; Vit. B<sub>12</sub> 2.500 mcg; Vit. B<sub>2</sub> 1.750 mg; Vit. B<sub>6</sub> 875 mg; Vit. C 12.500 mg; Vit. D<sub>3</sub> 600.000 UI; Vit. E 12.500 UI; Vit. K 315 mg; Niacina 3.750 mg; Cobalto 24.999 mg; Cobre 1.999 mg; Ferro 11.249 mg; Iodo 106 mg; Manganês 3.749 mg; Selênio 75 mg; Zinco 17.499 mg; Antioxidante 0.25 g; Veículo QSP. \*\* ED = energia disponível (kcal).

Para facilitar a discussão, as dietas foram denominadas de controle (com 0% de substituição, 100% de FS e 0% de SI), 30, 48, 74 e 100, conforme o nível de substituição de FS por SI, correspondendo a níveis de SI de 0%, 20%, 35%, 50% e 67,5% no total da composição das rações. Os teores calculados de lipídios destas rações foram de 2,1%, 5,0%, 7,0%, 9,1%, 11,6%, com 3193kcal; 3326kcal; 3413kcal; 3510kcal e 3621kcal de energia disponível (ED), respectivamente (Tabela 3.1.).

As rações foram formuladas para serem isoprotéicas (ao redor de 28% de proteína), isocálcicas (ao redor de 0,8% de Ca) e isofosfóricas (ao redor de 0,6% de P). Com o aumento do nível de substituição de FS por SI, houve uma simultânea redução da quantidade de milho utilizada nas rações, pois a SI possui menos proteína que o FS e mais proteína que o milho. Evitou-se utilizar outros ingredientes, além dos citados, para manter o mesmo perfil de aminoácidos em todas as rações e manter baixo o custo.

### 3.2.2. Preparo das rações por extrusão

As rações foram fabricadas no Centro de Pesquisas em Tecnologias de Extrusão, do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP.

Os grãos de soja, o milho e o farelo de soja foram moídos separadamente em moinho de martelos marca Tigre modelo CV2, com peneira de orifícios de 0,5 mm de diâmetro. A homogeneização foi conduzida em um misturador Siam-Tweedy (capacidade de 30Kg), por um tempo de 7 minutos. Esta mistura foi novamente moída e misturada por mais 7 minutos, para melhorar a homogeneidade das partículas e das misturas.

A extrusão foi conduzida em extrusor de laboratório de dupla rosca, co-rotacional, modelo ZSK-30, da Krupp Werner & Pfleiderer Co. (Figura 3.1.), com capacidade máxima de 30 kg/h, equipado com sistema de aquisição de dados "on-line", alimentador volumétrico programável e bomba Watson-Marlon, para injetar água na camisa do extrusor, para que a mistura de matérias-primas introduzidas no mesmo alcançasse o teor de umidade pré-estabelecido no delineamento experimental.

A mistura de ingredientes foi colocada no alimentador volumétrico durante a extrusão. A regulação da velocidade da rosca do alimentador possibilitou variar a vazão de alimentação, também conforme o delineamento experimental. A configuração da rosca utilizada está apresentada no ANEXO 1.



Figura 3.1. Extrusor de dupla rosca, modelo ZSK-30, da Krupp Werner & Pfeleiderer Co.

A extrusão das amostras iniciou-se quando as quatro diferentes zonas do extrusor atingiram as temperaturas pré-estabelecidas. A temperatura da primeira zona foi fixada em 40°C. A temperatura das zonas 2, 3 e 4 variaram conforme o delineamento experimental. Simultaneamente à extrusão, os péletes das rações foram cortados conforme emergiam da matriz por uma sistema de facas giratórias acoplado na saída do extrusor. A coleta das amostras foi iniciada após a estabilização do processo. As rações extrusadas foram secas em estufa Fanem 330 com circulação forçada de ar, por 12 horas a 60°C, resfriadas a temperatura ambiente por 20

minutos, embaladas em sacos de poli-propileno e armazenadas, em geladeira, a 5°C, até de serem utilizadas.

### **3.2.3. Determinação da composição química dos ingredientes e rações experimentais**

Foram determinados os teores de matéria seca (MS%), proteína bruta (PB%), extrato etéreo (EE%), matéria mineral (MM%) e fibra bruta (FB%) dos ingredientes e das rações experimentais, utilizando as técnicas 925.10; 920.87; 920.85; 923.03; 920.86; descritas pela A.O.A.C. (1990).

### **3.2.4. Planejamento experimental**

#### **3.2.4.1. Triagem das variáveis**

Para não excluir de forma arbitrária fatores potencialmente importantes, foi incluído na etapa de triagem o maior número possível de variáveis.

Inicialmente, um delineamento fatorial fracionário saturado ( $2_{III}^{7-4}$ ) de oito ensaios foi estabelecido (BARROS NETO et al., 1995), para avaliar os efeitos principais das sete variáveis escolhidas sobre a capacidade de flutuação na água das rações extrusadas, conforme Tabela 3.2.

As variáveis utilizadas e seus níveis de variação estão apresentados na Tabela 3.3.

#### **3.2.4.2. Modelagem**

A modelagem de experimentos é um método que poupa tempo e recursos pois o número de ensaios pode ser reduzido (IFT, 1990). Após a triagem das variáveis, foram realizados mais

cinco experimentos de extrusão, um para cada formulação, conforme o planejamento fatorial  $2^3$  com três repetições no ponto central (Tabela 3.4.).

Tabela 3.2. Planejamento fatorial fracionário saturado  $2_{III}^{7-4}$ , valores codificados

ENSAIO	VARIÁVEIS						
	TE	TU	DM	VA	TG	VR	TS
1	-	-	-	+	+	+	-
2	+	-	-	-	-	+	+
3	-	+	-	-	+	-	+
4	+	+	-	+	-	-	-
5	-	-	+	+	-	-	+
6	+	-	+	-	+	-	-
7	-	+	+	-	-	+	-
8	+	+	+	+	+	+	+

Equivalências: 4=12 5=13 6=23 7=123; TE = temperatura de extrusão; TU = teor de umidade; DM = diâmetro da matriz; VA = velocidade de alimentação; TG = teor de gordura; VR = velocidade da rosca; TS = temperatura de secagem

Tabela 3.3. Variáveis e níveis de variação usadas na etapa de triagem das variáveis.

VARIÁVEIS	NÍVEIS	
	-1	+1
TE (°C)	120	180
TU (%)	15	30
DM (mm)	2	4
VA (g/s)	50	100
TG (%)	13,5	19,5
VR (rpm)	100	200
TS (°C)	40	80

TE = temperatura de extrusão; TU = teor de umidade; DM = diâmetro da matriz; VA = velocidade de alimentação; TG = teor de gordura; VR = velocidade da rosca; TS = temperatura de secagem

Tabela 3.4. Planejamento  $2^3$  com três repetições no ponto central para as 3 variáveis independentes.

ENSAIO	VARIÁVEIS CODIFICADAS		
	$x_1$	$x_2$	$x_3$
1	-1	-1	-1
2	-1	-1	1
3	-1	1	-1
4	-1	1	1
5	1	-1	-1
6	1	-1	1
7	1	1	-1
8	1	1	1
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0

$x_1$  = temperatura de extrusão ( $^{\circ}\text{C}$ );  $x_2$  = velocidade de alimentação (kg/h);  $x_3$  = umidade (%)

Este planejamento é composto por: (a) porção cubo,  $(x_1, x_2, x_3) = (\pm 1, \pm 1, \pm 1)$ ; (b) ponto central  $(x_1, x_2, x_3) = (0, 0, 0)$  (BOX & DRAPPER, 1987). Portanto, este planejamento varre três níveis de cada variável, permitindo verificar se há ou não falta de ajuste para um modelo linear. Portanto, neste trabalho foram realizados 11 ensaios para cada formulação, totalizando 55 ensaios no total.

As três variáveis independentes utilizadas foram: umidade, velocidade de alimentação e temperatura de extrusão (escolhidas através da triagem das variáveis, testes preliminares e literatura). As faixas de variação entre o limite inferior e superior de cada variável foram determinadas através de testes preliminares.

Os níveis das variáveis estão apresentados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5. Variáveis e níveis de variação para cada nível de substituição de farelo de soja por soja integral na formulação das rações

Nível de substituição de farelo de soja por soja integral (%)	Temperatura (°C)			Veloc. Alimentação (kg/h)			Teor de umidade (%)		
	-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1
0	110	130	150	14	17	20	19	22	25
30	110	130	150	13	16	19	18	21	24
48	110	130	150	12	15	18	17	20	23
74	110	130	150	11	14	17	16	19	22
100	110	130	150	10	13	16	15	18	21

A velocidade de rotação do motor ou rosca foi mantida constante em 500 rpm em todos os experimentos. A matriz de saída escolhida tinha 4 orifícios circulares com 1,4 mm de diâmetro cada.

Neste trabalho as variáveis independentes foram codificadas e as respostas apresentadas em valores reais. Para transformar os valores codificados das variáveis independentes em valores reais emprega-se a seguinte equação:

$$x = \frac{X - Y}{q}$$

Onde: x = valor codificado da variável; X = valor real da variável; Y = valor real da variável do ponto central; q = intervalo de variação de X.

A ordem de execução dos ensaios foi aleatória e determinada por sorteio. Para cada ensaio foram analisadas as seguintes respostas (variáveis dependentes): capacidade de flutuação (CF); peso específico aparente (PEA); taxa de expansão radial (TER); perdas por lixiviação na água (PLA); absorção de água (AA) e dureza (D).

### 3.2.5. Variáveis resposta

#### 3.2.5.1. Capacidade de flutuação (CF)

Para determinação do tempo máximo médio de flutuação ou capacidade de flutuação das partículas de ração dos diferentes tratamentos, dez grânulos de cada tratamento foram introduzidos cuidadosamente em um recipiente de vidro de 1000 ml, com água destilada parada (24°C, pH 6,7). Registrou-se o tempo para cada partícula submergir (adaptação do método descrito por PEZZATO et al., 1998). Este procedimento foi repetido 10 vezes para cada tratamento.

#### 3.2.5.2. Peso específico aparente (PEA)

O peso específico aparente é a relação entre a massa do produto (g) e seu volume aparente (ml), ou seja, o volume real do produto acrescido do volume de espaços vazios de um recipiente graduado. Grânulos de ração foram soltos em um funil, situado acima do recipiente graduado, com uma distância fixa de 15 cm entre a extremidade da haste do funil e a superfície superior do recipiente, para evitar diferentes arranjos entre as partículas. Os grânulos caem, enchem o recipiente e transbordam. Com a ajuda de uma espátula a superfície dos grânulos foi nivelada na borda livre do recipiente. O PEA foi calculado através da pesagem do conteúdo do recipiente de 125 ml. Repetiu-se este procedimento 10 vezes para cada tratamento.

#### 3.2.5.3. Índice de expansão radial (IER)

Foi determinado pela razão entre o diâmetro médio dos grânulos da ração extrusada e o diâmetro da matriz, medidos com um paquímetro digital (Mitutoyo), em 10 grânulos de ração separados aleatoriamente em cada experimento (VILELA & EL-DASH, 1987). Foram realizados 3 medidas em cada grânulo.

#### 3.2.5.4. Perda por lixiviação na água (PLA) e absorção de água (AA)

Este teste foi realizado em água destilada parada, com temperatura de 24°C e pH 6,7. Para cada tratamento foram pesados 10 grânulos com teor de umidade conhecido, e colocados em saco de nylon com malha de 1 mm de abertura, previamente tarado. Os sacos, fechados com grampos, foram novamente pesados e submersos individualmente nos aquários, por 10 minutos. Após este período, as amostras foram retiradas dos aquários, drenadas por 30 minutos, pesadas (peso A) e secas em estufa a 80°C até peso constante. Em seguida, as amostras foram resfriadas e novamente pesadas (peso B). A perda de matéria seca dos grânulos dá uma medida da lixiviação na água (EVANS, 1999). Os resultados foram expressos em porcentagem de sólidos (em base seca), perdidos por lixiviação, em relação ao peso de sólidos iniciais (peso inicial - peso B). Foram realizadas três repetições. A absorção de água foi calculada usando o peso do material hidratado e drenado do item anterior (peso A). A diferença entre o peso hidratado e o peso inicial dos grânulos foi considerada como água absorvida. Os dados foram expressos em gramas de água absorvida por grama de sólidos (base seca). Foram realizadas três repetições.

#### 3.2.5.5. Dureza (D)

O parâmetro de textura de maior interesse para rações aquáticas é a dureza ou força de ruptura (EVANS, 1999). A dureza, ou força máxima de compressão, para cada tratamento, foi determinada por um analisador de textura TA.XT2 com o software XTRAD. As amostras foram removidas da embalagem somente no momento do teste para evitar absorção de umidade. Um grânulo de ração (com 1cm de comprimento) foi colocado sobre a plataforma suporte do equipamento e comprimido com um cilindro de alumínio de 35mm de diâmetro. Os resultados foram expressos em gf (grama-força) e representam a média aritmética de 10 determinações de dureza para cada amostra. A opção usada foi "return to start", a velocidade de teste foi de 2,00 mm/s, distância de compressão de 50% do diâmetro da amostra, velocidade de pré-teste foi de 20 mm/s e pós-teste de 10 mm/s, e o cilindro foi calibrado a 10 mm de distância.

### 3.2.6. Análise dos resultados

Para a avaliar o efeito combinado das variáveis independentes ( $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ) sobre as respostas ( $y_i$ ) empregou-se a metodologia de superfície de resposta. A resposta pode ser escrita como sendo função de  $x$ ,  $y_i = f(x_1, x_2, x_3)$ .

As médias dos dados dos 11 ensaios de cada formulação foram tratadas por análise de regressão múltipla, para desenvolver modelos de primeira ordem, contendo termos lineares, com o emprego do SAS for Windows (THE SAS SYSTEM, 1992). Um exemplo da programação do SAS utilizada esta apresentada no ANEXO 2. A fórmula geral deste modelo é representada pela equação:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \varepsilon$$

onde:  $y_i$  = função resposta genérica ou variável dependente

$x_1, x_2, x_3$  = níveis codificados das variáveis independentes

$\beta_0$  = ponto central do sistema ou ponto estacionário

$\beta$ 's = coeficientes estimados pelo método dos mínimos quadrados

$\varepsilon$  = resíduo que mede o erro experimental, apresentando uma distribuição normal com média zero e variância igual a  $s^2$

A análise de variância (teste F) foi aplicada para testar a adequação dos modelos e observar a significância da regressão, a falta de ajuste em relação a 95% de confiança pelo teste F e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Após a modelagem, os termos não significativos foram retirados e realizado um novo ajuste, onde foram colocados os termos significativos em um nível de 5% de probabilidade. Para determinar o efeito das variáveis independentes sobre as respostas avaliadas, foram traçados gráficos com os programas STATISTICA (1995) e Microsoft EXCELL, fixando-se um dos fatores no ponto central, na maioria dos casos, o que teve menos influência na resposta.

### 3.3. EXPERIMENTO BIOLÓGICO 1

Experimento de alimentação de alevinos de piavuçu (*Leporinus macrocephalus*) foi realizado no período entre 14 de janeiro e 25 de março (10 semanas), na Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia – Fazenda Lageado, Setor de Pesquisa em Nutrição de Organismos Aquáticos, Unidade Integrada ao Centro de Aquicultura da UNESP, Campus de Botucatu.

Os alevinos de piavuçu, reproduzidos artificialmente, foram doados pela UNIMAR - Universidade de Marília, Marília-SP. Na semana anterior ao início do experimento, dez peixes foram distribuídos em cada aquário, com o objetivo de aclimação, sendo que no último dia desta cinco peixes maiores e os cinco menores foram removidos, reduzindo-se a densidade para 5 peixes/aquário. O peso inicial médio dos alevinos foi de  $5,06 \pm 0,04$ g e o comprimento inicial médio foi de  $7,3 \pm 0,1$ cm. Os peixes de cada aquário foram pesados coletivamente no início e individualmente no final do experimento. O ensaio alimentar consistiu de 5 tratamentos com quatro repetições cada, totalizando 20 aquários. Os peixes de cada tratamento receberam diferentes rações (Tabela 3.1). Estas rações foram extrusadas, com a combinação de variáveis mais apropriada, estabelecida no experimento de extrusão. As dietas foram fornecidas até a saciedade aparente dos peixes, 4 vezes ao dia, às 10:00, 12:00, 14:00 e 16:00 horas.

#### 3.3.1. Qualidade da água

Utilizou-se 20 aquários de fibra de vidro com dimensões de 50x50x50 cm com 80 L de água. Cada aquário foi equipado com um aquecedor e um aerador. Cada conjunto de três aquários (intercomunicantes) recebeu um filtro biológico e um sistema de alimentação e escoamento (baseado em vaso comunicação), para renovação contínua e constante de água (tratada com anti-cloro), com vazão aproximada de 0,8 L/min. Os aquários foram sifonados duas vezes ao dia para retirada de fezes e eventuais sobras de rações. Imediatamente após, o volume dos aquários foi completado. A temperatura da água foi aferida diariamente, às 10:00 e 16:00hs, com um termômetro digital portátil (Digimed). O nível de oxigênio dissolvido foi monitorado semanalmente, utilizando-se a técnica de WINKLER modificada pela adição de azida sódica,

conforme recomendado por BOYD (1984). O pH e o nível de amônia da água foram medidos semanalmente, respectivamente, com o potenciômetro (Digimed, modelo DM pH 1) e com o microprocessador medidor de amônia HI 9370 da Hanna Instruments.

### **3.3.2. Desempenho zootécnico e das rações**

As respostas analisadas foram o peso final, ganho de peso, incremento em comprimento. O consumo médio de ração (g/peixe) foi registrado, diariamente, para os peixes de cada tratamento. A partir desses dados foram calculados a conversão alimentar e a taxa de eficiência protéica. Também foi determinada a taxa de sobrevivência dos juvenis de piavuçu. Estes parâmetros foram calculados segundo as fórmulas apresentadas na Tabela 3.6.

### **3.3.3. Composição química da carcaça inteira, carcaça limpa, teor de gordura do fígado e peso da gordura visceral**

Após a pesagem e medição de comprimento, os piavuços foram abatidos. Procedeu-se à separação e pesagem das vísceras e da carcaça inteira (peso total menos as vísceras). Em seguida foi retirada a cabeça e nadadeiras, para pesagem; e finalmente a retirada da pele e pesagem da carcaça limpa (peso total menos as vísceras, cabeça, nadadeiras e pele). As carcaças inteiras e as carcaças limpas foram fracionadas em fatias de espessura média de 0,7 mm, as quais foram desidratadas em estufa a 52°C por 72 horas. Utilizando-se um moinho de bola foram preparadas as farinhas de peixe da carcaça inteira e da carcaça limpa. Estas passaram por uma peneira de abertura de 0,42 mm e foram utilizadas para a determinação da matéria seca, proteína bruta, extrato etéreo e cinzas, segundo as técnicas já citadas anteriormente, descritas pela A.O.A.C. (1990). O extrato etéreo do fígado também foi determinado, seguindo-se a mesma metodologia.

Tabela 3.6. Fórmulas para cálculo de ganho de peso (GP), ganho de peso % (GP%), incremento em comprimento (IC), conversão alimentar (CA), taxa de eficiência protéica (TEP) e taxa de sobrevivência (TS)

Ganho de peso (g)	$GP = P_f - P_i$	$P_i$ =peso inicial (g) $P_f$ =peso final (g)
Ganho de peso (%)	$GP(\%) = \frac{P_f - P_i}{P_i} \times 100$	$P_i$ =peso inicial (g) $P_f$ =peso final (g)
Incremento em compr. (cm)	$IC(\%) = C_f - C_i$	$C_i$ =comprimento inicial (cm) $C_f$ =comprimento final (cm)
Conversão alimentar	$CA = \frac{P_r}{GP}$	$P_r$ =peso da ração (base seca) GP=ganho de peso
Taxa sobrevivência (%)	$TS(\%) = \frac{Pop_f}{Pop_i} \times 100$	$Pop_i$ = população inicial $Pop_f$ = população final
Taxa de eficiência protéica <sup>1</sup>	$TEP = \frac{GP}{PC}$	GP = ganho de peso (g) PC = proteína consumida (g)

<sup>1</sup>(Jauncey & Ross, 1982)

### 3.3.4. Composição em ácidos graxos da carcaça inteira

A composição em ácidos graxos dos lipídios extraídos das rações e carcaças inteiras de piavuçu, antes e depois de cada tratamento, foram determinadas no Laboratório de Óleos e Gorduras da FEA da UNICAMP, por cromatografia gasosa capilar, utilizando-se o método da AOCS Ce 1f96 (1996).

Os lipídios das carcaças de piavuçu foram extraídos pelo método BLIGH & DYER (1959). A preparação dos ésteres metílicos dos ácidos graxos foi realizada segundo o método dos ésteres metílicos reduzidos (MAIA, 1992).

Foi utilizado um cromatógrafo gasoso capilar PERKIN-ELMER 8420 acoplado com um software integrador PEAKSIMPLE for Windows 3.1., coluna de sílica fundida capilar Supelco SP 2340 com 60mx0,25mm e espessura do filme de 0,20 $\mu$ m. As temperaturas na coluna, foram 192 °C por 20 minutos, elevação de 1°C/min até atingir 210°C, permanecendo neste nível por mais 22 min, enquanto que do detector e injetor foram de 245°C. A razão do "split" foi de 1:25. A programação do relay foi 0,01 ON, 6,5 OFF, 7,0 ON, 10,0 OFF. O tamanho da amostra foi de 1 $\mu$ L. O fluxo da coluna foi de 0,38 mL/min, com velocidade linear do hélio de 13,0 cm/s.

A identificação dos ácidos graxos foi realizada por comparação dos tempos de retenção com padrões e dados da literatura. Enquanto que a quantificação foi determinada pela integração das áreas dos picos pelo programa PEAKSIMPLE.

### **3.3.5. Análise dos resultados**

As respostas de desempenho zootécnico dos juvenis de piavuçu alimentados com as diferentes rações e da composição das suas carcaças foram avaliadas através da análise de variância SAS-ANOVA (ANEXO 3) e determinada a significância pelo emprego do teste F ( $p < 0,05$ ). Para estudo comparativo das médias, foi feito o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (THE SAS SYSTEM, 1992). Para a melhor visualização dos resultados foram feitos gráficos das médias das respostas avaliadas, utilizando-se o software Microsoft EXCELL.

## **3.4. EXPERIMENTO BIOLÓGICO 2**

### **3.4.1. Digestibilidade das rações**

Os coeficientes de digestibilidade das diferentes dietas experimentais foram determinados no Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da UNESP, Campus de Botucatu. As dietas dos 5 tratamentos foram confeccionadas de

modo a conterem 0,5% do marcador inerte óxido de crômio, de acordo com a metodologia descrita por AUSTRENG (1978).

Utilizou-se um sistema de alimentação e coleta de excretas, composto de 5 aquários de alimentação, com capacidade de 250 L cada, e 5 aquários para coleta de excretas, com capacidade para 100 L cada (adaptado de CHO & SLINGER, 1978), dotados de sistema contínuo de renovação de água com 0,6 L/min.

Os aquários para coleta de excretas têm forma cilíndrica, fundo cônico e um sistema de coluna d'água que possibilita a concentração das excretas em um tubo de ensaio instalado na sua porção inferior. Um fluxo de água contínuo de 1,8 L/min mantém os níveis adequados de amônia e oxigênio dissolvido durante o período de coleta.

Foram realizados 2 experimentos de digestibilidade, um com piavuçu (*Leporinus macrocephalus*) e outro com tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Grupos de 12 piavuçus, com peso médio ao redor de 60g cada, ou 12 tilápias, com peso médio aproximado de 300g cada, foram distribuídos em cada aquário de alimentação, onde foram mantidos por um período de 10 dias, para adaptação ao sistema de manejo experimental.

A ração foi oferecida *ad libitum* aos grupos, durante 72 horas, antes destes serem transferidos, pela primeira vez, dos aquários de alimentação para o aquário de coleta, onde permaneceram por 12 horas. O material colhido foi identificado e estocado em freezer para posterior análise. Os grupos, então, foram alimentados durante todo o dia, passando a noite nos aquários de coleta. Este procedimento foi repetido até por quatro dias, totalizando 5 amostras de excretas (repetições), por tratamento.

As rações e as excretas dos diferentes tratamentos foram submetidas a análises químicas no Laboratório de Bromatologia do Departamento de Melhoramento Genético e Nutrição Animal da FMVZ - UNESP, para determinação da matéria seca, proteína bruta (método microkjeldahl), extrato etéreo (método microsoxhlet) segundo a AOAC (1990) e óxido de crômio através do método de digestão com ácido nítrico e perclórico, com posterior leitura em espectrofotômetro de absorção atômica (FURUKAWA & TSUKAHARA, 1966).

O coeficiente de digestibilidade aparente foi calculado conforme NOSE (1966), com base na seguinte fórmula:

$$\text{Digestibilidade aparente do nutriente} = \frac{100 - 100 (\% \text{ indicador na dieta} \times \% \text{ nutrientes nas fezes})}{(\% \text{ indicador nas fezes} \times \% \text{ nutrientes da dieta})}$$

### 3.4.2. Análise dos resultados

As respostas dos coeficientes digestibilidade da proteína para piavuçu e da matéria seca, proteína e lipídios para tilápia do Nilo obtidas foram avaliadas através da análise de variância SAS-ANOVA (um exemplo da programação utilizada esta presente no ANEXO 3) e determinada a significância pelo emprego do teste F ( $p < 0,05$ ). Para estudo comparativo das médias foi feito o teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade (THE SAS SYSTEM, 1992).

## 3.5. ÍNDICE DE PERÓXIDOS DAS RAÇÕES EXTRUSADAS EXPERIMENTAIS

Os índices de peróxidos das rações extrusadas experimentais, armazenadas à temperatura ambiente (ao redor de 25 °C) e sob refrigeração (ao redor de 5°C), foram determinados de acordo com o método número Cd 8-53 da AOCS (1990), que determina todas as substâncias em termos de milimoles de peróxidos por quilo de óleo ou gordura que oxidam o iodeto de potássio sob condições de teste. A extração do óleo das rações foi realizada a frio, com o emprego de éter de petróleo, proporção de 3:1 (éter:amostra), por 90 minutos e sob agitação constante. O material extraído foi centrifugado por 15 minutos a 2.000 x g, os traços de água foram retirados pela adição de sulfato de sódio anidro e então filtrado. O éter de petróleo foi separado do óleo com um rotovapor a 35-40 °C, sob vácuo, sendo os peróxidos quantificados por titulação com tiosulfato de sódio 0,005 N.

## IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. ANÁLISE BROMATOLÓGICA DOS MACROINGREDIENTES DAS RAÇÕES

Os valores médios obtidos pela análise bromatológica do farelo de soja, soja e milho em grãos utilizados na formulação das rações extrusadas estão apresentados na Tabela. 4.1.

Tabela 4.1. Valores médios de umidade (U%), extrato etéreo (EE%), proteína bruta(PB%), fibra bruta (FB%) e matéria mineral (MM%) da soja, farelo de soja e milho utilizados na formulação das rações experimentais.

Ingredientes	U%	PB%	EE%	FB%	MM%
Soja	10,70	41,16	20,67	4,36	4,67
Farelo de Soja	8,93	47,41	1,58	7,27	4,77
Milho	11,26	10,16	4,70	1,74	1,34

Os valores de PB%, EE% e FB% utilizados no programa para a formulação das rações foram: para soja, 37,8% de PB, 16,0% de EE e 7,1% de FB; para o farelo de soja, 48,5% de PB, 3,8% de EE e 8,5% de FB, e para o milho, 8,5% de PB e 2,8% de EE e 2,1% de FB (EMBRAPA, 1992). A tabela da EMBRAPA foi utilizada, por possuir a composição de aminoácidos de cada ingrediente, e por representar uma média nacional.

Os valores médios obtidos na análise química dos macroingredientes (Tabela 4.1) variaram pouco em relação àqueles utilizados como dados de entrada no programa para a formulação das rações experimentais, não comprometendo os teores de nutrientes mínimos (principalmente o teor de proteína) exigidos nas rações de crescimento para tilápia, segundo a recomendação do NRC (1993).

## 4.2. ANÁLISE QUÍMICA DAS RAÇÕES EXPERIMENTAIS

Os níveis médios de umidade, proteína bruta, extrato etéreo, cinzas, fibra bruta, Ca e P determinados nas análises químico-bromatológicas das rações extrusadas experimentais utilizados na alimentação dos juvenis de piavuçu estão apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Composição centesimal média das rações experimentais extrusadas com diferentes níveis de substituição do farelo de soja (FS) pela soja integral (SI) na composição

Nível de subst. do FS pela SI (%)	U%	PB%	EE%	MM%	FB%	Ca%	P%
0*	10,33	27,91	1,93	6,13	2,48	0,83	0,87
30	15,42	28,76	5,13	5,96	2,73	0,81	0,86
48	11,93	29,54	7,24	6,14	2,55	0,84	0,90
74	8,91	28,40	8,57	6,06	2,73	0,84	0,88
100	13,07	29,23	10,20	6,29	2,72	0,86	0,89

\*Ração Controle

Os valores médios obtidos pelas análises das rações experimentais extrusadas se aproximaram muito dos valores definidos na formulação das rações (Tabela3.1).

### 4.3. TRIAGEM DAS VARIÁVEIS

A triagem das variáveis foi realizada em função da capacidade de flutuação, pois essa é uma característica determinante da qualidade da ração. Os resultados médios da capacidade de flutuação do experimento de triagem de variáveis estão apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3. Resultados médios da **Capacidade de Flutuação (h)** obtidos nos oito tratamentos do experimento de triagem de variáveis

TRATAMENTO	1	2	3	4	5	6	7	8
CAPACIDADE								
FLUTUAÇÃO (h)	24	37	0	33	33	27	48	0

Os efeitos da temperatura de extrusão, umidade, diâmetro da matriz, velocidade de alimentação, teor de gordura, velocidade de rotação da rosca e temperatura de secagem sobre a capacidade de flutuação, para a triagem das variáveis, estão apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4. Efeito da temperatura de extrusão, umidade, diâmetro da matriz, velocidade de alimentação, teor de gordura, velocidade de rotação da rosca e temperatura de secagem, sobre a capacidade de flutuação das rações extrusadas

VARIÁVEL	CÁLCULO DOS EFEITOS	EFEITO
1. TEMPERATURA DE EXTRUSÃO	$-24+37-0+33-33+27-48+0$	-8
2. UMIDADE	$-24-37+0+33-33-27+48+0$	40
3. DIÂMETRO DA MATRIZ	$-24-37-0-33+33+27+48+0$	14
4. VELOCIDADE ALIMENTAÇÃO	$+24-37-0+33+33-27-48+0$	-22
5. TEOR DE GORDURA	$+24-37+0-33-33+27-48+0$	-100
6. VELOCIDADE ROTAÇÃO ROSCA	$+24+37-0-33-33-27+48+0$	16
7. TEMPERATURA DE SECAGEM	$-24+37+0-33+33-27-48+0$	-62

Baseado nos efeitos destas variáveis sobre a capacidade de flutuação das rações (Tabela 4.3.), foi estabelecido a ordem de importância de cada variável: 1° - teor de gordura; 2° - temperatura de secagem; 3° - umidade; 4° - velocidade de alimentação; 5° - velocidade de rotação da rosca; 6° - diâmetro da matriz e 7° - temperatura de extrusão.

Foram selecionadas para a segunda etapa experimental as variáveis umidade, velocidade de alimentação e temperatura de extrusão.

A variável teor de gordura (1°) poderia ter sido incluída, mas optou-se em fazer uma modelagem para cada nível de gordura ou nível de substituição do farelo de soja pela soja integral. Isto porque, além da variação do teor de gordura, em cada nível de substituição varia também o teor de amido, que é fundamental para as características físicas da ração, principalmente expansão, peso específico aparente e capacidade de flutuação das rações. Assim, para não confundir o efeito do teor de gordura com o efeito do teor de amido, foram realizados cinco experimentos, um para cada nível de substituição do farelo de soja pela soja integral, ao invés de incluir a variável teor de gordura no modelo.

A temperatura de secagem (2°), foi excluída da modelagem em função de ser uma operação posterior ao processo de extrusão. Portanto, optou-se por escolher a melhor temperatura de secagem, através de testes preliminares, e encontrou-se uma temperatura ideal ao redor de 60°C.

A umidade (3°) foi escolhida para a etapa de modelagem porque também a literatura atesta sua importância na gelatinização do amido durante a extrusão, além de sua influência sobre a expansão e volume específico dos extrusados (PARK, 1976; SEILER et al., 1980; FAUBION & HOSENEY, 1982; ANTILA et al., 1983; HAYTER et al., 1987; GUY & HORNE, 1988; BADRIE & MELLOWES (1991).

A variável diâmetro da matriz (6°) foi excluída da modelagem em função da necessidade da obtenção de rações com dimensões reduzidas para a alimentação de peixes juvenis (tamanho da boca), portanto utilizou-se uma matriz com a menor dimensão dos orifícios possível. Foi utilizada uma matriz com 2 pares de orifícios com 1,4 mm de diâmetro cada.

A temperatura de extrusão (7°) apesar de ter sido a última colocada no ensaio de triagem das variáveis, foi escolhida, ao invés da velocidade de rotação da rosca (5°), em função da sua importância na gelatinização do amido, que tem forte influência na viscosidade da massa fundida

(LINKO et al., 1981) o que influencia as propriedades de expansão e densidade dos extrusados (GOMES & AGUILERA, 1984; PATON & SPRATT, 1984; ALVAREZ-MARTINEZ et al., 1988; BADRIE & MELLOWES, 1991), afetando sua capacidade de flutuação.

Baseado nessas observações, as variáveis selecionadas para o estudo das propriedades físicas das rações foram: umidade, velocidade de alimentação e temperatura de extrusão.

#### **4.4. PROPRIEDADES FÍSICAS DAS RAÇÕES**

As propriedades físicas das rações extrusadas com diferentes níveis de substituição de farelo do soja (FS) pela soja integral (SI) foram caracterizadas pelo tempo máximo médio de flutuação dos péletes na superfície da água (capacidade de flutuação), estrutura macroscópica expandida (índice de expansão radial), peso específico aparente, absorção de água, perda de peso na água (perda por lixiviação na água) e textura dos grânulos (dureza) em função da combinação das variáveis temperatura de extrusão, velocidade de alimentação do extrusor e umidade da mistura.

##### **4.4.1. Capacidade de flutuação**

A propriedade de flutuação do pélete extrusado é responsável pela eficiência da ração, pois, reduz a possibilidade de fornecimento excessivo de ração, facilitando um manejo mais racional da alimentação dos peixes. Esta propriedade da ração extrusada é causada pela prisão de ar dentro dos grânulos, que reduz sua densidade específica (STICKNEY, 1979). Portanto, a capacidade de flutuação das rações esta diretamente relacionada às propriedades de expansão e de peso específico aparente.

As médias dos resultados experimentais de capacidade de flutuação (CF) das rações extrusadas com diferentes níveis de substituição do FS pela SI na composição estão apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5. Médias dos resultados experimentais da **Capacidade de Flutuação (h)** das rações extrusadas com diferentes níveis de substituição do farelo de soja pela soja integral

ENSAIO	VARIÁVEL*			CAPACIDADE DE FLUTUAÇÃO (h)				
	independente			Nível de substituição do farelo de soja pela soja integral na ração (%)				
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	0	30	48	74	100
1	-1	-1	-1	36,0	37,5	25,0	22,5	10,0
2	-1	-1	1	31,0	32,5	15,0	1,5	0,0
3	-1	1	-1	34,0	34,5	20,0	24,5	12,0
4	-1	1	1	30,0	33,0	6,0	0,0	0,0
5	1	-1	-1	41,0	32,5	30,0	24,5	5,0
6	1	-1	1	37,0	31,5	26,0	5,5	0,0
7	1	1	-1	45,0	31,5	29,0	23,5	2,0
8	1	1	1	37,0	30,5	20,0	6,5	1,0
9	0	0	0	38,0	33,5	25,0	22,5	4,0
10	0	0	0	38,0	33,5	25,0	22,5	4,0
11	0	0	0	39,0	33,5	25,0	22,5	4,0

\* valores codificados (ver Tab. 3.5. para observar os valores reais)

A Tabela 4.6. apresenta os modelos de regressão ajustados para a CF das rações com diferentes níveis de substituição do FS pela SI, as probabilidades dos modelos serem estatisticamente significativos, os coeficientes de determinação, os coeficientes de variação e as probabilidades de falta de ajuste dos modelos. Apenas as variáveis independentes estatisticamente significativas ao nível de 5% de probabilidade foram mantidas nos modelos ajustados.

As rações com 0% de substituição do FS pela SI (controle) apresentaram um modelo simplificado ajustado para CF significativo ao nível de 0,02% ( $p=0,0002^{**}$ ). As variáveis que afetaram significativamente a CF foram a temperatura de extrusão e a umidade da mistura. O modelo explica 88,58% da variação da CF, possui um coeficiente de variação de 4,35%, e não apresentou falta de ajuste ( $0,09^{ns}$ ), podendo ser usado para fins preditivos.

A partir do modelo ajustado para CF das rações controle foram elaborados gráficos de superfície de resposta, tri e bidimensionais, que podem ser observados nas Figura 4.1.

Tabela 4.6. Modelos de regressão ajustados, significância do modelo (p), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), coeficiente de variação (CV) e probabilidade do modelo apresentar falta de ajuste (FA) para **Capacidade de Flutuação** das rações extrusadas com diferentes níveis de substituição do farelo de soja pela soja integral

Nível de Substituição do FS pela SI	Modelo ajustado	p	$R^2$	CV	FA
0	$y=36,909 + 3,625x_1 - 2,625x_3$	0,0002	0,8858	4,3539	0,09 <sup>ns</sup>
30	$y=33,091 - 1,437x_1 - 1,062x_3$	0,0044	0,7429	3,1779	0,00**
48	$y=22,364 + 4,875x_1 - 2,625x_2 - 4,625x_3$	0,0016	0,8737	13,1099	0,00**
74	$y = 16,000 - 10,187x_3$	0,0002	0,8010	29,9173	0,00**
100	$y = 3,818 - 1,750x_3$	0,0047	0,6063	69,6426	0,00**

$x_1$  = temperatura de extrusão ( $^{\circ}$ C);  $x_2$  = velocidade de alimentação (kg/h);  $x_3$  = umidade (%)

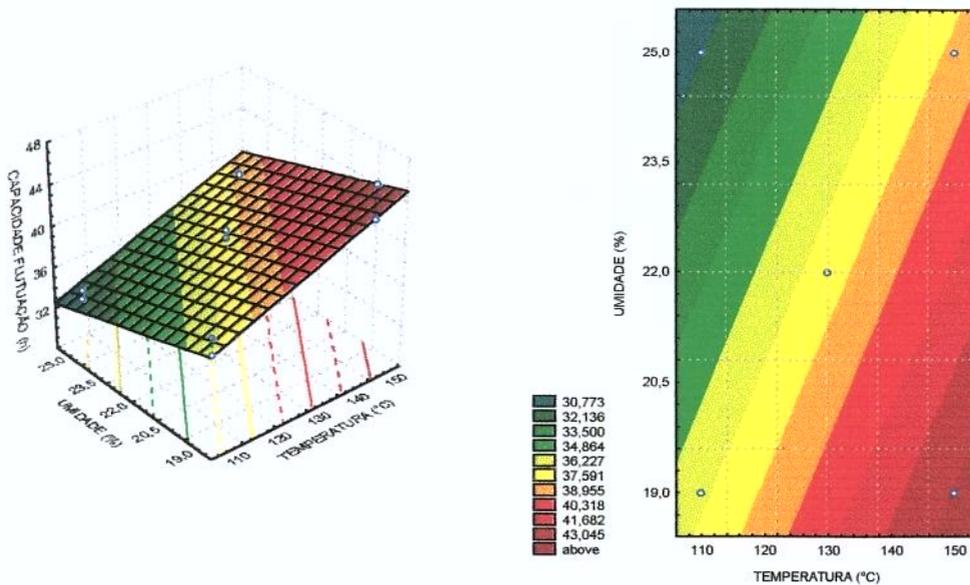


Figura 4.1. Efeito da temperatura de extrusão ( $^{\circ}$ C) e da umidade (%) sobre a **Capacidade de Flutuação (h)** das rações controle (100% de farelo de soja e 0% de soja integral)

Pela análise dos gráficos observa-se que com o aumento da umidade, mantendo a temperatura fixa, ocorre uma diminuição da CF e, mantendo a umidade fixa, mas aumentando a temperatura, ocorre um aumento da CF, que variou entre 30,8 e mais de 43,0 horas.

As rações com 30% de substituição apresentaram um modelo simplificado ajustado para CF significativo ao nível de 0,44% ( $p=0,0044^{**}$ ). As variáveis que afetaram a CF foram a temperatura de extrusão e a umidade da mistura. O modelo explica 74,29% da variação da CF, possui um coeficiente de variação de 3,18%. A falta de ajuste é significativa, mas devido ao erro experimental ser muito pequeno, próximo a zero, a significância da falta de ajuste pode ser desconsiderada (BOX & DRAPPER, 1987). Portanto, o modelo pode ser usado para fins preditivos, pois o CV é baixo ( $<10\%$ ) e o  $R^2$  é aceitável ( $>70\%$ ).

A partir do modelo ajustado para CF das rações com 30% de substituição do FS pela SI foram elaborados gráficos de superfície de resposta tri e bidimensionais, que podem ser observados na Figura 4.2.

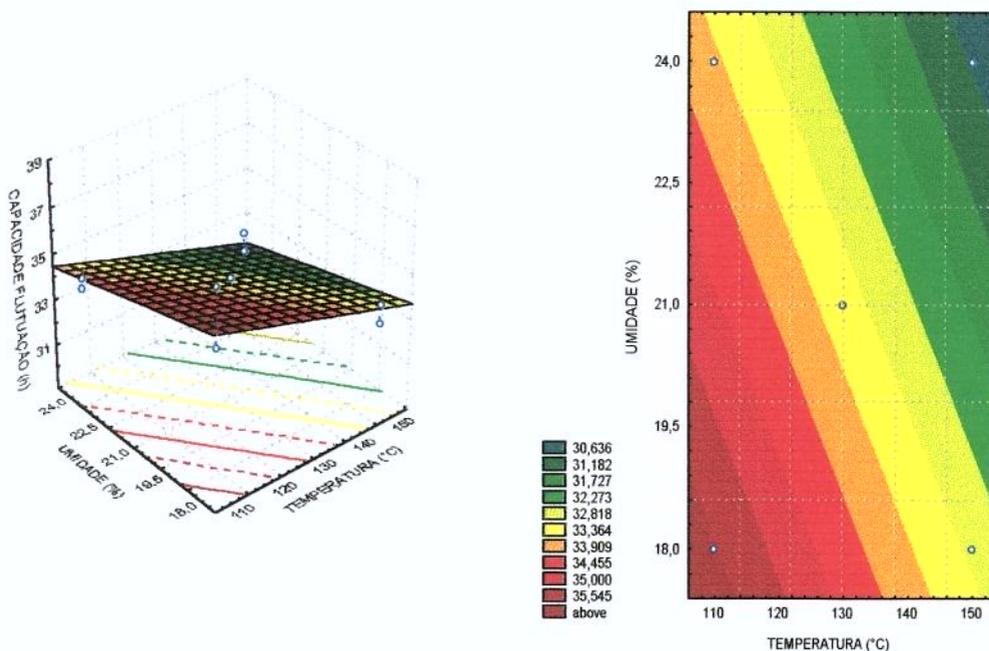


Figura 4.2. Efeito da temperatura de extrusão ( $^{\circ}\text{C}$ ) e da umidade (%) sobre a **Capacidade de Flutuação (h)** das rações com 30% de substituição do farelo de soja pela soja integral

Ocorreu uma diminuição da CF com o aumento da umidade mantendo-se a temperatura fixa. A CF variou entre 30,6 e mais de 35,5 horas, indicando que houve uma redução na CF das rações extrusadas com 30% de substituição do FS pela SI em relação a CF das rações controle.

As rações extrusadas com 48% de substituição do FS pela SI apresentaram um modelo completo ajustado para CF significativo ao nível de 0,16% ( $p=0,0016^{**}$ ). Todas as variáveis foram significativas para a CF. O modelo explica 87,37% da variação da CF, possui um coeficiente de variação de 13,11%. A falta de ajuste é significativa, mas devido ao erro experimental ser muito pequeno, próximo a zero, a significância da falta de ajuste pode ser desconsiderada (BOX & DRAPPER, 1987). Portanto, pode ser usado para fins preditivos, apesar do alto mas aceitável CV ( $> 10\%$ ;  $< 20\%$ ). A partir do modelo ajustado para CF das rações com 48% de substituição do FS pela SI foram elaborados três gráficos de superfície de resposta bidimensionais, com a velocidade de alimentação fixada em 12, 15 e 18 Kg/h (Figura 4.3.).

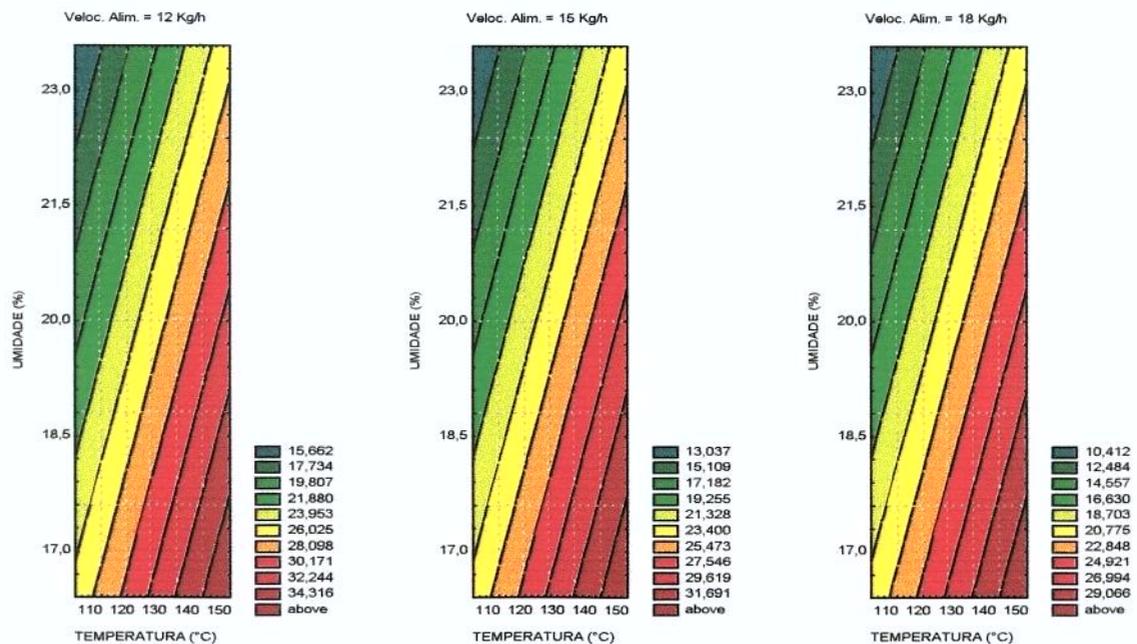


Figura 4.3. Efeito da temperatura de extrusão (°C) e da umidade da mistura (%) sobre a **Capacidade de Flutuação (h)** das rações com 48% de substituição do farelo de soja pela soja integral. Com a velocidade de alimentação fixada em 12 kg/h, 15 kg/h e 18 kg/h

Observa-se que a CF aumentou com o aumento da temperatura e diminuiu com o aumento da umidade. A velocidade de alimentação foi inversamente proporcional à CF, portanto, com a diminuição da velocidade de alimentação ocorreu um aumento da CF. A CF variou entre 15,7 e 34,3 h com a velocidade de alimentação fixada em 12 kg/h, entre 13,0 e 31,7 h com a velocidade de alimentação fixada em 15 kg/h e entre 10,4 e 29,1 h com a velocidade de alimentação fixada em 18 kg/h, indicando que houve uma redução da CF com o aumento de SI na ração.

As rações com 74% de substituição do FS pela SI apresentaram um modelo simplificado ajustado para CF significativo ao nível de 0,02% ( $p=0,0002^{**}$ ). Somente a umidade foi significativa para a CF. O modelo explica 80,10% da variação da CF, possui um coeficiente de variação de 29,92%. A falta de ajuste é significativa, mas devido ao erro experimental ser muito pequeno, próximo a zero, a significância da falta de ajuste pode ser desconsiderada (BOX & DRAPPER, 1987). Portanto, este modelo não pode ser usado para fins preditivos, pois apresenta um alto e não aceitável CV ( $> 20\%$ ), servindo somente para verificar a tendência da resposta. A partir do modelo ajustado para capacidade de flutuação da ração com 74% de substituição de FS por SI foi elaborado um gráfico bidimensional, que podem ser observado na Figura 4.4.

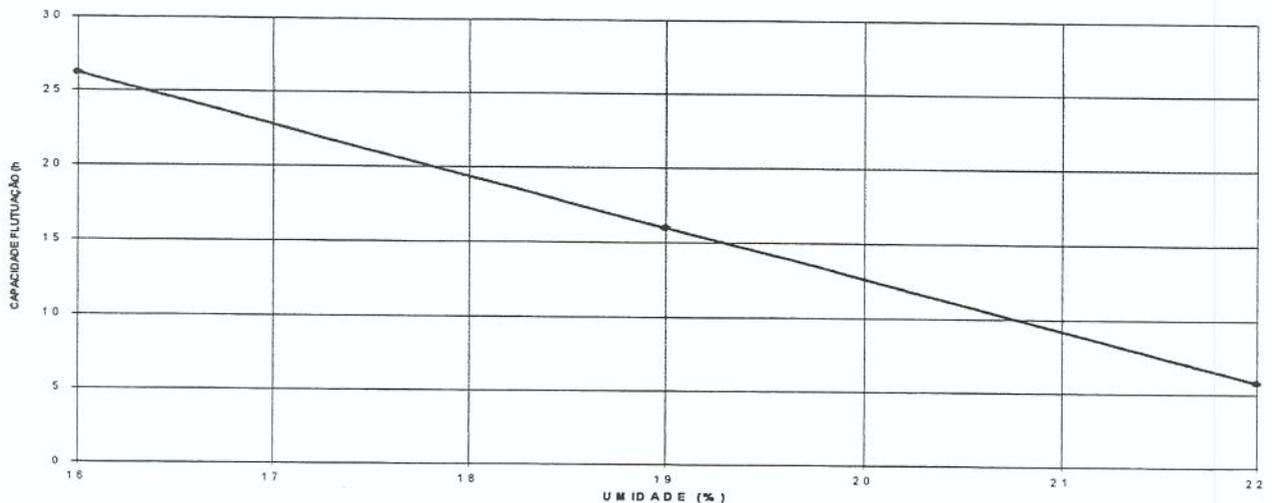


Figura 4.4. Efeito da umidade da mistura (%) sobre a **Capacidade de Flutuação (h)** das rações com 74% de substituição do farelo de soja pela soja integral

Pela análise do gráfico observa-se que com o aumento da umidade ocorre uma diminuição da CF, que variou entre 5,8 e 26,2 horas, indicando que houve também uma redução da CF em relação às rações controle, com 30% e 48% de substituição, ou seja com o aumento da SI na composição da ração.

As rações com 100% de substituição do FS pela SI apresentaram um modelo simplificado ajustado para CF significativo ao nível de 0,47% ( $p=0,0047^{**}$ ). Somente a variável umidade foi significativa para a CF. O modelo explica 60,63% da variação da CF, possui um coeficiente de variação de 69,64%. A falta de ajuste é significativa, mas devido ao erro experimental ser muito pequeno, próximo a zero, a significância da falta de ajuste pode ser desconsiderada (BOX & DRAPPER, 1987). Assim, o modelo não pode ser usado para fins preditivos, pois apresenta um coeficiente de variação extremamente alto e inaceitável ( $> 20\%$ ), servindo somente para verificar a tendência das respostas. A partir do modelo ajustado para CF das rações com 100% de substituição do FS pela SI foi elaborado um gráfico de linha (Figura 4.5.).

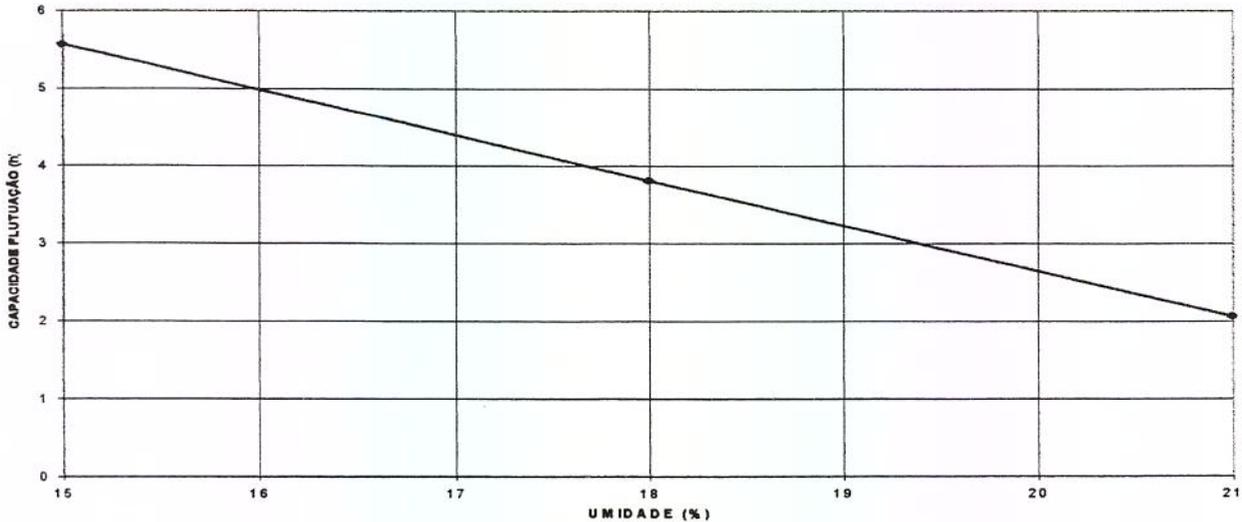


Figura 4.5. Efeito da umidade da mistura (%) sobre a **Capacidade de Flutuação (h)** das rações com 100% de substituição do farelo de soja pela soja integral

Pela análise do gráfico, observa-se que com o aumento da umidade ocorre uma diminuição da CF, que variou entre 2,1 e 5,6 horas. Estes valores são baixos, houve uma redução da CF em relação a todos os demais níveis de substituição. Portanto, a CF diminuiu com o aumento da SI na composição da ração. Isto, provavelmente, ocorreu devido à diminuição do teor de amido e aumento do extrato etereo nas formulações.

A principal contribuição do amido para as propriedades físicas da ração é sua ação ligante ou coesiva no produto final. Um mínimo de 10% de amido em rações aquáticas que afundam e 20% de amido em rações aquáticas que flutuam são recomendados. Embora existam outros fatores que contribuem para a flutuabilidade das rações aquáticas, o nível de amido é crítico. Portanto, os níveis de amido no produto final são ditados pelos requerimentos nutricionais das espécies e pela densidade aparente desejada no produto final (WENGER, 1998).

Não foi encontrado na literatura textos relacionando as variáveis de extrusão com a capacidade de flutuação, porém existem dados sobre a densidade ou volume específico e taxa de expansão de extrusados (propriedades importantes para a capacidade de flutuação) relacionados com as variáveis de extrusão, que serão discutidos a seguir.

#### **4.4.2. Peso específico aparente**

O peso específico aparente é um parâmetro utilizado para o cálculo de volume da embalagem, transporte e armazenamento da ração. A densidade aparente ou peso específico aparente é expressa em  $\text{g/cm}^3$ ,  $\text{g/ml}$  ou  $\text{g/l}$ , e é inversamente proporcional ao volume específico que é expresso em  $\text{cm}^3/\text{g}$ . No entanto, ambos medem a mesma propriedade.

As médias dos resultados experimentais de peso específico aparente (PEA) das rações extrusadas, com diferentes níveis de substituição do FS pela SI na composição, estão apresentados na Tabela 4.7.

A Tabela 4.8. apresenta os modelos de regressão ajustados, as probabilidades destes serem estatisticamente significativos, os coeficientes de determinação, os coeficientes de variação e as probabilidades de falta de ajuste dos modelos.

Tabela 4.7. Médias dos resultados experimentais de **Peso Específico Aparente (g/l)** das rações com diferentes níveis de substituição do farelo de soja pela soja integral

ENSAIO	VARIÁVEL independente			PESO ESPECÍFICO APARENTE (g/l)				
				Nível de substituição do farelo de soja pela soja integral na ração (%)				
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	0	30	48	74	100
1	-1	-1	-1	129,28	168,72	200,56	218,16	355,20
2	-1	-1	1	213,76	226,96	273,76	350,16	419,52
3	-1	1	-1	129,12	197,68	171,28	300,56	260,00
4	-1	1	1	236,00	276,48	335,76	369,92	365,92
5	1	-1	-1	85,60	120,96	140,48	218,32	284,24
6	1	-1	1	165,04	185,52	221,28	324,00	317,52
7	1	1	-1	83,2	207,68	136,32	204,16	217,44
8	1	1	1	135,52	207,76	235,52	259,04	356,48
9	0	0	0	152,56	187,92	242,56	275,36	348,24
10	0	0	0	148,72	182,00	235,52	276,00	347,20
11	0	0	0	151,92	179,12	231,28	286,48	337,53

\* valores codificados (ver Tabela 3.5 para observar os valores reais)

Tabela 4.8. Modelos de regressão ajustados, significâncias dos modelo (p), coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>), coeficiente de variação CV(%) e probabilidade do modelo apresentar falta de ajuste (FA) para **Peso Específico Aparente** das rações com diferentes níveis de substituição do farelo de soja pela soja integral

Nível de Subst. do FS pela SI	Modelo ajustado	p	R <sup>2</sup>	CV	FA
0	$y=148,240-29,860x_1-40,400x_3$	0,0001	0,9452	8,1592	0,0215
30	$y=194,618-18,490x_1+23,430x_2+25,210x_3$	0,0044	0,8294	9,7341	0,0396
48	$y=220,393-30,970x_1+52,210x_3$	0,0002	0,8804	10,1528	0,0478
74	$y=280,1964-29,160x_1+45,240x_3$	0,0019	0,7919	9,8468	0,0379
100	$y=328,1173-28,120x_1+42,820x_3$	0,0112	0,6749	10,8352	0,0206

x<sub>1</sub> = temperatura de extrusão (°C); x<sub>2</sub> = velocidade de alimentação (kg/h); x<sub>3</sub> = umidade (%)

As rações com 0% de substituição do FS pela SI apresentaram um modelo simplificado ajustado para PEA significativo ao nível de 0,01% ( $p=0,0001^{**}$ ). As variáveis que afetaram significativamente o PEA foram a temperatura de extrusão e a umidade da mistura. O modelo explica 94,52% da variação do PEA, possui um CV de 8,16%, e apresentou falta de ajuste significativa (0,0215\*). Portanto, apesar do modelo apresentar um CV baixo ( $<10\%$ ) e  $R^2$  alto ( $>80\%$ ) não pode ser utilizado para fins preditivos, mas somente para verificar a tendência da resposta, devido à falta de ajuste.

A partir do modelo ajustado para o PEA das rações controle foram elaborados gráficos de superfície de resposta, tri e bidimensionais (Figura 4.6).

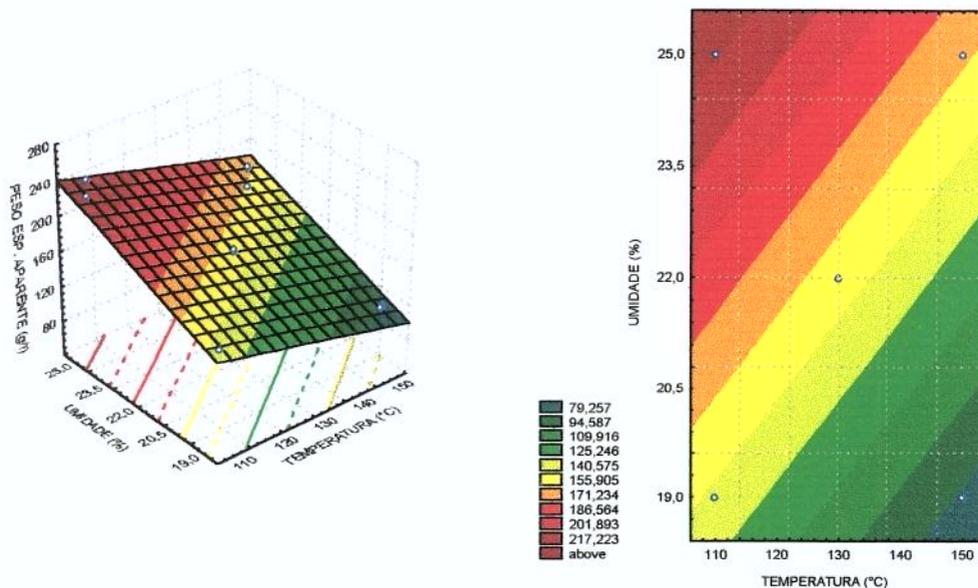


Figura 4.6. Efeito da temperatura de extrusão ( $^{\circ}\text{C}$ ) e da umidade da mistura (%) sobre o **Peso Específico Aparente (g/l)** das rações com 0% de substituição do farelo de soja pela soja integral

Pela análise dos gráficos observa-se que com a diminuição da temperatura de extrusão e aumento da umidade da mistura ocorre um aumento do PEA, que variou entre 79,3 g/l e 217,2 g/l.

As rações com 30% de substituição do FS pela SI apresentaram um modelo completo para PEA significativo ao nível de 0,16% ( $p=0,0016^{**}$ ). Todas as variáveis foram significativas para o

PEA. O modelo explica 82,94% da variação do PEA, possui um CV de 9,73%, e apresenta falta de ajuste significativa (0,0396\*). Portanto, apesar do modelo apresentar um CV baixo (<10%) e  $R^2$  alto (>80%) não pode ser usado para fins preditivos, mas somente para verificar a tendência da resposta, devido à existência da falta de ajuste.

A partir do modelo ajustado para PEA das rações com 30% de substituição do FS pela SI foram elaborados três gráficos de superfície de resposta bidimensionais com a velocidade de alimentação fixada em 13, 16 e 19 kg/h (Figura 4.7.).

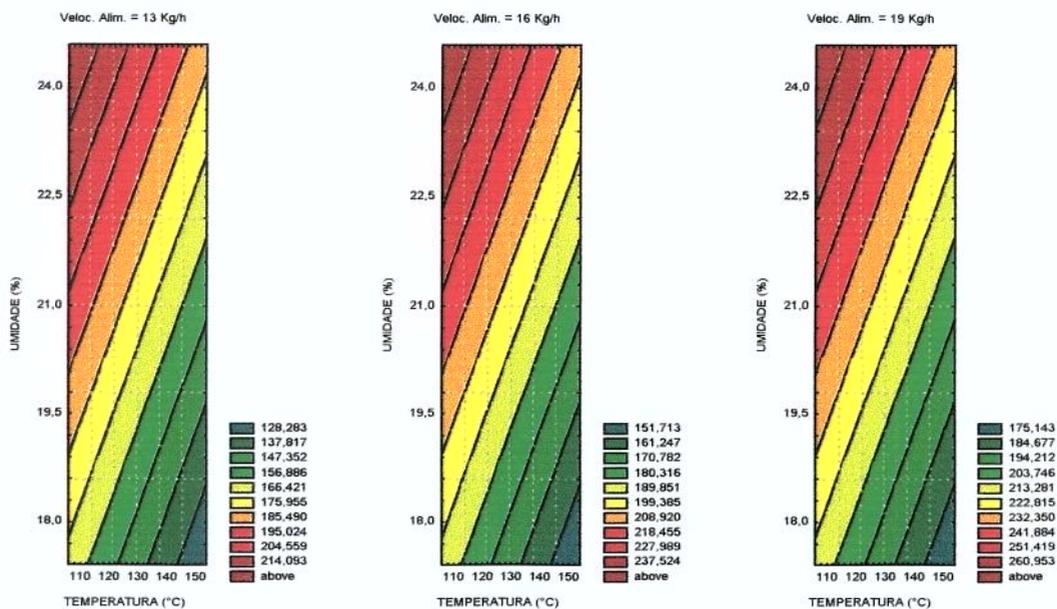


Figura 4.7. Efeito da temperatura de extrusão (°C) e da umidade da mistura (%) sobre o **Peso Específico Aparente (g/l)** das rações com 30% de substituição do farelo de soja pela soja integral. Com a velocidade de alimentação fixada em 13 kg/h, 16 kg/h e 19 kg/h.

Pela análise dos gráficos observa-se que o PEA aumentou com o aumento da velocidade de alimentação e umidade e, diminuiu com o aumento da temperatura de extrusão. Os PEA variaram entre 128,3 e acima de 214,1 g/l para velocidade de alimentação fixada em 13 kg/h,

entre 151,7 e acima de 237,5 g/l para velocidade de alimentação fixada em 16 kg/h, e entre 175,1 e acima de 261,0 g/l para velocidade de alimentação fixada em 19 kg/h.

As rações com 48% de substituição do FS pela SI apresentaram um modelo simplificado ajustado para PEA significativo ao nível de 0,02% ( $p=0,0002^{**}$ ). As variáveis que afetaram significativamente o PEA foram a temperatura de extrusão e a umidade da mistura. O modelo explica 88,04% da variação do PEA, possui um CV de 10,15% e apresenta falta de ajuste significativa (0,0478\*). Portanto, o modelo apresenta um CV alto mas aceitável ( $>10\%$ ;  $<20\%$ ),  $R^2$  alto ( $>80\%$ ) e não pode ser usado para fins preditivos, mas somente para verificar a tendência das respostas, devido à falta de ajuste.

A partir do modelo ajustado para o PEA das rações controle foram elaborados gráficos de superfície de resposta, tri e bidimensionais (Figura 4.8.).

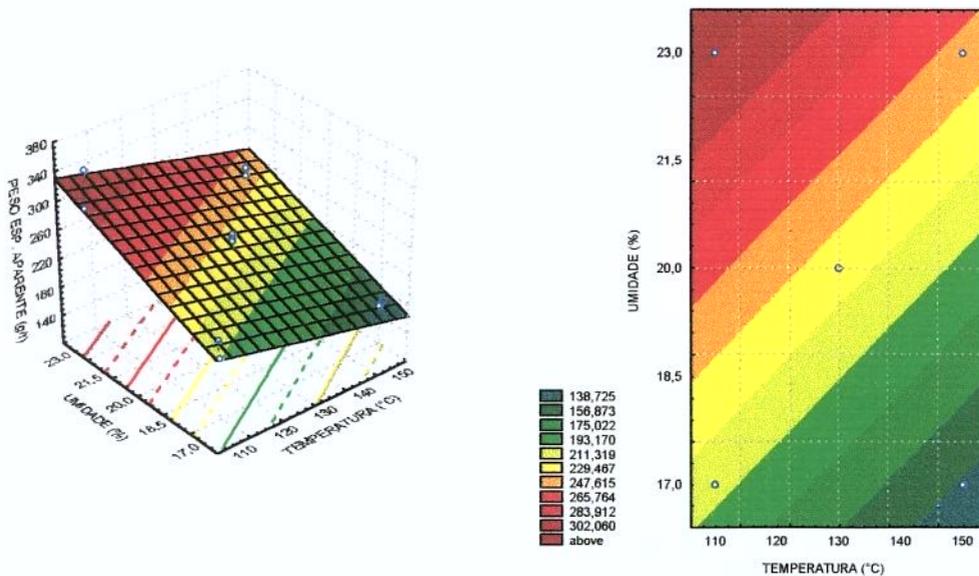


Figura 4.8. Efeito da temperatura de extrusão (°C) e da umidade da mistura (%) sobre o **Peso Específico Aparente (g/l)** das rações com 48% de substituição do farelo de soja pela soja integral

Pela análise dos gráficos observa-se que com a diminuição da temperatura de extrusão e ou o aumento da umidade da mistura ocorre um aumento do PEA, que variou entre 138,7 g/l e acima de 302,1 g/l, valores superiores aos das rações controle e com 30 % de substituição do FS pela SI na composição.

As rações extrusadas com 74% de substituição de FS por SI apresentaram um modelo simplificado ajustado para PEA significativo ao nível de 0,19% ( $p=0,0019^{**}$ ). As variáveis que afetaram significativamente o PEA foram a temperatura de extrusão e a umidade da mistura. O modelo explica 79,19% da variação do PEA, possui um CV de 9,85%, e apresenta falta de ajuste significativa (0,0379\*). Portanto, o modelo apresenta um CV baixo (<10%) e  $R^2$  aceitável (>70%), mas não pode ser usado para fins preditivos, mas somente para verificar a tendência da resposta, devido à falta de ajuste.

A partir do modelo ajustado para o PEA das rações controle foram elaborados gráficos de superfície de resposta, tri e bidimensionais (Figura 4.9.).

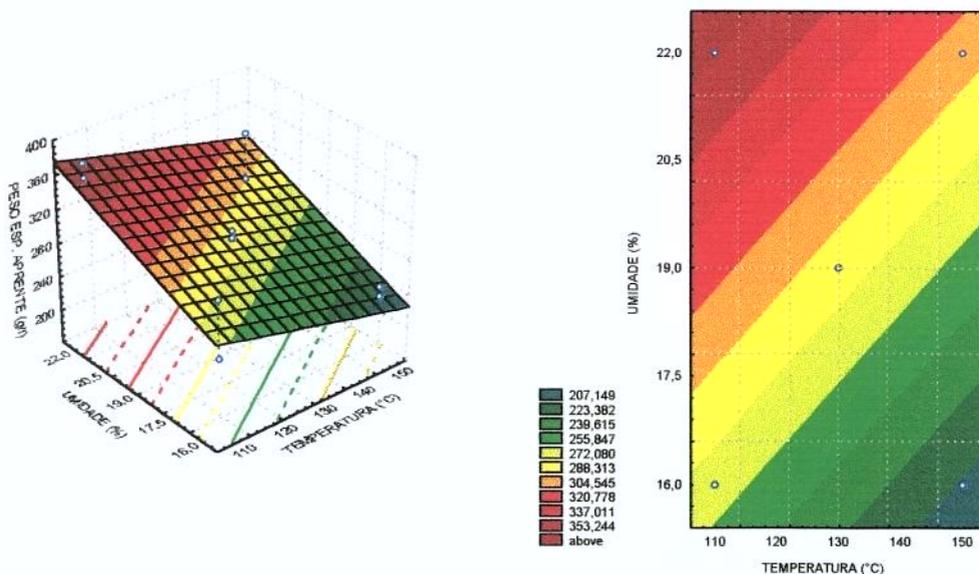


Figura 4.9. Efeito da temperatura de extrusão (°C) e da umidade da mistura (%) sobre o **Peso Específico Aparente (g/l)** das rações com 74% de substituição do farelo de soja pela soja integral

Pela análise dos gráficos observa-se que com a diminuição da temperatura de extrusão e ou o aumento da umidade da mistura ocorre um aumento do PEA, que variou entre 207,2 g/l e acima de 353,2 g/l. Valores superiores aos das rações controle, das com 30 % e com 48% de substituição do FS pela SI na composição.

As rações com 100% de substituição de FS por SI apresentaram um modelo simplificado ajustado para PEA significativo ao nível de 1,129% ( $p=0,0112^*$ ). As variáveis que afetaram significativamente o PEA foram a temperatura de extrusão e a umidade da mistura. O modelo explica 67,49% da variação do PEA, possui um CV de 10,84%, e apresentou falta de ajuste significativa ( $0,0206^*$ ). Portanto, o modelo apresenta um CV alto mas aceitável ( $>10\%$ ;  $<20\%$ ),  $R^2$  baixo ( $<70\%$ ), e não pode ser usado para fins preditivos, mas somente para verificar a tendência da resposta, devido à falta de ajuste.

A partir do modelo ajustado para o PEA das rações controle foram elaborados gráficos de superfície de resposta, tri e bidimensionais (Figura 4.10.).

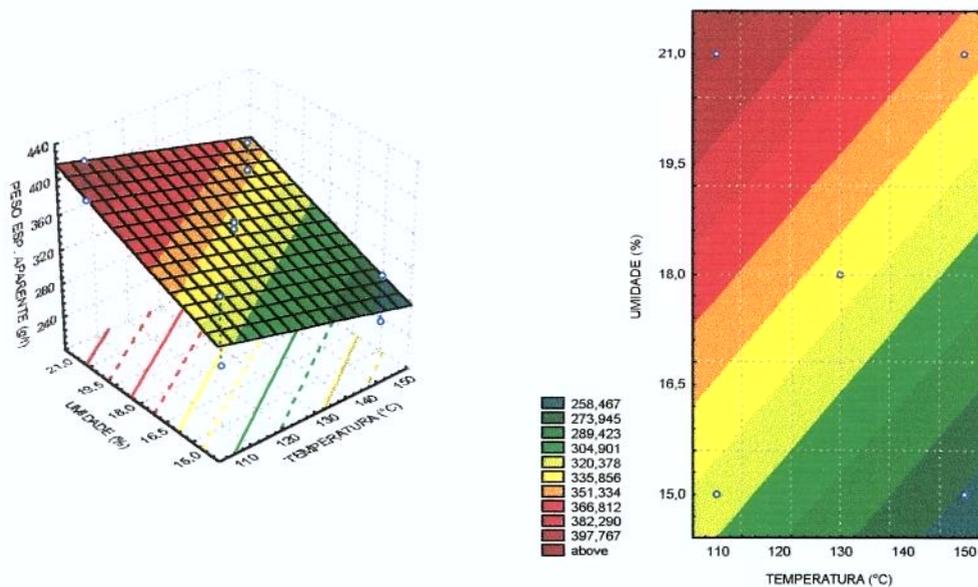


Figura 4.10. Efeito da temperatura de extrusão ( $^{\circ}\text{C}$ ) e da umidade da mistura (%) sobre o **Peso Específico Aparente (g/l)** das rações com 100% de substituição do farelo de soja pela soja integral

Pela análise dos gráficos observa-se que com a diminuição da temperatura de extrusão e ou o aumento da umidade da mistura ocorre um aumento do PEA, que variou entre 258,5 g/l e acima de 397,78 g/l, valores superiores aos de todas as outras rações. Isto indica que, com o aumento da substituição do FS pela SI, ocorreu um aumento gradual do PEA das rações extrusadas.

Segundo HILTON et al. (1981), o peso específico aparente do grânulo extrusado situa-se ao redor de 450g/L, enquanto que o peso específico aparente do grânulo a vapor é ao redor de 610g/L. A reduzida densidade do grânulo extrusado provavelmente contribui para uma maior e mais rápida absorção de água quando comparado com o grânulo a vapor. Para MILLAUER & LOSENEGGER (1999), a densidade aparente em em peletes produzidos em extrusores de dupla rosca varia de 0,2-0,7 g/mL.

Neste trabalho, observou-se valores entre 80 g/L e 400 g/L, com os valores mais baixos nas rações com os menores níveis de substituição do FS pela SI. Valores semelhantes aos observados por HILTON et al. (1981) para as rações extrusadas não foram observados nas rações produzidas. Os valores mais próximos foram obtidos com 100% de substituição do farelo de soja pela soja integral.

PARK (1976) citado por COLONNA et al. (1989) observou que, com o aumento da umidade na extrusão de amido de milho, em um extrusor de laboratório Wenger X-5, ocorreu uma diminuição do volume específico (ou aumento do peso específico aparente) dos extrusados, concordando com os resultados obtidos neste trabalho. Também Hayter et al. (1987) citados por COLONNA et al. (1989) observaram que o aumento no conteúdo de umidade da matéria-prima, na extrusão de 'grits' de milho, resultou em um aumento da densidade aparente.

BADRIE & MELLOWES (1991), extrusando farinha de mandioca, observaram que a umidade da matéria-prima foi a variável que mais contribuiu para a densidade aparente. Aumentando a umidade houve um aumento da densidade aparente. Já com o aumento da temperatura, ocorreu uma redução na densidade aparente. Estas duas tendências também foram observadas neste trabalho, independente do nível de substituição de FS por SI nas formulações. Apesar das matérias-primas serem diferentes, o amido em ambos os trabalhos provavelmente foi o responsável pela maior ou menor densidade aparente das rações extrusadas.

BHATTACHARYA & HANNA (1988), observaram que a concentração de lipídios não afetou a densidade aparente de misturas extrusadas de amido de milho e farinha de soja desengordurada, com diferentes teores de lipídios. Neste trabalho, observou-se que, com o aumento do nível de substituição do FS pela SI, e conseqüente aumento do teor de lipídios e redução do amido, ocorreu uma redução do peso específico aparente das rações extrusadas. Provavelmente, em função dos baixos teores de amido contidos nas rações com maiores níveis de substituição de farelo de soja por soja integral.

#### 4.4.3. Índice de expansão radial

Para rações aquáticas, o índice de expansão radial é importante por sua relação com o diâmetro final dos grânulos obtidos. Geralmente, os peixes, nas fases iniciais de crescimento, possuem boca pequena e necessitam de rações com dimensões (comprimento e diâmetro) reduzidas. No processamento, o comprimento da ração pode ser controlado pelo número de facas ou velocidade de rotação do cortador, enquanto que o diâmetro final da ração é controlado pelo diâmetro dos orifícios da matriz (que não devem ser muito reduzidos em função de possíveis entupimentos) e pelo índice de expansão radial que, por sua vez, pode ser controlado pela manipulação das variáveis independentes do processo de extrusão.

As médias dos resultados experimentais do índice de expansão radial (IER) das rações extrusadas com diferentes níveis de substituição do FS pela SI na composição, estão apresentados na Tabela 4.9.

A Tabela 4.10. apresenta os modelos de regressão ajustados, as probabilidades destes serem significativos, os coeficientes de determinação, os coeficientes de variação e as probabilidades de falta de ajuste.

As rações extrusadas controle (com 0% de substituição do FS pela SI) apresentaram um modelo simplificado ajustado para IER significativo ao nível de 0,01% ( $p=0,0001^{**}$ ). As variáveis que afetaram significativamente o IER foram a temperatura de extrusão e a umidade da

mistura. O modelo explica 93,14% da variação do IER, apresentou um CV de 2,50%, e não apresentou falta de ajuste (0,0567<sup>ns</sup>). Portanto, o modelo pode ser utilizado para fins preditivos.

Tabela 4.9. Médias dos resultados experimentais do **Índice de Expansão Radial** das rações com diferentes níveis de substituição do farelo de soja (FS) pela soja integral (SI)

ENSAIO	VARIÁVEL*			ÍNDICE DE EXPANSÃO RADIAL				
	independente			Nível de substituição do farelo de soja pela soja integral (%)				
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	0	30	48	74	100
1	-1	-1	-1	2,44	2,00	1,73	1,54	1,51
2	-1	-1	1	2,27	1,90	1,66	1,34	1,20
3	-1	1	-1	2,54	2,08	1,90	1,66	1,47
4	-1	1	1	2,21	1,85	1,52	1,40	1,18
5	1	-1	-1	2,08	1,49	1,20	1,22	1,18
6	1	-1	1	1,86	1,31	1,11	1,12	1,06
7	1	1	-1	2,20	1,60	1,32	1,24	1,13
8	1	1	1	1,99	1,52	1,14	1,14	1,03
9	0	0	0	2,23	1,86	1,51	1,48	1,37
10	0	0	0	2,20	1,88	1,50	1,47	1,38
11	0	0	0	2,22	1,87	1,53	1,51	1,40

\* valores codificados (ver Tabela 3.5. para observar os valores reais)

Tabela 4.10. Modelos de regressão ajustados, significâncias dos modelo (p), coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>), coeficiente de variação CV(%) e probabilidade do modelo apresentar falta de ajuste (FA) para **Índice de Expansão Radial** das rações com diferentes níveis de substituição do farelo de soja pela soja integral

Nível de Substituição de FS por SI	Modelo ajustado	p	R <sup>2</sup>	CV	FA
0	$y=2,204-0,166x_1-0,116x_3$	0,0001	0,9314	2,4974	0,0567
30	$y=1,760-0,239x_1$	0,0003	0,7825	6,7438	0,0055
48	$y=1,465-0,255x_1-0,090x_3$	0,0001	0,9273	5,1673	0,0302
74	$y=1,375-0,152x_1-0,082x_3$	0,0026	0,7731	6,8330	0,0364
100	$y=1,265-0,120x_1-0,102x_3$	0,0066	0,7150	7,8794	0,0175

x<sub>1</sub> = temperatura de extrusão (°C); x<sub>2</sub> = velocidade de alimentação (kg/h); x<sub>3</sub> = umidade (%)

A partir do modelo ajustado para o IER das rações controle foram elaborados gráficos de superfície de resposta, tri e bidimensionais (Figura 4.11).

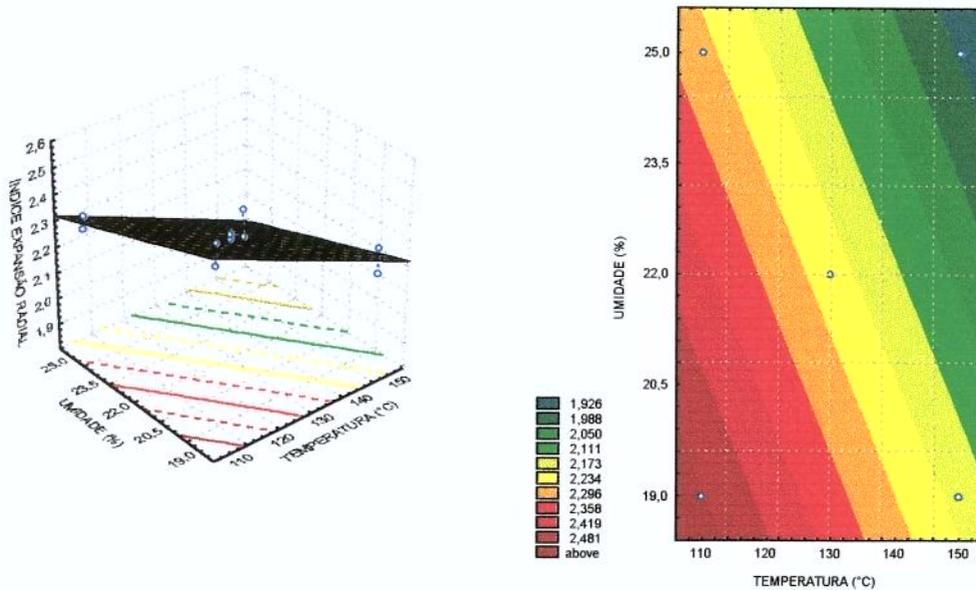


Figura 4.11. Efeito da temperatura de extrusão (°C) e da umidade da mistura (%) sobre o **Índice Expansão Radial** das rações com 0% de substituição do farelo de soja pela soja integral

Pela análise dos gráficos observa-se que com a diminuição da temperatura de extrusão e da umidade da mistura ocorreu um aumento dos valores de IER, que variaram entre 1,93 e acima de 2,48.

As rações com 30% de substituição do FS pela SI apresentaram um modelo simplificado ajustado para IER significativo ao nível de 0,44% ( $p=0,0044^{**}$ ). Somente a variável temperatura de extrusão foi significativa para a IER. O modelo explica 78,25% da variação do IER e possui um coeficiente de variação de 6,74%. A falta de ajuste é significativa ( $0,0055^{**}$ ), mas devido o erro experimental ser muito pequeno, próximo de zero, a significância da falta de ajuste pode ser desconsiderada (BOX & DRAPPER, 1987). Portanto, o modelo pode ser usado para fins

preditivos, pois apresenta um coeficiente de variação baixo ( $< 10\%$ ) e um coeficiente de determinação aceitável ( $R^2 > 70\%$ ).

A partir do modelo ajustado para IER das rações com 30% de substituição do FS pela SI foi elaborado um gráfico de linha (Figura 4.12).

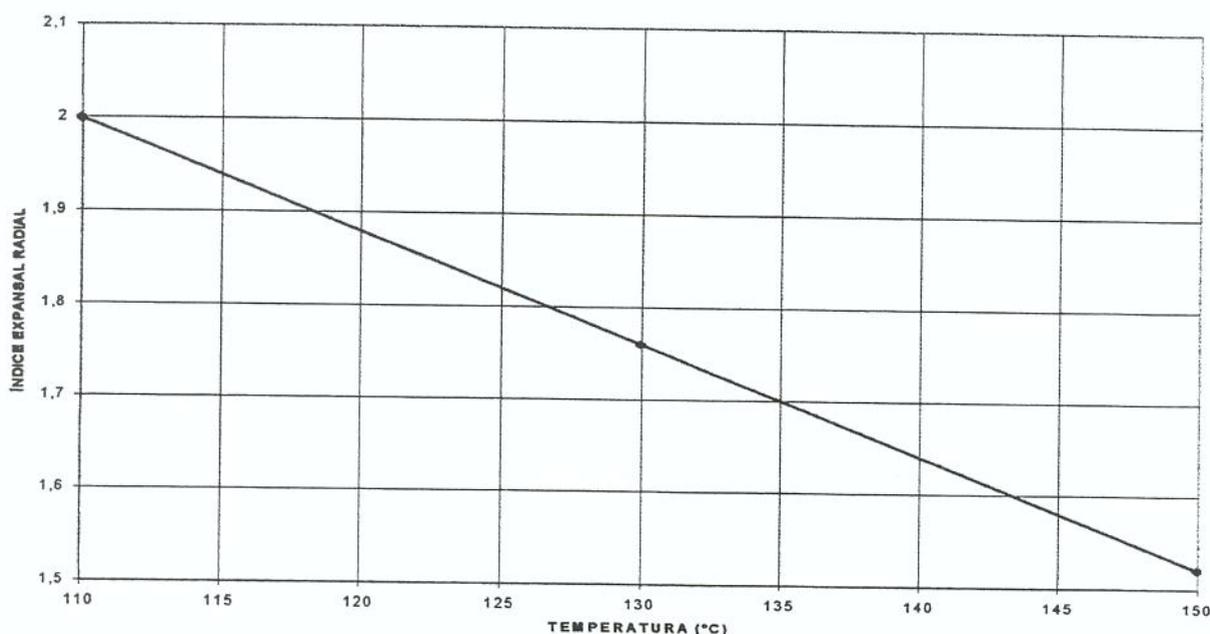


Figura 4.12. Efeito da temperatura de extrusão (°C) sobre o **Índice de Expansão Radial** das rações com 30% de substituição de farelo de soja por soja integral

Pela análise dos gráficos, observa-se que com o aumento da temperatura de extrusão ocorreu uma diminuição do IER, que variou entre 1,52 a 2,00.

As rações com 48% de substituição do FS pela SI apresentaram um modelo simplificado ajustado para IER significativo ao nível de 0,01% ( $p=0,0001^{**}$ ). As variáveis que afetaram significativamente o IER foram a temperatura de extrusão e a umidade da mistura. O modelo explica 92,73% da variação do IER, possui um coeficiente de variação de 5,17%. A falta de ajuste é significativa (0,0302), mas devido ao erro experimental ser muito pequeno, próximo de

zero, a significância da falta de ajuste pode ser desconsiderada (BOX & DRAPPER, 1987). Portanto, o modelo pode ser utilizado para fins preditivos.

A partir do modelo ajustado para o IER das rações com 48% de substituição do FS pela SI foram elaborados gráficos de superfície de resposta, tri e bidimensionais (Figura 4.13).

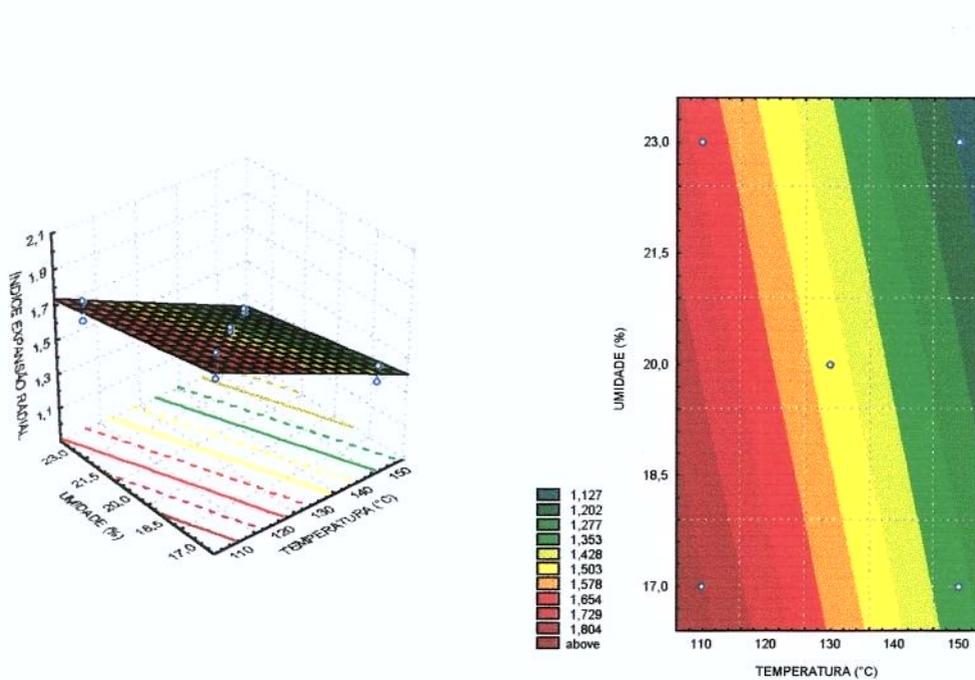


Figura 4.13. Efeito da temperatura de extrusão (°C) e da umidade da mistura (%) sobre o **Índice Expansão Radial** das rações com 48% de substituição do farelo de soja pela soja integral

Pela análise dos gráficos observa-se que com a diminuição da temperatura de extrusão e da umidade da mistura ocorre um aumento dos valores de IER, que variaram entre 1,13 e superior a 1,80 (número adimensional). Os valores máximos para IER obtidos para as rações com 48% de substituição do FS pela SI foram menores que os obtidos pelas rações controle e com 30% de substituição.

As rações com 74% de substituição do FS pela SI apresentaram um modelo simplificado ajustado para IER significativo ao nível de 0,26% ( $p=0,0026^{**}$ ). As variáveis que afetaram significativamente o IER foram a temperatura de extrusão e a umidade da mistura. O modelo

explica 77,31% da variação do IER, possui um CV de 6,83%. A falta de ajuste é significativa (0,0364), mas devido ao erro experimental ser muito pequeno, próximo de zero, a significância da falta de ajuste pode ser desconsiderada (BOX & DRAPPER, 1987). Portanto, o modelo pode ser utilizado para fins preditivos.

A partir do modelo ajustado para o IER das rações com 74% de substituição do FS pela SI foram elaborados gráficos de superfície de resposta tri e bidimensionais (Figura 4.14).

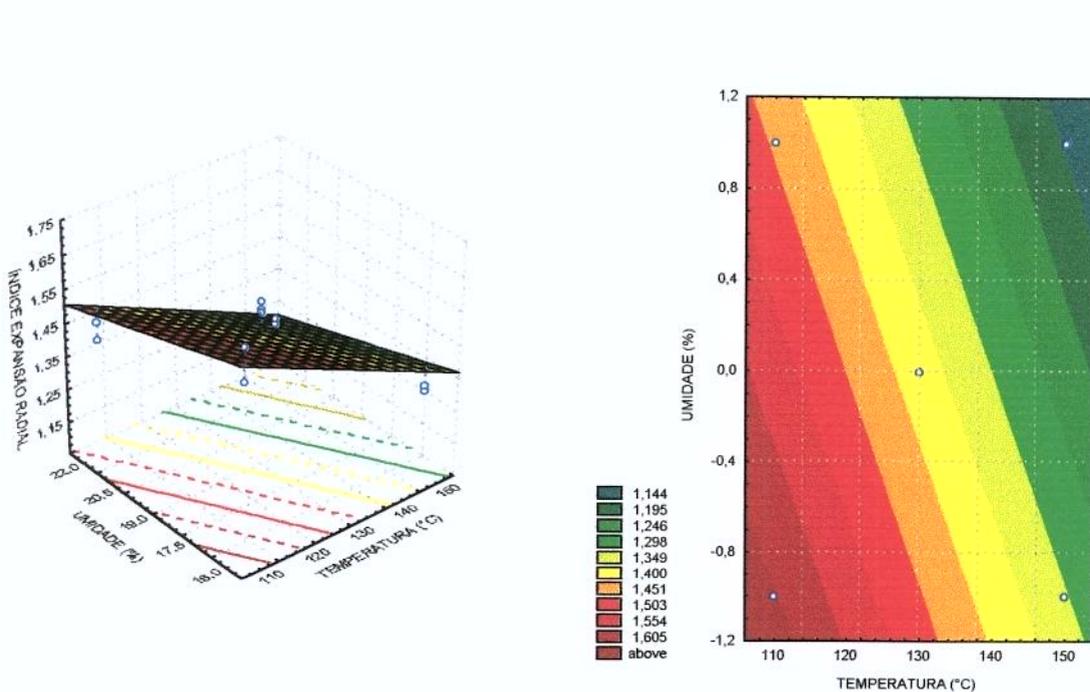


Figura 4.14. Efeito da temperatura de extrusão (°C) e da umidade da mistura (%) sobre o **Índice Expansão Radial** das rações com 74% de substituição do farelo de soja pela soja integral

Pela análise dos gráficos observa-se que com a diminuição da temperatura de extrusão e da umidade da mistura ocorreu um aumento dos valores de IER, que variaram entre 1,14 e superior a 1,60. Os valores máximos para IER obtidos para as rações com 74% de substituição do FS pela SI foram menores que os obtidos pelas rações controle, com 30% e com 48% de substituição.

As rações com 100% de substituição do FS pela SI apresentaram um modelo simplificado ajustado para IER significativo ao nível de 0,66% ( $p=0,0066^{**}$ ). As variáveis que afetaram significativamente o IER foram a temperatura de extrusão e a umidade da mistura. O modelo explica 71,50% da variação do IER, possui um CV de 7,88%. A falta de ajuste é significativa (0,0175), mas devido ao erro experimental ser muito pequeno, próximo de zero, a significância da falta de ajuste pode ser desconsiderada (BOX & DRAPPER, 1987). Portanto, o modelo pode ser utilizado para fins preditivos.

A partir do modelo ajustado para o IER das rações com 100% de substituição do FS pela SI foram elaborados gráficos de superfície de resposta tri e bidimensionais (Figura 4.15).

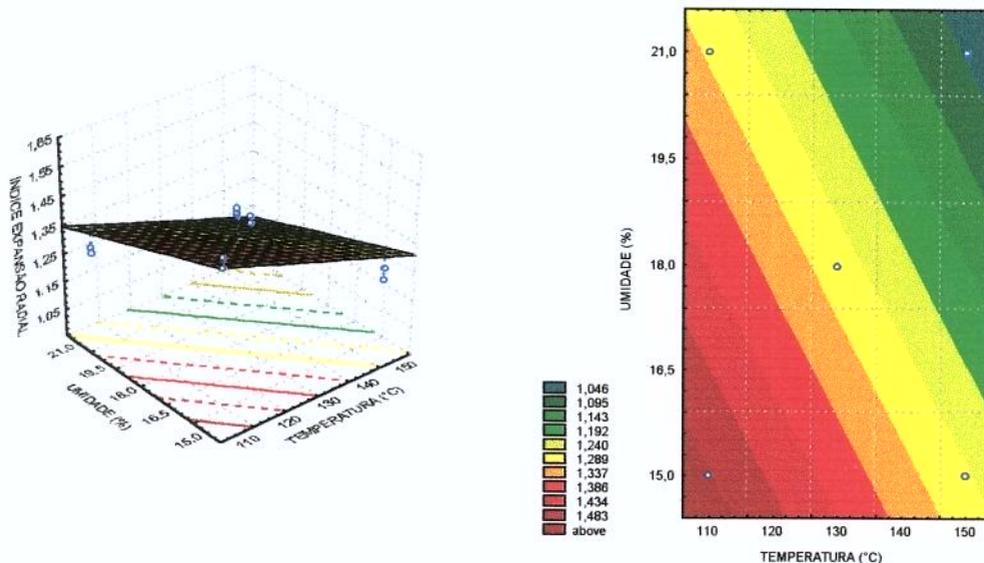


Figura 4.15. Efeito da temperatura de extrusão (°C) e da umidade da mistura (%) sobre o **Índice Expansão Radial** das rações com 100% de substituição de farelo de soja por soja integral

Pela análise dos gráficos observa-se que com a diminuição da temperatura de extrusão e da umidade da mistura ocorre um aumento dos valores de IER, que variaram entre 1,05 e 1,48. Os valores máximos para IER obtidos para as rações com 100% de substituição do FS pela SI foram inferiores aos valores máximos obtidos por todos os outros níveis de substituição.

Indicando que o aumento dos níveis de substituição afetou negativamente o IER das rações extrusadas.

A expansão de um produto extrusado depende, principalmente do grau de gelatinização do amido e da subsequente evaporação da água originada da brusca descompressão, imediatamente após a saída do material pela matriz (CHANG, 1989). A expansão radial geralmente diminui rapidamente quando o conteúdo de umidade aumenta (SEILER et al., 1980; FAUBION & HOSENEY, 1982a; GUY & HORNE, 1988; COLONNA et al., 1989), concordando com os resultados deste trabalho.

Segundo BADRIE & MELLOWES (1991), na extrusão da farinha de mandioca, com extrusor de parafuso duplo, uma expansão radial máxima (2,82) foi obtida a 11% de umidade, 120-125°C, velocidade do parafuso de 520 rpm e velocidade de alimentação de 250g/min. A umidade da matéria-prima e a temperatura de extrusão contribuiu para a variação significativa da expansão e da densidade aparente do produto extrusado. Diminuindo a umidade ocorreu um aumento da expansão, e aumentando a temperatura aumentou a expansão e diminuiu a densidade aparente. A mesma tendência da umidade também foi verificada com a mistura de milho e farelo de soja e ou soja integral neste trabalho, porém a tendência da temperatura foi contrária à obtida aqui.

De acordo com GOMES & AGUILERA (1984) e PATON & SPRATT (1984), a expansão radial aumenta com o aumento da temperatura, quando o conteúdo de água é menor que 19,5%. Este fenômeno pode ser o resultado também da redução da viscosidade, permitindo que o fundido tenha mais condições de expandir, ou ainda, do aumento da pressão de vapor da água. Enquanto que neste trabalho, a expansão radial diminui com o aumento da temperatura, com o conteúdo de água entre 15 a 25%. Segundo ALVAREZ-MARTINEZ et al. (1988) a componente térmica é relativamente insignificante na expansão diametral e é a principal responsável pela expansão longitudinal. Esta e a expansão volumétrica são mais afetadas pela temperatura do que a expansão diametral.

Monoglicéridios e emulsificantes, tal como a lecitina encontrada naturalmente na soja integral ou adicionados em níveis de 0,5 a 1% podem reduzir a migração de gordura. Embora seu modo de ação seja similar aos lipídios, estas substâncias tendem a complexar com a amilose e proteínas e reduzir a viscosidade dos extrusados (WENGER, 1998).

Se a extrusão for feita sob baixas umidades (menos de 20%) e altas temperaturas (mais de 150°C), é quase certo que complexos lipídio amilose e lipídio proteína serão formados. Ácidos graxos livres e lipídios polares são especialmente reativos nestas situações (WENGER, 1998).

COLONA & MERCIER (1983), estudando o efeito da adição de monoglicerídios durante a extrusão de amido de mandioca, já tinham observado o efeito do aumento da umidade e do teor de monoglicerídios na redução da expansão. Tendências também observadas neste trabalho. Assim, estes autores propuseram como explicação para este fenômeno, que a umidade e os monoglicerídios atuam durante a extrusão como lubrificantes, reduzindo o atrito mecânico e a pressão no interior do cilindro do extrusor. MALKKI et al. (1984) e GALLOWAY et al. (1989) também observaram este mesmo fenômeno, na extrusão de farinha de trigo com monoglicerídios, e MARTINEZ (1990) com amido de milho desengordurado.

FAUBION & HOSENEY (1982b) mostraram que a adição de lipídios tem uma influência pequena na expansão da farinha de trigo. Contudo, KUMAGAI et al. (1987) observaram que extrusados feitos com farinha de arroz desengordurada (0,065% de conteúdo de lipídios) tiveram um volume ao redor de 50% maior que os extrusados de farinha de arroz não tratada (0,765% de lipídios).

Neste trabalho a expansão radial também diminuiu com o aumento do teor de lipídios ou seja, com o aumento do nível de substituição do farelo de soja pela soja integral na formulação.

#### **4.4.4. Perdas por lixiviação na água**

De acordo com JAUNCEY & ROSS (1982) é de fundamental importância a estabilidade do grânulo de ração na água, uma vez que a mesma resulta em menores perdas de nutrientes, principalmente de vitaminas e minerais. Segundo METAILLER et al. (1978), a estabilidade do grânulo na água é imprescindível para a manutenção de seu valor nutritivo, principalmente, para grânulos com pequeno diâmetro.

As médias dos resultados experimentais das perdas por lixiviação na água (PLA) das rações extrusadas, com diferentes níveis de substituição do FS pela SI na composição, estão apresentados na Tabela 4.11.

Tabela 4.11. Médias dos resultados experimentais de **Perdas por Lixiviação na Água (%)** das rações com diferentes níveis de substituição do farelo de soja pela soja integral

ENSAIO	VARIÁVEL*			PERDAS POR LIXIVIAÇÃO NA ÁGUA (%)				
	independente			Nível de substituição do farelo de soja pela soja integral (%)				
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	0	30	48	74	100
1	-1	-1	-1	6,0	8,8	8,3	8,6	4,6
2	-1	-1	1	5,3	8,5	6,7	6,1	3,6
3	-1	1	-1	4,6	7,9	9,3	6,5	4,9
4	-1	1	1	4,5	7,6	6,9	5,1	4,7
5	1	-1	-1	10,8	13,9	11,1	8,0	7,8
6	1	-1	1	8,4	10,6	9,4	5,5	5,4
7	1	1	-1	8,6	12,0	12,5	5,9	9,8
8	1	1	1	6,6	11,4	9,5	4,1	5,8
9	0	0	0	7,0	9,8	7,4	5,2	5,8
10	0	0	0	6,8	9,5	7,5	5,2	6,1
11	0	0	0	6,9	9,0	7,4	5,2	5,8

\* valores codificados (ver Tabela 3.5. para observar os valores reais)

A Tabela 4.12. apresenta os modelos de regressão ajustados, as probabilidades destes serem significativos, os coeficientes de determinação, os coeficientes de variação e as probabilidades de falta de ajuste dos modelos.

As rações controle apresentaram um modelo completo para PLA significativo ao nível de 0,01% ( $p=0,0001^{**}$ ). Todas as variáveis foram significativas para a PLA. O modelo explica 93,75% da variação da PLA, possui um coeficiente de variação de 8,13%. A falta de ajuste é significativa (0,0228), mas devido ao erro experimental ser muito pequeno, próximo de zero, a significância da falta de ajuste pode ser desconsiderada (BOX & DRAPPER, 1987). Portanto, o modelo pode ser utilizado para fins preditivos.

Tabela 4.12. Modelos de regressão ajustados, significâncias dos modelo (p), coeficientes de determinação ( $R^2$ ), coeficiente de variação CV(%) e probabilidade do modelo apresentar falta de ajuste (FA) para **Perdas por Lixiviação na Água (%)** das rações com diferentes níveis de substituição do farelo de soja pela soja integral

Nível de Substituição do FS pela SI	Modelo ajustado	p	$R^2$	CV	FA
0	$y=6,9+1,7x_1-7,7x_2-6,5x_3$	0,0001	0,9375	8,1315	0,0228
30	$y=9,9+1,9x_1$	0,0003	0,7790	9,5667	0,1344
48	$y=8,7+1,4x_1-1,1x_3$	0,0039	0,7499	11,7966	0,0024
74	$y=5,9-0,8x_2-1,0x_3$	0,0595	0,7875	11,4960	0,0001
100	$y=5,8+1,4x_1-0,9x_3$	0,0022	0,7833	15,0387	0,0288

$x_1$  = temperatura de extrusão (°C);  $x_2$  = velocidade de alimentação (kg/h);  $x_3$  = umidade (%)

A partir do modelo ajustado para PLA das rações controle foram elaborados três gráficos de superfície de resposta bidimensionais (Figura 4.16).

Pela análise dos gráficos observa-se que a PLA aumentou com o aumento da temperatura de extrusão e diminuiu com o aumento da velocidade de alimentação e umidade da mistura. Os valores de PLA variaram entre 6,5% a acima de 22,7% para velocidade de alimentação fixada em 14 kg/h, entre 0 e superior a 15,0% para velocidade de alimentação fixada em 17 kg/h, e entre 0 e superior a 7,3% para velocidade de alimentação fixada em 20 kg/h.

As rações com 30% de substituição do FS pela SI apresentaram um modelo simplificado ajustado para PLA significativo ao nível de 0,03% ( $p=0,0003^{**}$ ). Somente a variável temperatura de extrusão foi significativa para a PLA. O modelo explica 77,90% da variação da PLA, possui um coeficiente de variação de 9,57% e não apresentou falta de ajuste (0,1344<sup>ns</sup>). Portanto, o modelo pode ser usado para fins preditivos, pois apresenta coeficiente de variação baixo ( $CV < 10\%$ ), coeficiente de determinação aceitável ( $R^2 > 70\%$ ) e não apresenta falta de ajuste significativa.

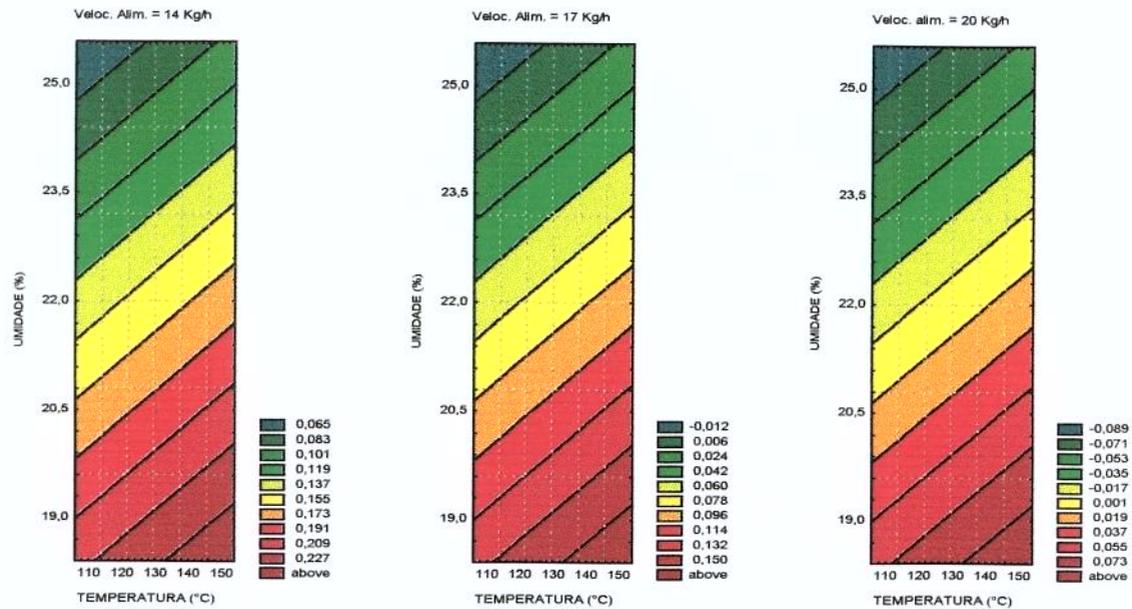


Figura 4.16. Efeito da temperatura de extrusão (°C) e da umidade da mistura (%) sobre a **Perdas por Lixiviação na Água** das rações controle (0% de substituição do farelo de soja pela soja integral). Com a velocidade de alimentação fixada em 14 kg/h, 17 kg/h e 20 kg/h

A partir do modelo ajustado para PLA das rações com 30% de substituição do FS pela SI foi elaborado um gráfico de linha (Figura 4.17). Pela análise do gráfico, observa-se que com o aumento da temperatura de extrusão ocorreu um aumento da PLA, que variou entre 8,0% a acima de 11,8%.

As rações com 48% de substituição do FS pela SI apresentaram um modelo simplificado ajustado para PLA significativo ao nível de 0,39% ( $p=0,0039^{**}$ ). As variáveis que afetaram significativamente a PLA foram a temperatura de extrusão e a umidade da mistura. O modelo explica 74,99% da variação do PLA e possui um coeficiente de variação de 11,80%. A falta de ajuste é significativa (0,0024), mas devido ao erro experimental ser muito pequeno, próximo de zero, a significância da falta de ajuste pode ser desconsiderada (BOX & DRAPPER, 1987). Portanto, o modelo pode ser utilizado para fins preditivos, apesar de seu alto mas tolerável CV% (>10%). A partir do modelo ajustado para o PLA das rações com 48% de substituição de FS por SI foram elaborados gráficos de superfície de resposta, tri e bidimensionais (Figura 4.18).

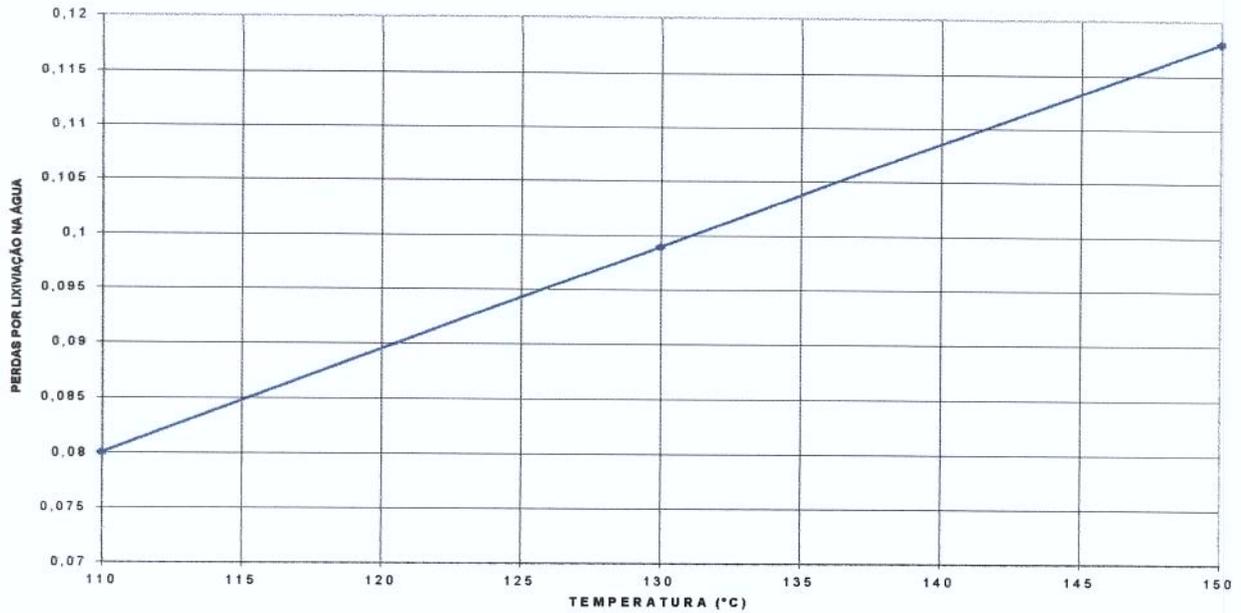


Figura 4.17. Efeito da temperatura de extrusão (°C) sobre a **Perdas por Lixiviação na Água (%)** das rações com 30% de substituição do farelo de soja pela soja integral

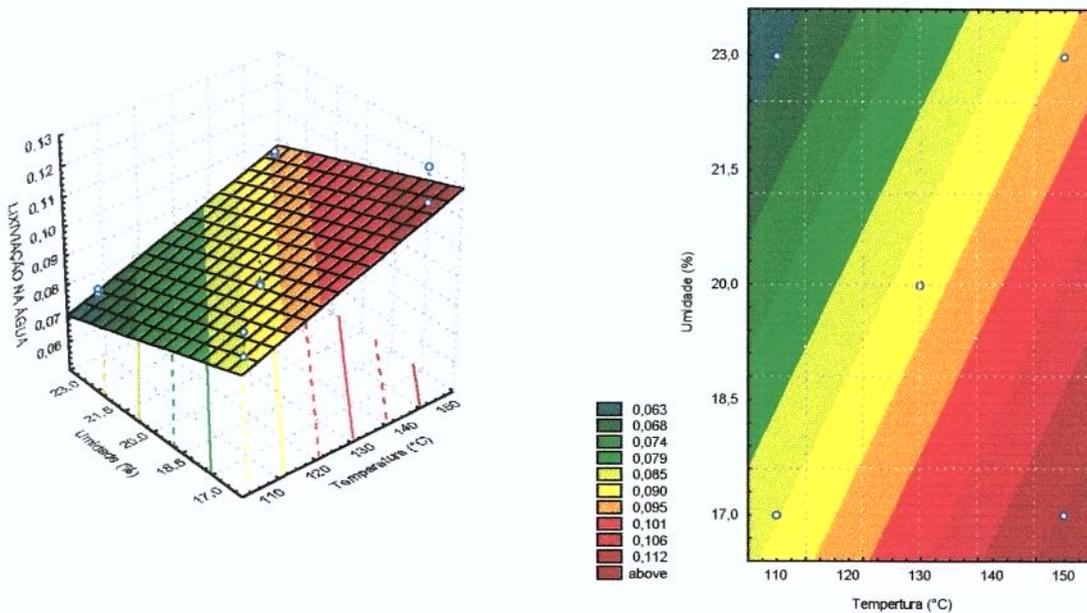


Figura 4.18. Efeito da temperatura de extrusão (°C) e da umidade da mistura (%) sobre a **Perdas por Lixiviação na Água** das rações com 48% de substituição do farelo de soja pela soja integral

Pela análise dos gráficos observa-se que com o aumento da temperatura de extrusão e a diminuição da umidade da mistura ocorre um aumento dos valores de PLA. Os valores de PLA variaram entre 6,3% e acima de 11,2%.

As rações com 74% de substituição do FS pela SI apresentaram um modelo simplificado ajustado para PLA significativo ao nível de 5,95% ( $p=0,0595$ ). As variáveis que afetaram significativamente a PLA foram a velocidade de alimentação e a umidade da mistura. O modelo explica 78,75% da variação do PLA e possui um coeficiente de variação de 11,50%. A falta de ajuste é significativa (0,0001), mas devido ao erro experimental ser muito pequeno, próximo de zero, a significância da falta de ajuste pode ser desconsiderada (BOX & DRAPPER, 1987). Portanto, o modelo pode ser utilizado para fins preditivos, apesar de seu alto mas aceitável CV% ( $>10\%$ ;  $<20\%$ ) e baixo mas aceitável  $R^2$  ( $>70\%$ ). A partir do modelo ajustado para o PLA das rações com 74% de substituição do FS pela SI foram elaborados gráficos de superfície de resposta, tri e bidimensionais (Figura 4.19).

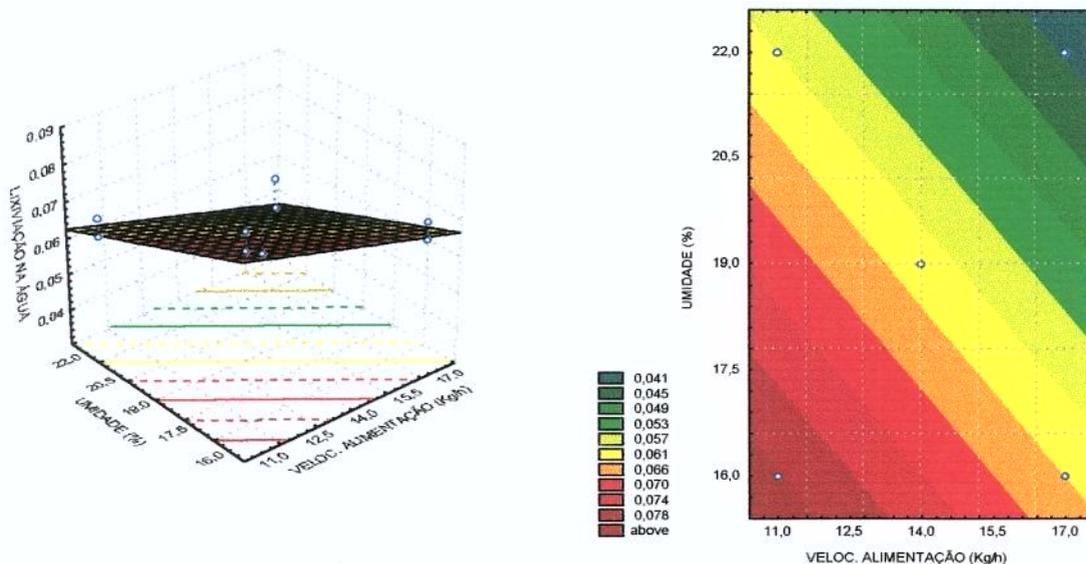


Figura 4.19. Efeito da velocidade de alimentação (kg/h) e da umidade da mistura (%) sobre a **Perdas por Lixiviação na Água** das rações com 74% de substituição do farelo de soja pela soja integral

Pela análise dos gráficos observa-se que com o aumento da velocidade de alimentação e da umidade da mistura ocorre uma diminuição dos valores de PLA. Os valores de PLA variaram entre 4,1% e acima de 7,8%.

As rações com 100% de substituição do FS pela SI apresentaram um modelo simplificado ajustado para PLA significativo ao nível de 0,22% ( $p=0,0022^{**}$ ). As variáveis que afetaram significativamente a PLA foram a temperatura de extrusão e a umidade da mistura. O modelo explica 78,33% da variação do PLA e possui um coeficiente de variação de 15,04%. A falta de ajuste é significativa (0,0288), mas devido ao erro experimental ser muito pequeno, próximo de zero, a significância da falta de ajuste pode ser desconsiderada (BOX & DRAPPER, 1987). Portanto, o modelo pode ser utilizado para fins preditivos, apesar o alto mas tolerável CV% ( $>10\%$ ;  $<20\%$ ) e baixo mas aceitável  $R^2$  ( $>70\%$ ).

A partir do modelo ajustado para o PLA das rações com 100% de substituição do FS pela SI foram elaborados gráficos de superfície de resposta, tri e bidimensionais (Figura 4.20.).

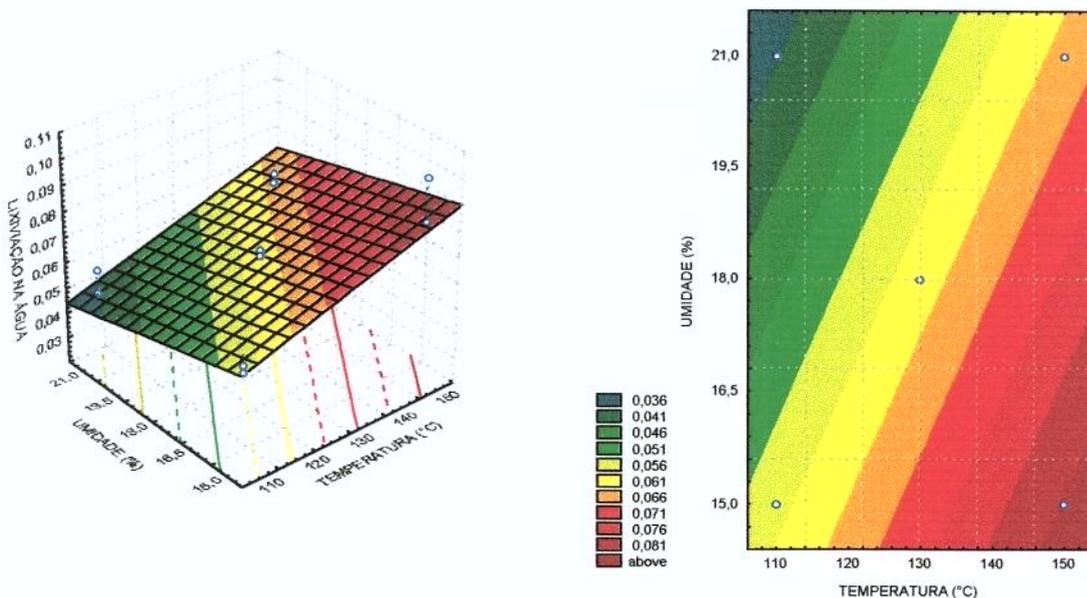


Figura 4.20. Efeito da temperatura de extrusão ( $^{\circ}\text{C}$ ) e da umidade da mistura (%) sobre a **Perdas na Lixiviação na Água** das rações com 100% de substituição do farelo de soja pela soja integral na composição.

Pela análise dos gráficos observa-se que com o aumento da temperatura de extrusão e a redução da umidade da mistura ocorre um aumento dos valores de PLA. Os valores de PLA variaram entre 3,6% e acima de 8,1%.

O tempo ideal que uma ração deve manter-se íntegra na água varia de acordo com a espécie alvo (para peixes pode ser bem menor que para camarão), e é uma característica que deve ser considerada em rações comerciais. Assim, a estabilidade da ração deve ser mantida durante 10 minutos (LOVELL, 1981), entre 15 e 20 minutos (NOSE, 1979) e não precisa ser superior a 30 minutos (CSÁVÁS, 1978).

A estabilidade físico-química das dietas granuladas, quando em contato com a água, está na dependência quantitativa e qualitativa do aglutinante presente e nas interações e reações do processo de produção (NRC, 1983). STIVERS (1971) acredita que o grau de estabilidade das rações esta diretamente relacionado com a extensão da gelatinização durante o condicionamento a vapor.

O índice de solubilidade na água (ISA) reflete a intensidade da degradação que o amido sofre durante o processo de extrusão. A gelatinização e a dextrinização provocam a destruição da estrutura dos polímeros, possibilitando a liberação na solução de frações pequenas de polímeros como amilose e amilopectina, aumentando o ISA em relação ao do amido nativo (GOMES & AGUILERA, 1983).

Vários autores verificaram que com o aumento da umidade ocorre uma significativa redução do índice de solubilidade na água depois da extrusão de 'grits' de milho (ANDERSON et al., 1969a, 1969b; CONWAY, 1971; COLONNA et al., 1987), amido de milho (MERCIER & FEILLET, 1975; GOMES & AGUILERA, 1984), e amido de trigo (PATON & SPRATT, 1984). Com o aumento da temperatura ocorre um aumento do índice de solubilidade na água (MERCIER & FEILLET, 1975; MEUSEUR et al., 1982; OLKKU et al., 1984).

Fazendo um raciocínio paralelo com as rações experimentais, estes resultados concordam com os obtidos neste trabalho, onde a redução da umidade e aumento da temperatura resultou um aumento das perdas de matéria seca das rações por lixiviação na água.

Segundo ROBINETTE (1977) um grânulo de boa qualidade não deve apresentar perdas superiores a 10% de matéria seca, após permanência por um período de 10 minutos em contato

com a água. Neste trabalho, a estabilidade na água aumentou (perdas de matéria seca foram menores) com o aumento de substituição do FS pela SI.

A adição de emulsificantes em diferentes tipos de amido durante a extrusão, causa a formação do complexo V-amilose, diminuindo a amilose livre e, conseqüentemente, diminuindo o índice de solubilidade na água (MERCIER et al., 1979,1980; GALLOWAY et al.,1989; MARTINEZ, 1990). Também, como consequência, aumenta a estabilidade na água (menores perdas de matéria seca). Essas observações concordam com a tendência observada neste trabalho, de redução das perdas de matéria seca com o aumento da substituição do FS pela SI, uma vez que a SI é rica em lecitina (emulsificante).

#### **4.4.5. Absorção de água**

De acordo com LOVELL (1978), uma dieta na forma de grânulo precisa ser resistente à penetração de água, a fim de que sejam minimizadas a erosão e desintegração e retardada a lixiviação de nutrientes. Neste sentido, o NRC (1983) recomenda a utilização de gorduras, as quais, quando em níveis adequados, resultam em melhor estabilidade do grânulo de ração na água e aumentam seu poder de flutuação.

As médias dos resultados experimentais de absorção de água (AA) das rações extrusadas, com diferentes níveis de substituição do FS pela SI na composição, estão apresentados na Tabela 4.13.

A Tabela 4.14 apresenta os modelos de regressão ajustados para AA, as probabilidades destes serem significativos, os coeficientes de determinação, os coeficientes de variação e as probabilidades de falta de ajuste.

As rações controle (0% de substituição do FS pela SI) apresentaram um modelo simplificado ajustado para AA significativo ao nível de 0,18% ( $p=0,0018^{**}$ ). As variáveis que afetaram significativamente a AA foram a temperatura de extrusão e a umidade da mistura. O modelo explica 79,03% da variação do AA e possui um coeficiente de variação de 5,00%. A falta de ajuste é significativa (0,0131), mas devido ao erro experimental ser muito pequeno, próximo

de zero, a significância da falta de ajuste pode ser desconsiderada (BOX & DRAPPER, 1987). Portanto, o modelo pode ser utilizado para fins preditivos.

Tabela 4.13. Médias dos resultados experimentais de **Absorção de Água (g água/g matéria seca)** das rações extrusadas, com diferentes níveis de substituição de farelo de soja (FS) pela soja integral (SI)

ENSAIO	VARIÁVEL*			ABSORÇÃO DE ÁGUA (g/g)				
	independente			Nível de substituição de farelo de soja por soja integral (%)				
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	0	30	48	74	100
1	-1	-1	-1	4,668	4,571	3,650	3,456	3,076
2	-1	-1	1	3,854	4,150	3,320	3,109	2,914
3	-1	1	-1	4,417	4,098	3,667	3,511	3,395
4	-1	1	1	3,775	3,808	3,579	3,421	3,238
5	1	-1	-1	5,427	5,702	3,929	3,821	3,626
6	1	-1	1	4,827	4,939	3,897	3,590	3,121
7	1	1	-1	4,712	5,089	4,501	4,245	3,828
8	1	1	1	4,708	5,044	4,363	3,833	3,341
9	0	0	0	4,692	4,850	3,980	3,760	3,412
10	0	0	0	4,632	4,861	3,998	3,750	3,398
11	0	0	0	4,669	4,743	4,096	3,782	3,456

\* valores codificados (ver Tabela 3.5 para observar os valores reais)

Tabela 4.14. Modelos de regressão ajustados, significâncias dos modelo (p), coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>), coeficiente de variação CV(%) e probabilidade do modelo apresentar falta de ajuste (FA) para **Absorção de Água (g água/g matéria seca)** das rações com diferentes níveis de substituição do farelo de soja pela soja integral

Nível de Substituição de FS por SI (%)	Modelo ajustado	p	R <sup>2</sup>	CV	FA
0	$y=4,580+0,370x_1-0,257x_3$	0,0018	0,7950	4,9977	0,0131
30	$y=4,714+0,518x_1-0,165x_2-0,190x_3$	0,0002	0,9303	3,5782	0,1033
48	$y=3,907+0,309x_1-0,164x_2$	0,0009	0,8267	4,1027	0,1095
74	$y=3,662+0,249x_1+0,129x_2-0,135x_3$	0,0007	0,9012	3,0097	0,0157
100	$y=3,346+0,162x_1+0,133x_2-0,164x_3$	0,0020	0,8647	3,3610	0,0509

x<sub>1</sub> = temperatura de extrusão (°C); x<sub>2</sub> = velocidade de alimentação (kg/h); x<sub>3</sub> = umidade (%)

A partir do modelo ajustado para o AA das rações controle foram elaborados gráficos de superfície de resposta, tri e bidimensionais (Figura 4.21.).

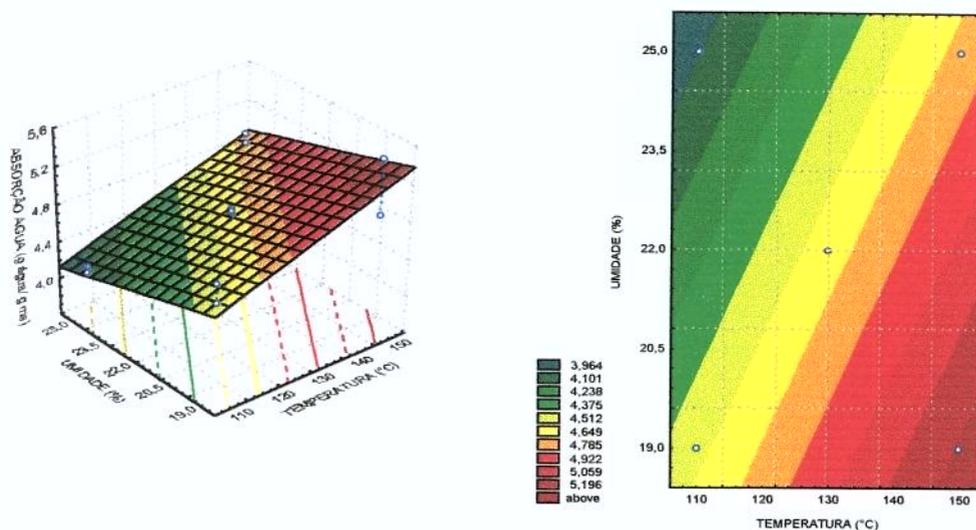


Figura 4.21. Efeito da temperatura de extrusão ( $^{\circ}\text{C}$ ) e da umidade da mistura (%) sobre a **Absorção de Água (g água/g matéria seca)** das rações controle (0% de substituição do farelo de soja pela soja integral)

Pela análise dos gráficos observa-se que com o aumento da temperatura de extrusão e a redução da umidade da mistura ocorreu um aumento dos valores de AA. Os valores de AA variaram entre 3,95 e 5,21 (g água/ g matéria seca).

As rações com 30% de substituição do FS pela SI apresentaram um modelo completo para AA significativo ao nível de 0,02% ( $p=0,0002^{**}$ ). Todas as variáveis foram significativas para a AA. O modelo explica 93,03% da variação do AA, possui um coeficiente de variação de 3,58%, e não apresenta falta de ajuste significativa ( $0,1033^{\text{ns}}$ ). Portanto, o modelo pode ser usado para fins preditivos.

A partir do modelo ajustado para AA das rações com 30% de substituição foram elaborados três gráficos de superfície de resposta bidimensionais com a velocidade de alimentação fixada em 13, 16 e 19 kg/h (Figura 4.22.).

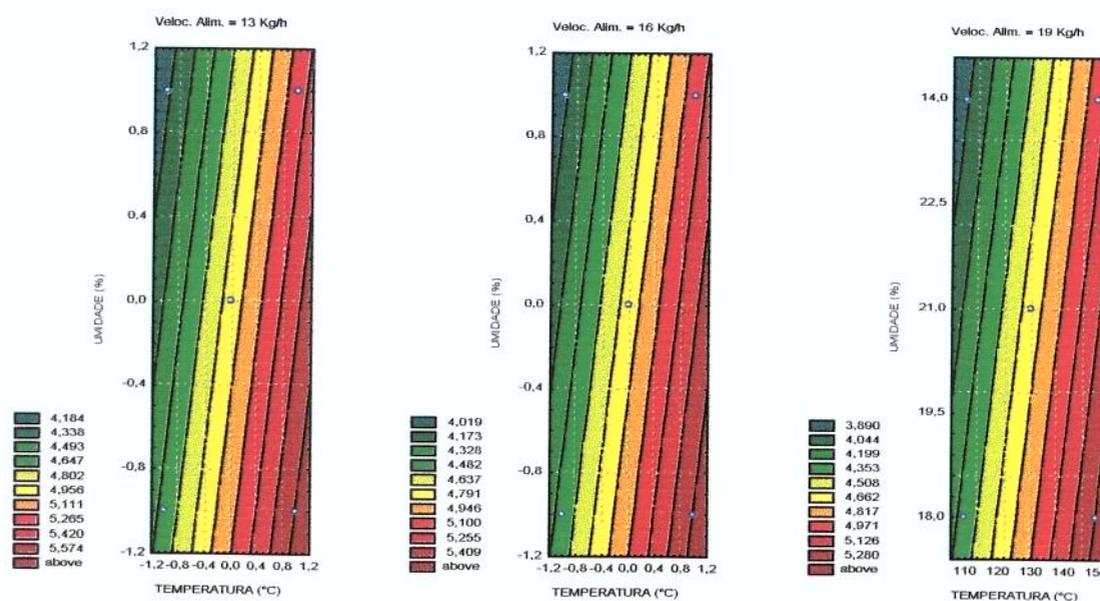


Figura 4.22.. Efeito da temperatura de extrusão (°C) e da umidade da mistura (%) sobre a **Absorção de Água (g água/g matéria seca)** das rações com 30% de substituição do farelo de soja pela soja integral. Com a velocidade de alimentação fixada em 13 kg/h, 16 kg/h e 19 kg/h

Pela análise dos gráficos observa-se que a AA aumentou com o aumento da temperatura de extrusão e diminuiu com o aumento da velocidade de alimentação e umidade da mistura. Os valores de AA variaram entre 4,18 a acima de 5,57 g água/g matéria seca para a velocidade de alimentação fixada em 13 kg/h, entre 4,02 a acima de 5,41 g água/g matéria seca para a velocidade de alimentação fixada em 16 kg/h, e entre 3,89 a acima de 5,28 g água/g matéria seca para a velocidade de alimentação fixada em 19 kg/h.

As rações com 48% de substituição do FS pela SI apresentaram um modelo simplificado ajustado para AA significativo ao nível de 0,09% ( $p=0,0009^{**}$ ). As variáveis que afetaram significativamente a AA foram a temperatura de extrusão e a velocidade de alimentação. O modelo explica 82,67% da variação do AA, possui um coeficiente de variação de 4,10%, e não apresenta falta de ajuste significativa ( $0,1095^{ns}$ ). Portanto, o modelo pode ser utilizado para fins preditivos.

A partir do modelo ajustado para o AA das rações com 48% de substituição do FS pela SI foram elaborados gráficos de superfície de resposta, tri e bidimensionais (Figura 4.23.).

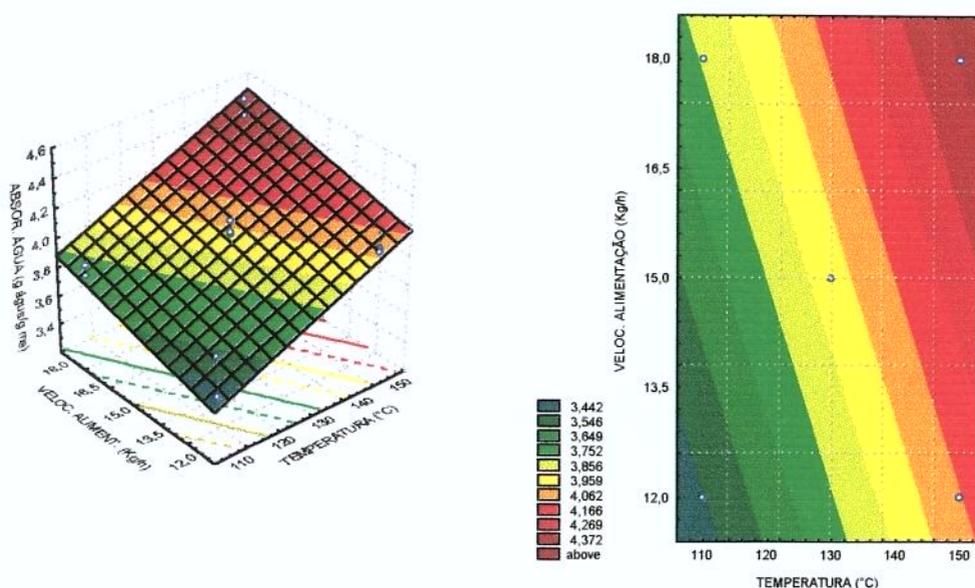


Figura 4.23. Efeito da temperatura de extrusão ( $^{\circ}\text{C}$ ) e da velocidade de alimentação ( $\text{kg/h}$ ) sobre a **Absorção de Água (g água/g matéria seca)** das rações com 48% de substituição de farelo do soja pela soja integral

Pela análise dos gráficos observa-se que com o aumento da temperatura de extrusão e a redução da velocidade de alimentação ocorre um aumento dos valores de AA. Os valores de AA variaram entre 3,44 e acima de 4,37 (g água/g matéria seca).

As rações com 74% de substituição do FS pela SI apresentaram um modelo completo para AA significativo ao nível de 0,07% ( $p=0,0007^{**}$ ). Todas as variáveis foram significativas para a AA. O modelo explica 90,12% da variação do AA e possui um coeficiente de variação de 3,01%. A falta de ajuste é significativa (0,0157), mas devido ao erro experimental ser muito pequeno, próximo de zero, a significância da falta de ajuste pode ser desconsiderada (BOX & DRAPPER, 1987). Portanto, o modelo pode ser utilizado para fins preditivos.

A partir do modelo ajustado para AA das rações com 74% de substituição foram elaborados três gráficos de superfície de resposta bidimensionais com a velocidade de alimentação fixada em 11, 14 e 17 kg/h (Figura 4.24.).

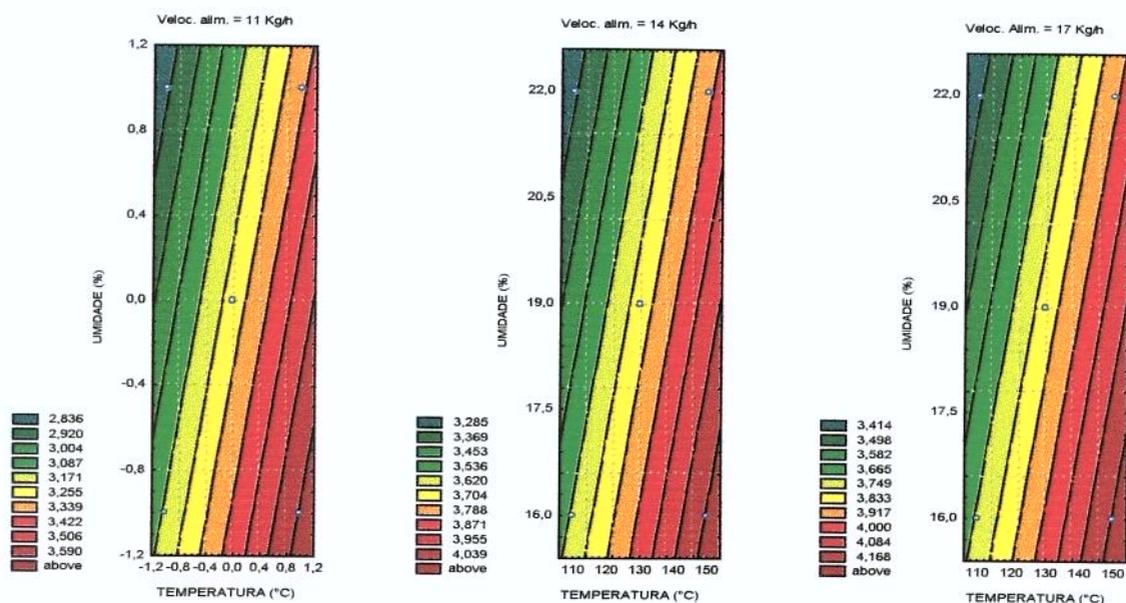


Figura 4.24. Efeito da temperatura de extrusão (°C) e da umidade da mistura (%) sobre a **Absorção de Água (g água/g matéria seca)** das rações com 74% de substituição do farelo de soja pela soja integral. Com a velocidade de alimentação fixada em 11 kg/h, 14 kg/h e 17 kg/h

Pela análise dos gráficos observa-se que a AA aumentou com a elevação da temperatura de extrusão e velocidade de alimentação e diminuiu o aumento da umidade da mistura. Os valores de AA variaram entre 2,84 a acima de 3,59 g água/g matéria seca para a velocidade de alimentação fixada em 11 kg/h, entre 3,28 a acima de 4,04 g água/g matéria seca para a velocidade de alimentação fixada em 14 kg/h, e entre 3,41 a acima de 4,17 g água/g matéria seca para a velocidade de alimentação fixada em 17 kg/h.

As rações com 100% de substituição do FS pela SI apresentaram um modelo completo para AA significativo ao nível de 0,20% ( $p=0,0020^{**}$ ). Todas as variáveis foram significativas para a AA. O modelo explica 86,47% da variação do AA, possui um coeficiente de variação de 3,36%, e não apresenta falta de ajuste ( $0,0509^{ns}$ ). Portanto, pode ser usado para fins preditivos.

A partir do modelo ajustado para AA das rações com 100% de substituição foram elaborados três gráficos de superfície de resposta bidimensionais com a velocidade de alimentação fixada em 10, 13 e 16 kg/h (Figura 4.25.).

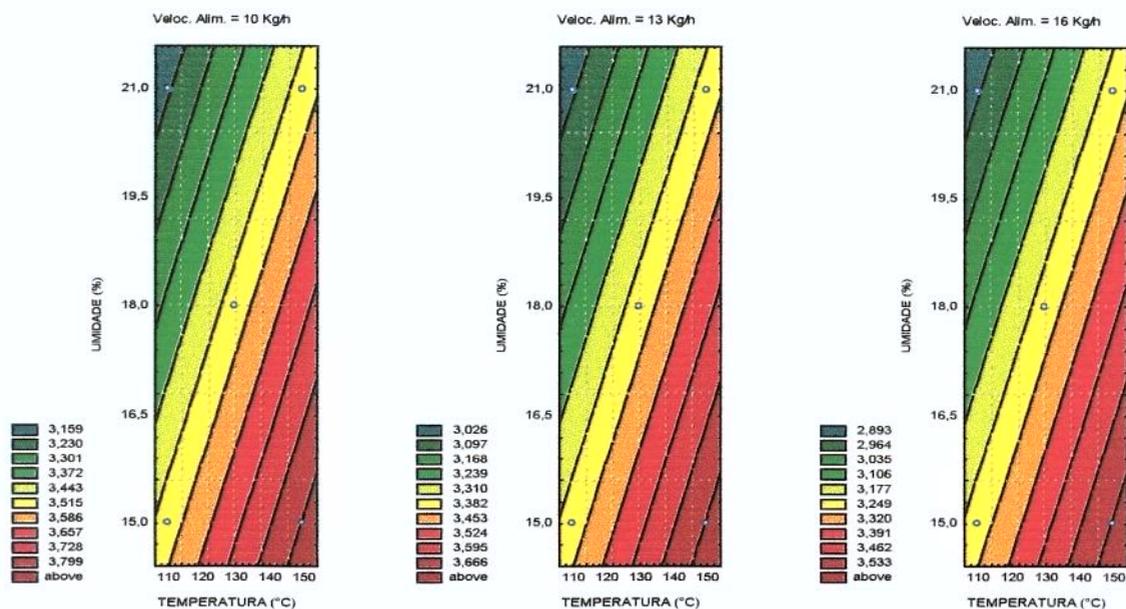


Figura 4.25. Efeito da temperatura de extrusão (°C) e da umidade da mistura (%) sobre a **Absorção de Água (g água/g matéria seca)** das rações com 100% de substituição do farelo de soja pela soja integral. Com a velocidade de alimentação fixada em 10 kg/h, 13 kg/h e 16 kg/h

Pela análise dos gráficos observa-se que a AA aumentou com a elevação da temperatura de extrusão e velocidade de alimentação e diminuiu o aumento da umidade da mistura. Os valores de AA variaram entre 3,16 a acima de 3,80 g água/g matéria seca para a velocidade de alimentação fixada em 10 kg/h, entre 3,03 a acima de 3,67 g água/g matéria seca para a

velocidade de alimentação fixada em 13 kg/h, e entre 2,89 a acima de 3,53 g água/g matéria seca para a velocidade de alimentação fixada em 17 kg/h.

Segundo HILTON et al. (1981), rações extrusadas, após um tempo de imersão de 10, 60 e 180 s, em água a 15°C, absorveram 47,4, 54,9 e 76,9 g de água para cada 100 g de ração. Neste trabalho, os valores de absorção de água das rações extrusadas experimentais, após 10 minutos de imersão, variaram entre 2,8 e 5,6 g água/ g de amostra (base seca).

Quando ocorre a gelatinização durante o processo de extrusão, o amido torna-se solúvel tanto em água quente como em fria, e absorverá grandes quantidades de água. O amido é o ingrediente mais importante em muitas formulações e contribui para a expansão e como agente ligante na coesão do produto final (WENGER, 1998). O índice de absorção de água (IAA) está diretamente relacionado com o grau de gelatinização de um amido. O amido nativo apresenta pequena absorção de água a frio, enquanto que um amido pré-gelatinizado apresenta valores relativamente mais altos. Amidos extrusados sob condições 'severas' possuem IAA mais baixos que amidos extrusados sob condições mais 'brandas', devido ao maior grau de degradação molecular que sofrem. Tipicamente, baixa umidade da matéria-prima e alta temperatura de extrusão aumentam o grau de cozimento. O cozimento durante a extrusão pode ser marcadamente influenciado por alguns ingredientes, tal como monoglicerídios, que inibem significativamente a gelatinização (MILLER, 1984; LINKO et al., 1989).

Neste trabalho, observou-se que, com o aumento da temperatura e/ou diminuição da umidade, ocorreu um aumento da absorção de água. Com o aumento do grau de substituição do FS pela SI, ou seja, com o aumento do teor de lipídios na formulação, o mesmo efeito da umidade e temperatura foi observado.

#### **4.4.6. Dureza**

A textura é considerada como parâmetro de extrema importância, afetando diretamente a aceitação ou a rejeição da ração pelo peixe. Ambos, textura e estabilidade afetam a taxa de difusão de materiais dissolvidos, concomitantemente à atratividade do grânulo para juvenis e adultos (Meyers & Zein-Eldin, 1972 citados por CANTELMO, 1998).

As médias dos resultados experimentais de dureza (D) das rações extrusadas, com diferentes níveis de substituição do FS pela SI, estão apresentados na Tabela 4.15.

Tabela 4.15. Médias dos resultados experimentais de **Dureza (gf)** das rações com diferentes níveis de substituição de farelo de soja (FS) por soja integral (SI)

ENSAIO	VARIÁVEL* independente			DUREZA (g-f)				
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	Nível de substituição do farelo de soja pela soja integral (%)				
				0	30	48	74	100
1	-1	-1	-1	2448	3048	3931	3980	4822
2	-1	-1	1	3850	5212	5029	7600	7802
3	-1	1	-1	3110	3610	2846	3897	5059
4	-1	1	1	4579	5997	6382	6637	8183
5	1	-1	-1	1046	1638	2649	2210	3052
6	1	-1	1	1836	2579	3773	4156	4482
7	1	1	-1	1368	1841	2077	2868	3520
8	1	1	1	2212	2747	3877	3470	4315
9	0	0	0	2686	2904	3890	4038	4374
10	0	0	0	2620	2843	3895	3856	4307
11	0	0	0	2692	2834	3851	3961	4283

\* valores codificados (ver Tabela 3.5 para observar os valores reais)

A Tabela 4.16. apresenta os modelos de regressão ajustados para dureza, as probabilidades destes serem significativos, os coeficientes de determinação, os coeficientes de variação e as probabilidades de falta de ajuste.

As rações controle (0% de substituição do FS pela SI) apresentaram um modelo completo para D significativo ao nível de 0,01% ( $p=0,0001^{**}$ ). Todas as variáveis foram significativas para a D. O modelo explica 97,29% da variação da D, possui um coeficiente de variação de 7,77%, e apresenta falta de ajuste significativa (0,0280\*). Portanto, não pode ser usado para fins preditivos, mas somente para verificar a tendência da resposta, devido a sua falta de ajuste.

Tabela 4.16. Modelos de regressão ajustados, significâncias dos modelo (p), coeficientes de determinação ( $R^2$ ), coeficiente de variação CV(%) e probabilidade do modelo apresentar falta de ajuste (FA) para **Dureza (gf)** das rações com diferentes níveis de substituição do farelo de soja pela soja integral

Nível de Subst. de FS por SI (%)	Modelo ajustado	p	$R^2$	CV	FA
0	$y=2586,09-940,62x_1+261,12x_2+563,12x_3$	0,0001	0,9729	7,7707	0,0280
30	$y=3204,82-1132,75x_1+799,75x_3$	0,0001	0,8897	15,2349	0,0456
48	$y=3836,36-726,50x_1+944,75x_3$	0,0005	0,8474	13,1853	0,0017
74	$y=4243,00-1176,25x_1+1113,50x_3$	0,0003	0,8712	14,6761	0,0161
100	$y=4927,18+1312,12x_1+1041,12x_3$	0,0004	0,8610	13,6590	0,0037

$x_1$  = temperatura de extrusão ( $^{\circ}$ C);  $x_2$  = velocidade de alimentação (kg/h);  $x_3$  = umidade (%)

A partir do modelo ajustado para D das rações controle foram elaborados três gráficos de superfície de resposta bidimensionais com a velocidade de alimentação fixada em 14, 17 e 20 kg/h (Figura 4.26.).

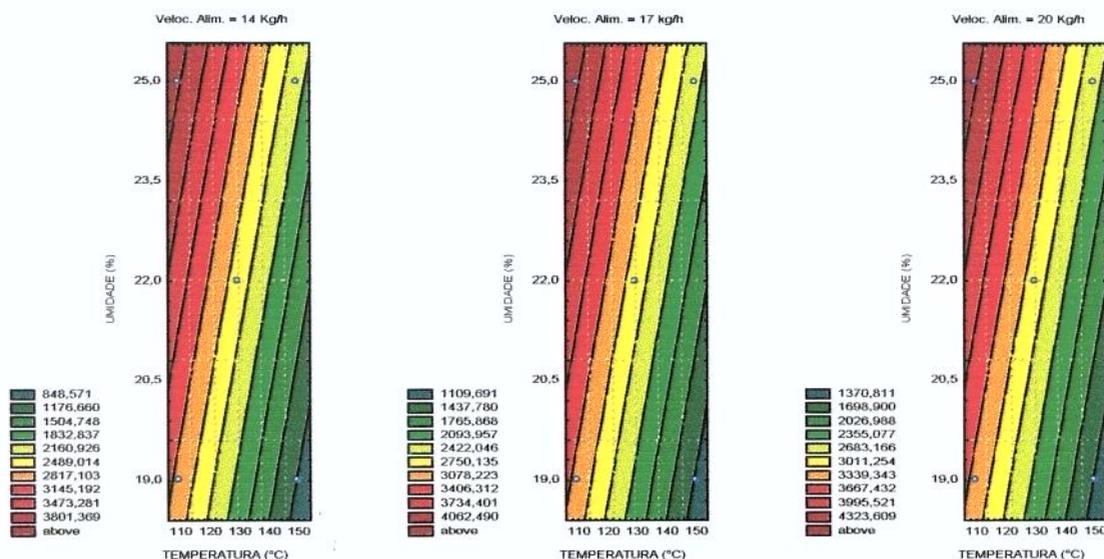


Figura 4.26. Efeito da temperatura de extrusão ( $^{\circ}$ C) e da umidade da mistura (%) sobre a **Dureza (gf)** das rações controle (0% de substituição do farelo de soja pela soja integral). Com a velocidade de alimentação fixada em 14 kg/h, 17 kg/h e 20 kg/h

Pela análise dos gráficos observa-se que D diminuiu com o crescimento da temperatura de extrusão e aumentou com a elevação da velocidade de alimentação e umidade da mistura. Os valores de AA variaram entre 849 a acima de 3801 gf para a velocidade de alimentação fixada em 14 kg/h, entre 1110 a acima de 4062 gf para a velocidade de alimentação fixada em 17 kg/h, e entre 1371 a acima de 4324 gf para a velocidade de alimentação fixada em 20 kg/h.

As rações com 30% de substituição do FS pela SI apresentaram um modelo simplificado ajustado para D significativo ao nível de 0,01% ( $p=0,0001^{**}$ ). As variáveis que afetaram significativamente D foram a temperatura de extrusão e a umidade da mistura. O modelo explica 88,97% da variação de D, possui um coeficiente de variação de 15,23%, e apresenta falta de ajuste (0,0456\*). Portanto, o modelo não pode ser utilizado para fins preditivos, mas somente para verificar a tendência das respostas, em função da sua falta de ajuste.

A partir do modelo ajustado para D das rações com 30% de substituição foram elaborados gráficos de superfície de resposta, tri e bidimensionais (Figura 4.27.).

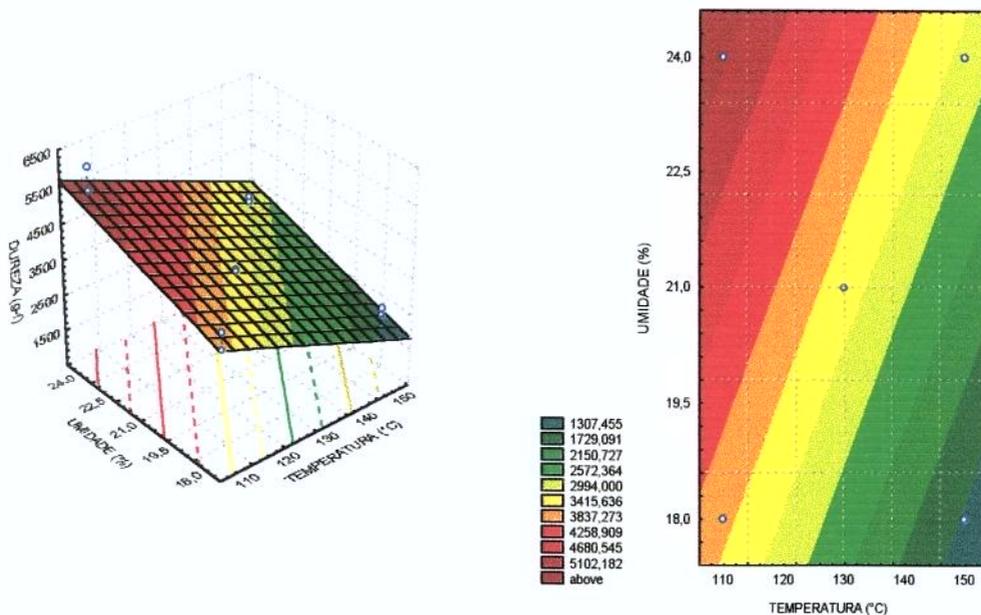


Figura 4.27. Efeito da temperatura de extrusão (°C) e da umidade da mistura (%) sobre a **Dureza (gf)** das rações com 30% de substituição de farelo do soja pela soja integral

Observa-se nos gráficos que a D diminui com o aumento da temperatura de extrusão e aumentou com a elevação da umidade da mistura. Os valores de D variaram entre 1272 e acima de 5137 gf.

As rações com 48% de substituição do FS pela SI apresentaram um modelo simplificado ajustado para D significativo ao nível de 0,05% ( $p=0,0005^{**}$ ). As variáveis que afetaram significativamente D foram a temperatura de extrusão e a umidade da mistura. O modelo explica 84,74% da variação de D, possui um coeficiente de variação de 13,19%, e apresenta falta de ajuste (0,0017 $^{**}$ ). Portanto, o modelo não pode ser utilizado para fins preditivos, mas somente para verificar a tendência das respostas, em função da sua falta de ajuste significativa.

A partir do modelo ajustado para D das rações com 48% de substituição do FS pela SI foram elaborados gráficos de superfície de resposta, tri e bidimensionais (Figura 4.28.).

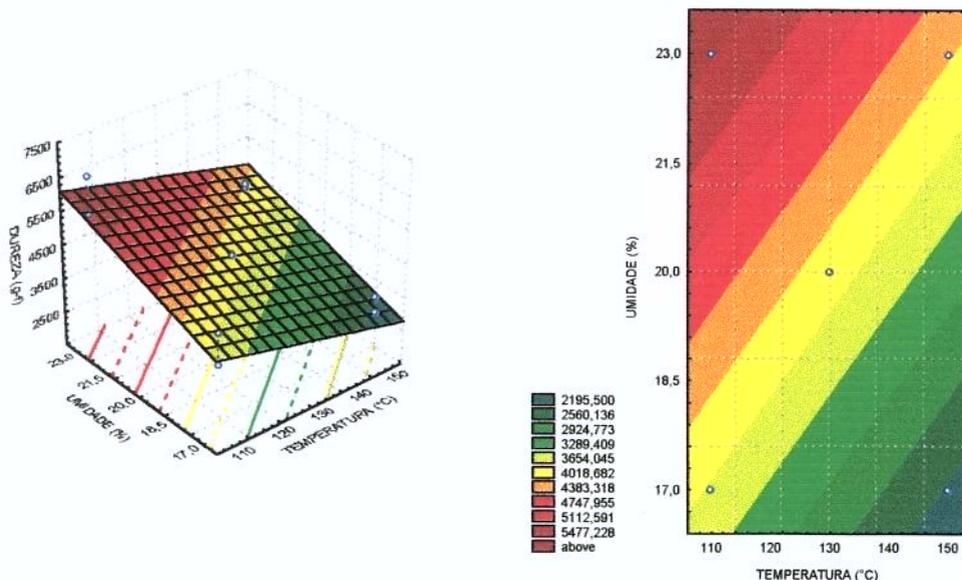


Figura 4.28. Efeito da temperatura de extrusão (°C) e da umidade da mistura (%) sobre **Dureza (gf)** das rações com 48% de substituição do farelo de soja pela soja integral

Pode-se observar que D diminui com o aumento da temperatura de extrusão e aumentou com a elevação da umidade da mistura. Os valores de D variaram entre 2165,11 e acima de 5507,61 gf.

As rações com 74% de substituição do FS pela SI apresentaram um modelo simplificado ajustado para D significativo ao nível de 0,03% ( $p=0,0003^{**}$ ). As variáveis que afetaram significativamente D foram a temperatura de extrusão e a umidade da mistura. O modelo explica 87,12% da variação de D, possui um coeficiente de variação de 14,68%, e apresenta falta de ajuste. Portanto, o modelo não pode ser utilizado para fins preditivos, mas somente para verificar a tendência das respostas, em função da sua falta de ajuste significativa.

A partir do modelo ajustado para D das rações com 74% de substituição do FS pela SI foram elaborados gráficos de superfície de resposta, tri e bidimensionais (Figura 4.29).

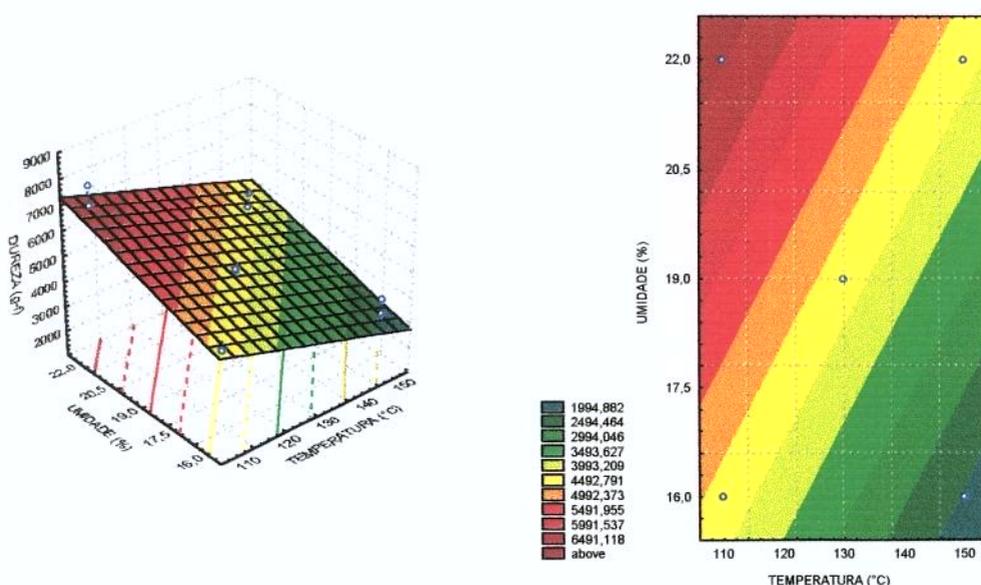


Figura 4.29. Efeito da temperatura de extrusão (°C) e da umidade da mistura (%) sobre **Dureza (gf)** das rações com 74% de substituição do farelo de soja pela soja integral

Pela análise dos gráficos observa-se que D diminui com a elevação da temperatura de extrusão e aumentou com o aumento umidade da mistura. Os valores de D variaram entre 1953 e acima de 6533 gf.

As rações com 100% de substituição do FS pela SI apresentaram um modelo simplificado ajustado para D significativo ao nível de 0,04% ( $p=0,0004^{**}$ ). As variáveis que afetaram significativamente D foram a temperatura de extrusão e a umidade da mistura. O modelo explica 86,10% da variação de D, possui um coeficiente de variação de 13,66%, e apresenta falta de ajuste (0,0037 $^{**}$ ). Portanto, o modelo não pode ser utilizado para fins preditivos, mas somente para verificar a tendência das respostas, em função da sua falta de ajuste significativa e de seu alto CV% (>10%).

A partir do modelo ajustado para D das rações com 100% de substituição do FS pela SI foram elaborados gráficos de superfície de resposta, tri e bidimensionais (Figura 4.30).

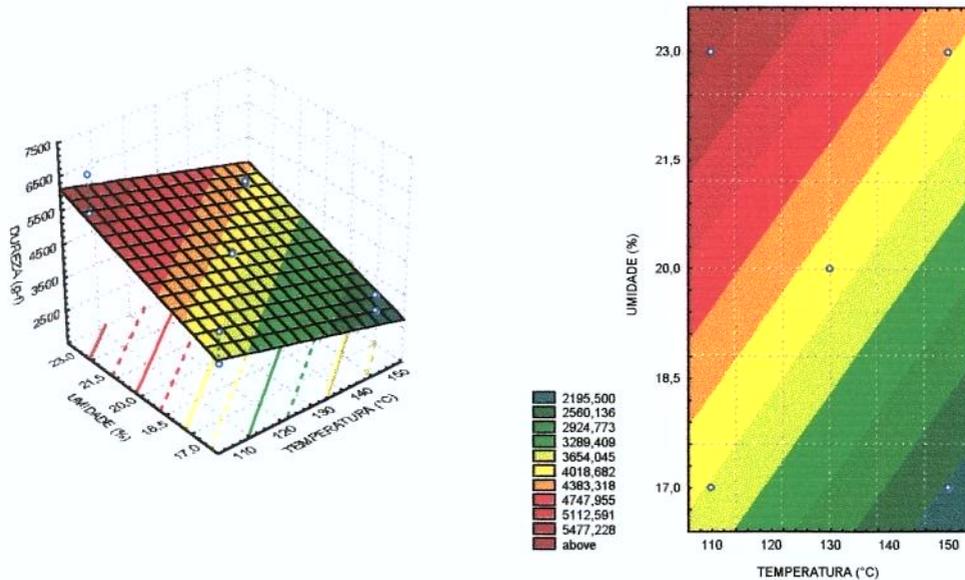


Figura 4.30. Efeito da temperatura de extrusão ( $^{\circ}\text{C}$ ) e da umidade da mistura (%) sobre **Dureza (gf)** das rações com 100% de substituição do farelo de soja pela soja integral

Pela análise dos gráficos observa-se que a D aumentou com a elevação da temperatura de extrusão e da umidade da mistura.

As respostas obtidas indicam que com o aumento de substituição do FS pela SI ocorreu um aumento de dureza das rações. A ração com 100% de substituição apresentou os valores de dureza maiores que as demais rações, enquanto que a ração com 0% de substituição apresentou os menores valores de dureza.

#### 4.5. DEFINIÇÃO DAS CONDIÇÕES DE EXTRUSÃO DAS RAÇÕES EXPERIMENTAIS

Observando os resultados das características físicas das rações extrusadas e base na também da literatura, foram adotados os valores de corte, ou seja, valores mínimos ou máximos mais apropriados dentro dos resultados obtidos em cada experimento. Esses valores limite estão na Tabela 4.17.

Tabela 4.17. Limites definidos como aceitáveis para a capacidade de flutuação (CF), peso específico aparente (PEA), índice de expansão radial (IER), perdas por lixiviação na água (PLA), absorção de água (AA) e dureza (D) das rações aquáticas experimentais com diferentes níveis de substituição do farelo de soja (FS) pela soja integral (SI)

Nível de substituição do FS pela SI	CF (h)	PEA (g/l)	IER	PLA (%)	AA (g água/g MS)	D (gf)
0	> 4	> 201,9	< 2,2	<0,10	<4,7	>3000
30	> 4	> 228,0	<1,9	<0,10	<4,7	>3000
48	> 4	> 265,8	< 1,6	<0,10	<4,7	>3000
74	> 2	> 288,3	<1,5	<0,10	<4,7	>3000
100	> 1	> 320,4	<1,3	<0,10	<4,7	>3000

Definidos os parâmetros físicos aceitáveis para cada nível de substituição do FS pela SI, foram elaborados 5 gráficos (um para cada nível de substituição). Estes gráficos foram obtidos através da sobreposição de gráficos de superfície de resposta bidimensionais, dos modelos ajustados que continham as variáveis temperatura de extrusão e umidade. Foi fixada a velocidade de alimentação no ponto central nos modelos onde as três variáveis afetaram a resposta. Com o objetivo de localizar uma região do gráfico que pudesse concatenar todas as características definidas como aceitáveis e, assim, determinar o valor das temperaturas de extrusão e umidade que foram usadas para processar as rações experimentais, fornecidas aos peixes no ensaio biológico.

A região hachuriada do gráfico da Figura 4.31. reúne as características físicas definidas na Tabela 4.17. para a ração controle.

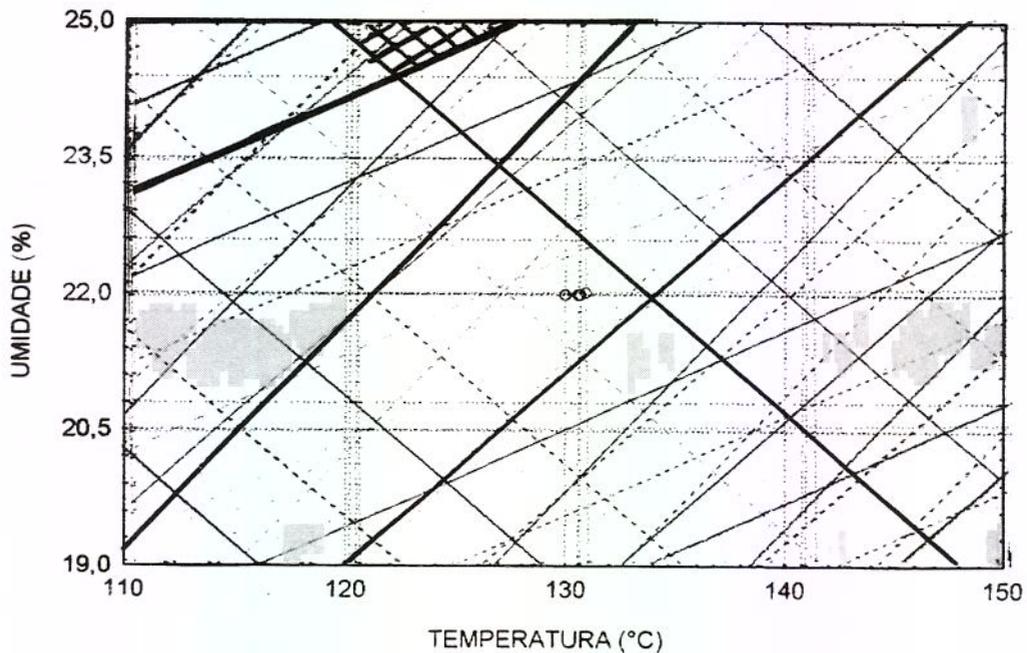


Figura 4.31. Sobreposição dos gráficos de peso específico aparente, índice de expansão radial, perdas por lixiviação na água, absorção de água e dureza para a ração controle

Foi dispensável a sobreposição do gráfico da CF aos demais, em função de que qualquer região deste situa-se acima do valor de 4 horas de flutuação.

A região hachuriada no gráfico da Figura 4.31. localiza-se ao redor do ponto de 120°C de temperatura de extrusão e 25% de umidade. Estas condições foram escolhidas para a produção da dieta experimental controle.

A região hachuriada do gráfico da Figura 4.32. reúne algumas características físicas definidas na Tabela 4.17. para a ração com substituição de 30% do farelo de soja por soja integral.

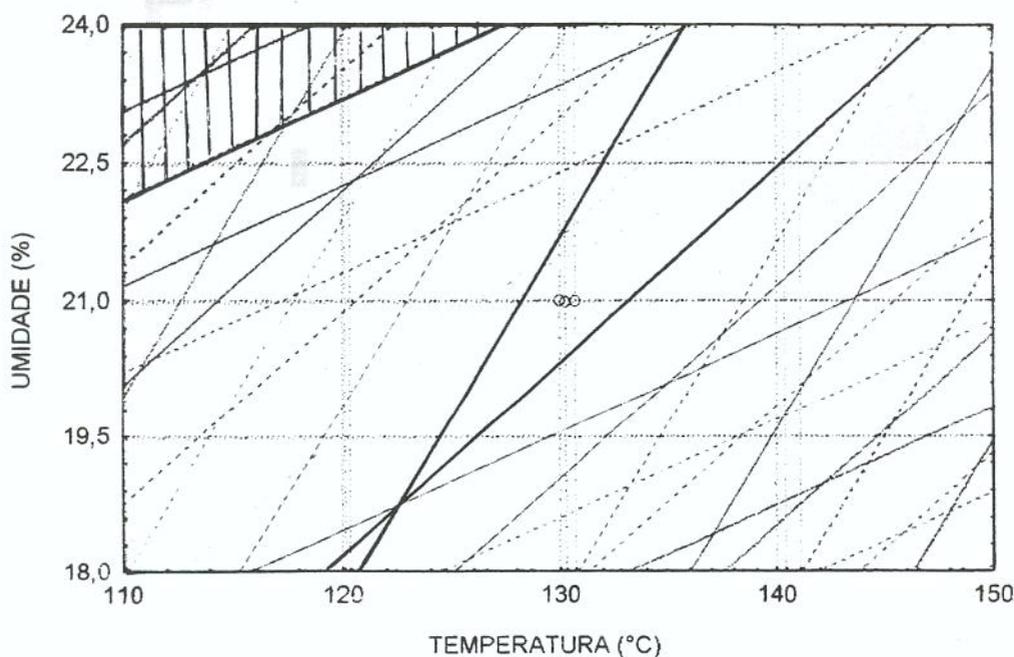


Figura 4.32. Sobreposição dos gráficos de peso específico aparente, absorção de água e dureza para a ração com 30% de substituição do farelo de soja pela soja integral

Foi dispensável a sobreposição do gráfico da CF aos demais, em função de que qualquer região deste situa-se acima do valor de 4 horas de flutuação (Figura 4.2). O gráfico do IER e da PLA não foram utilizados, pois nos modelos simplificados somente a variável temperatura de extrusão foi significativa ao nível de 5% de probabilidade (Tabelas 4.8. e 4.10.).

A região hachuriada localiza-se ao redor do ponto de 120°C de temperatura de extrusão e 24% de umidade. Estas condições foram escolhidas para a produção da dieta experimental com 30% de substituição do FS pela SI.

A região hachuriada do gráfico da Figura 4.33. reúne algumas características físicas definidas na Tabela 4.17. para a ração com substituição de 48% do farelo de soja pela soja integral.

Foi dispensável a sobreposição do gráfico da CF aos demais, em função de que qualquer região deste situa-se acima do valor de 4 horas de flutuação (Figura 4.3). O gráfico da AA não foi utilizado, pois no modelo simplificado a variável umidade não foi significativa ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 4.12.)

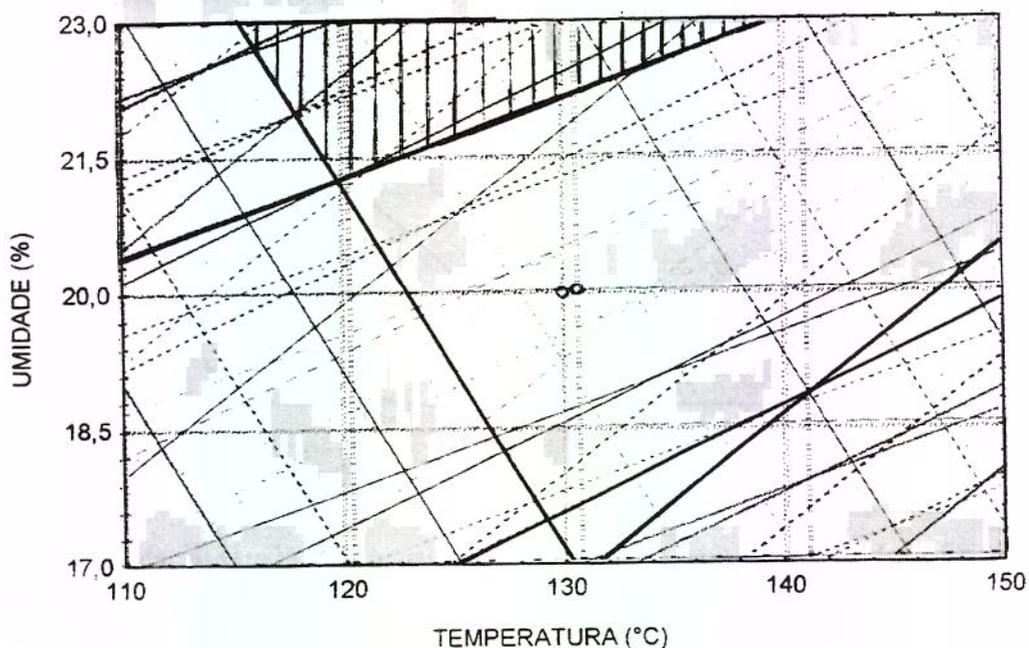


Figura 4.33. Sobreposição dos gráficos de peso específico aparente, índice de expansão radial, estabilidade na água, e dureza para a ração com 48% de substituição do farelo de soja pela soja integral

A região hachuriada localiza-se acima de 120°C e abaixo de 140°C, e ao redor de 23% umidade. As condições de 130°C e 23% de umidade foram utilizadas para a produção da dieta experimental com 48% de substituição do FS pela SI.

A região hachuriada do gráfico da Figura 4.34. reúne algumas características físicas definidas na Tabela 4.17. para a ração com substituição de 74% do farelo de soja pela soja integral.

Foi dispensável a sobreposição do gráfico da PLA e AA aos demais, em função de que qualquer região deste situa-se abaixo do valor de 0,10 % e 4,7 g água/g matéria seca respectivamente (Figuras 4.19 e 4.24).

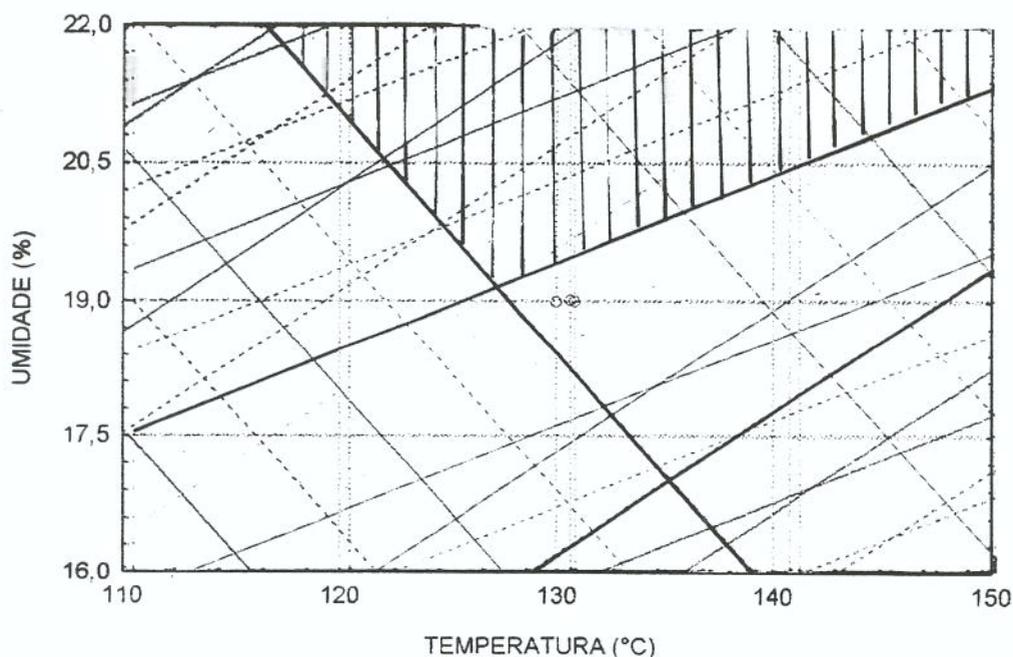


Figura 4.34. Sobreposição dos gráficos de peso específico aparente, índice de expansão radial e dureza para o nível de 74% de substituição do farelo de soja pela soja integral

O gráfico da CF não foi utilizado, pois no modelo simplificado a variável temperatura de extrusão não foi significativa ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 4.4.), porém dentro da região hachuriada deve-se escolher a menor umidade possível, para obter-se a maior CF.

A região hachuriada localiza-se acima de 120°C de temperatura de extrusão, e acima de 19% de umidade. Temperatura de extrusão de 130°C e 23% de umidade foram escolhidas para a produção da dieta experimental com 74% de substituição do FS pela SI.

A região hachuriada do gráfico da Figura 4.35. reúne algumas características físicas definidas na Tabela 4.17. para o nível de substituição de 100% do farelo de soja pela soja integral.

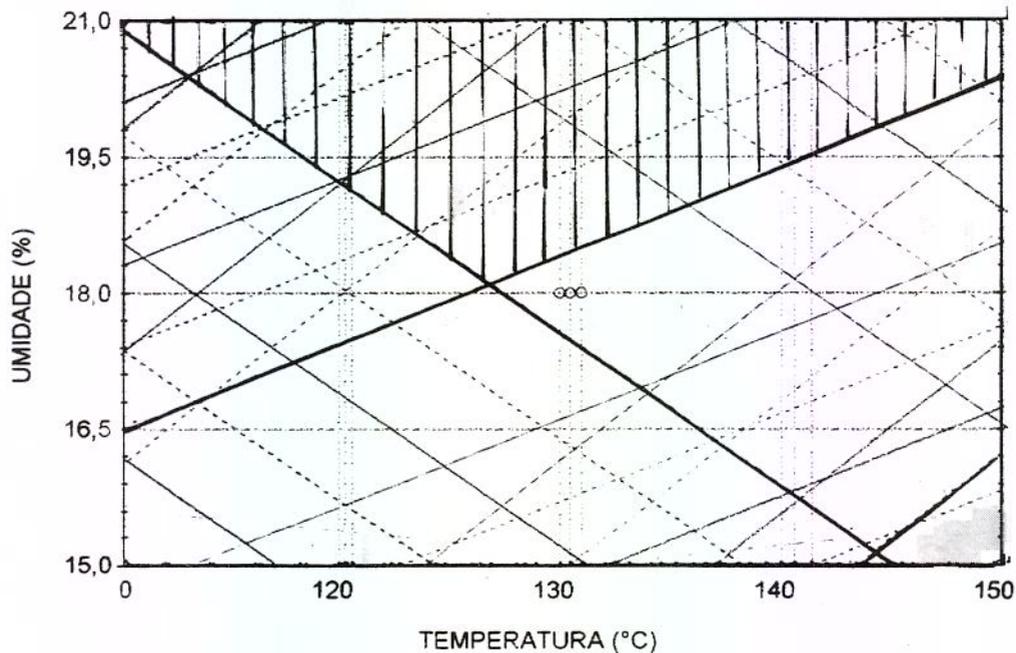


Figura 4.35. Sobreposição dos gráficos de peso específico aparente, índice de expansão radial e dureza para o nível de substituição de 100% de farelo de soja pela soja integral

Foi dispensável a sobreposição do gráfico da EA e AA aos demais, em função de que qualquer região destes situa-se abaixo do valor de 0,10 % e 4,7 g água/g matéria seca respectivamente (Figuras 4.20 e 4.25.). O gráfico da CF não foi utilizado, pois no modelo simplificado a variável temperatura de extrusão não foi significativa ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 4.3.). Porém dentro da região hachuriada deve-se escolher a menor umidade possível, para obter-se a maior CF (Tabela 4.3.).

A região hachuriada localiza-se acima de 18% de umidade. Portanto, as condições de 130°C de temperatura de extrusão e 18% de umidade foram escolhidas para a produção da dieta experimental com 100% de substituição do FS pela SI.

#### **4.6. ÍNDICE DE PERÓXIDO DAS RAÇÕES EXPERIMENTAIS ARMAZENADAS À TEMPERATURA AMBIENTE E SOB REFRIGERAÇÃO DURANTE 3 MESES**

No processo de oxidação, os radicais livres formados a partir de ácidos graxos insaturados reagem com o oxigênio para formar peróxidos, que servem como iniciadores de reações, produzindo numerosos subprodutos que promovem a decomposição da ração. Aldeídos, cetonas, ácidos, esterres e gorduras polimerizadas são produtos derivados dos processos de oxidação, que resultam na redução do valor energético, além de sabor e odor desagradáveis. Os peróxidos podem iniciar a oxidação e destruição de vitaminas, pigmentos e constituintes do sabor e aroma. Nas situações em que animais são forçados a consumir ração oxidada durante um período, estes podem desenvolver diferentes distúrbios ou problemas como diminuição do ganho de peso ou menor eficiência alimentar (CHURCH, 1991).

Os resultados de índice de peróxido das rações com diferentes níveis de substituição do farelo de soja pela soja integral armazenadas à temperatura ambiente (~25 °C) e sob refrigeração (~5 °C), durante 3 meses, estão apresentados na Tabela 4.18.

Segundo Mustakas et al. (1970) citado por GUTKOSKI (1997), os limites máximos de peróxidos para que sejam satisfeitos os requerimentos de estabilidade de extrusados são de 20 mmol/kg de óleo. Se considerarmos esse valor de corte para analisar as rações extrusadas com os diferentes níveis de substituição do FS pela SI, veremos que após 90 dias de armazenamento, todas as rações à temperatura ambiente e sob refrigeração apresentaram valores aceitáveis (Figura 4.36 e 4.37). Porém, pode-se observar que, aos 90 dias, ocorreu uma redução do índice de peróxido em todas as rações em relação aos 60 dias, com exceção das rações controle e com 30% de substituição do FS pela SI sob refrigeração que permaneceram até os 90 dias com índice de peróxido zero.

Tabela 4.18. Índice de peróxido das rações com diferentes níveis de substituição do farelo de soja pela soja integral armazenadas à temperatura ambiente (25°C) e sob refrigeração (5°C) durante 3 meses.

Nível de substituição do FS pela SI (%)	ÍNDICE DE PERÓXIDO mmol/kg						
	INICIO 22/12/98	30 DIAS 21/01/99		60 DIAS 22/02/99		90 DIAS 24/03/99	
		5 °C	T ambiente	5 °C	T ambiente	5 °C	T ambiente
		0	0,00	0	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0	5,68	0,00	11,87	0,00	5,36
48	0,00	0	3,87	1,32	9,15	0,00	3,89
74	0,00	0	8,35	1,79	10,66	0,50	6,27
100	0,00	0	9,48	4,52	19,77	1,64	9,31

Este fenômeno é explicado pela decomposição dos peróxidos e formação de substâncias secundárias da oxidação. Portanto, a partir dos 60 dias, o nível de oxidação das rações não pode ser explicado pela determinação do índice de peróxido nas demais rações. Segundo KUBITZA (1997) o ideal é não manter a ração estocada por mais de 30 dias, pois quanto mais fresco for o alimento melhor será sua qualidade nutricional.

Pode-se também observar uma tendência de aumento do índice de peróxido com o aumento do nível de substituição do farelo de soja pela soja integral na composição das rações. Este fenômeno deve ter ocorrido devido ao aumento do teor de gordura na composição da ração. Quanto maior a concentração de gordura na ração, maior a quantidade de substrato para a oxidação, resultando na formação de maior quantidade de peróxido, independente da temperatura de armazenamento.

Apesar deste detalhe, os valores de índice de peróxido obtidos (até 19,77 mmol/kg óleo) foram relativamente baixos. Talvez, porque as temperaturas de extrusão utilizadas no processamento das rações experimentais (ao redor de 120°C) não foram muito elevadas. Segundo

GUTKOSKI (1997), em temperaturas superiores a 120 °C os níveis de peróxidos aumentam rapidamente mostrando baixa estabilidade ao armazenamento dos produtos extrusados.

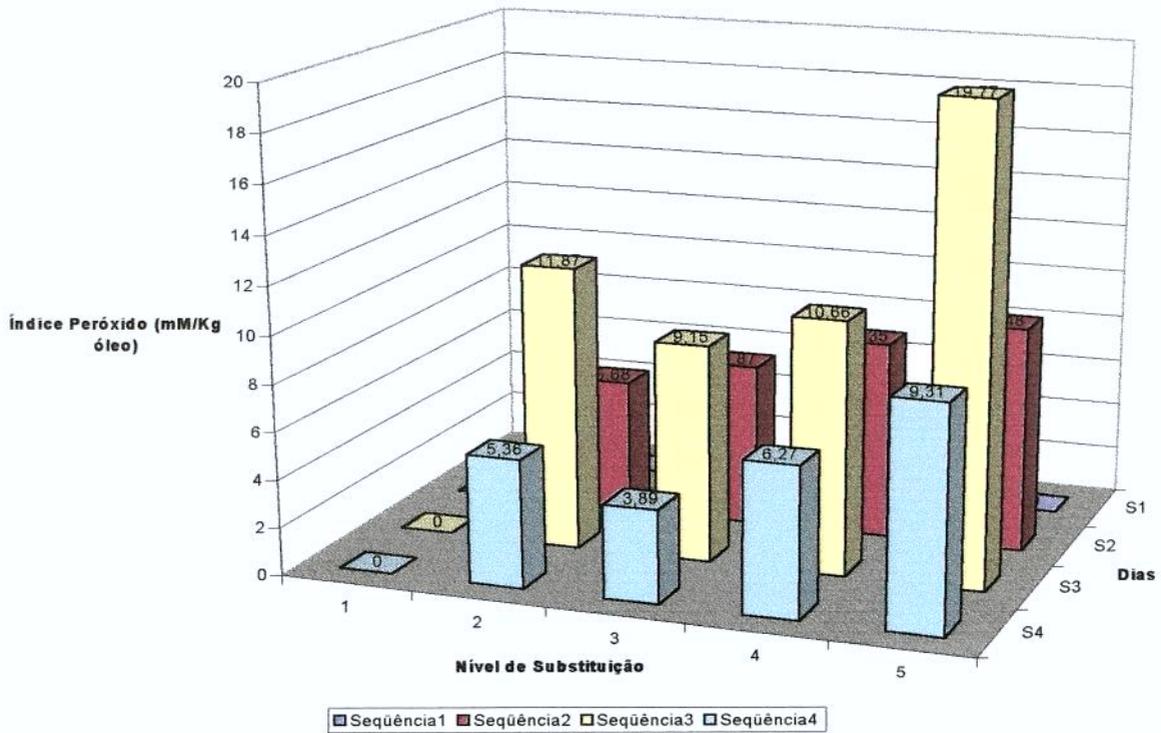


Figura 4.36. Índice de peróxido (mmol/kg de óleo) das rações experimentais armazenadas na temperatura ambiente (~25°C) aos 0, 30, 60 e 90 dias após a fabricação. (sequência S 1, 2, 3 e 4, respectivamente). Observação: o nível de substituição 1, 2, 3, 4 e 5 correspondem a 0, 30, 48, 78 e 100% de substituição do farelo de soja pela soja integral

Os índices de peróxidos obtidos das rações armazenadas sob refrigeração foram muito menores que as armazenadas à temperatura ambiente, pois o aumento da temperatura atua como catalizador da reação.

Durante a fabricação e armazenamento, os ingredientes são expostos aos efeitos degradativos do calor, da umidade, presença de oxigênio (exposição ao ar) e luz. O uso de antioxidantes, embalagens escuras e bem seladas, armazenamento em local de baixa umidade,

bem ventilado e de temperaturas amenas pode reduzir as perdas de vitaminas em função da oxidação em rações estocadas (KUBITZA, 1997).

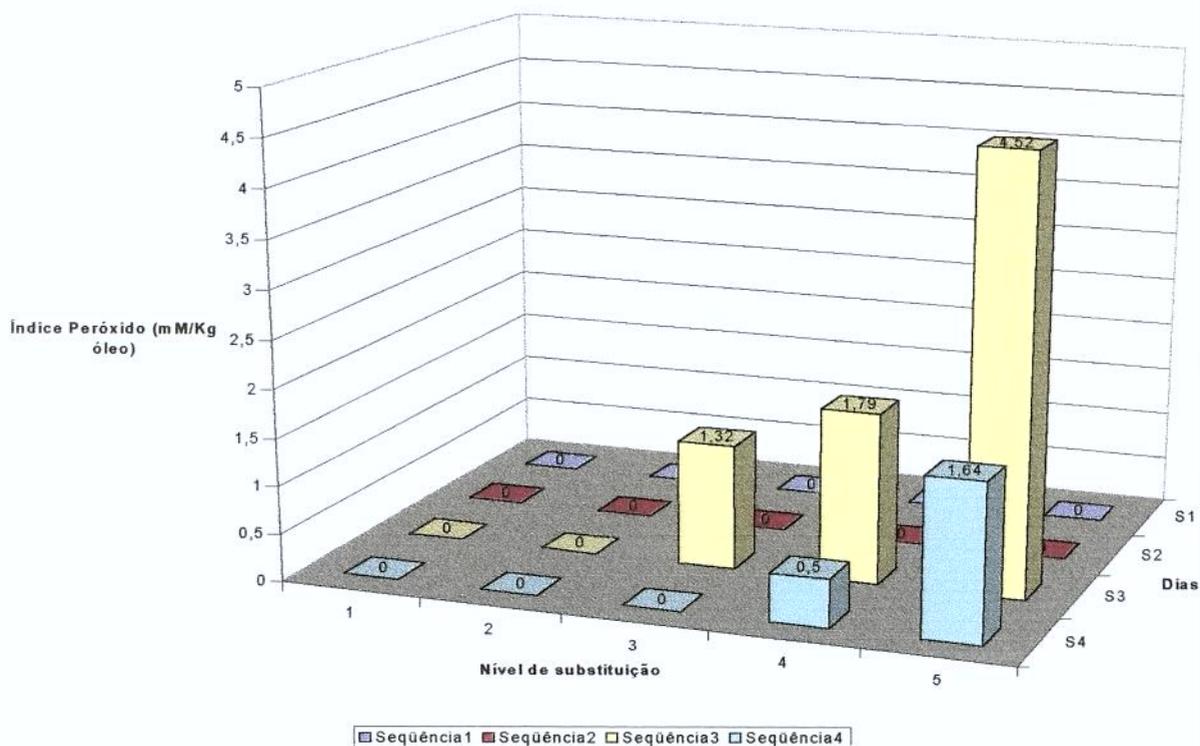


Figura 4.37. Índice de peróxido (mmol/kg de óleo) das rações armazenadas sob refrigeração ( $T \sim 5^{\circ}\text{C}$ ) aos 0, 30, 60 e 90 dias após a fabricação. (sequências 1, 2, 3 e 4, respectivamente). Observação: o nível de substituição 1, 2, 3, 4 e 5 correspondem a 0, 30, 48, 78 e 100% de substituição do farelo de soja pela soja integral

#### 4.7. CRESCIMENTO DOS PEIXES, CONSUMO E UTILIZAÇÃO DAS RAÇÕES

Na Tabela 4.19. encontram-se as médias de peso e comprimento total inicial e final, ganho de peso, percentagem de ganho de peso, incremento em comprimento, consumo de ração,

conversão alimentar, eficiência da proteína e sobrevivência dos juvenis de piavuçu submetidos às rações com níveis crescentes de substituição do FS pela SI ao final de 70 dias de experimento.

Tabela 4.19. Valores médios de comprimento inicial (cm), peso inicial (g), peso final (g), ganho de peso (g), ganho de peso (%), incremento em comprimento (cm), consumo aparente de ração (g/peixe), conversão alimentar, eficiência da proteína e sobrevivência (%) de juvenis de piavuçu (*Leporinus macrocephalus*) submetidos a rações com níveis crescentes de substituição do farelo de soja pela soja integral, durante 70 dias

	RAÇÃO				
	Nível de substituição do farelo de soja pela soja integral (%)				
	0	30	48	74	100
Comprimento inicial (cm)	7,30	7,30	7,30	7,30	7,30
Peso inicial (g)	5,06	5,06	5,06	5,06	5,06
Peso final (g) <sup>NS</sup>	52,35 <sup>a</sup>	59,39 <sup>a</sup>	60,64 <sup>a</sup>	62,44 <sup>a</sup>	70,07 <sup>a</sup>
Ganho de peso (g) <sup>NS</sup>	47,29 <sup>a</sup>	54,33 <sup>a</sup>	55,58 <sup>a</sup>	57,38 <sup>a</sup>	65,01 <sup>a</sup>
Ganho de peso (%) <sup>NS</sup>	934,63 <sup>a</sup>	1073,80 <sup>a</sup>	1098,50 <sup>a</sup>	1134,00 <sup>a</sup>	1284,75 <sup>a</sup>
Incremento em Comprimento (cm) <sup>NS</sup>	8,73 <sup>a</sup>	8,69 <sup>a</sup>	8,85 <sup>a</sup>	9,54 <sup>a</sup>	10,25 <sup>a</sup>
Consumo Aparente de Ração (g/px) <sup>NS</sup>	56,65 <sup>a</sup>	58,27 <sup>a</sup>	63,02 <sup>a</sup>	66,32 <sup>a</sup>	66,44 <sup>a</sup>
Conversão Alimentar <sup>NS</sup>	1,14 <sup>a</sup>	1,06 <sup>a</sup>	1,04 <sup>a</sup>	1,02 <sup>a</sup>	1,01 <sup>a</sup>
Eficiência da Proteína <sup>NS</sup>	3,00 <sup>a</sup>	3,24 <sup>a</sup>	3,36 <sup>a</sup>	3,18 <sup>a</sup>	3,34 <sup>a</sup>
Sobrevivência (%) <sup>NS</sup>	100,00 <sup>a</sup>	100,00 <sup>a</sup>	100,00 <sup>a</sup>	100,00 <sup>a</sup>	100,00 <sup>a</sup>

<sup>NS</sup> Não significativo (P<0,05). Letras sobretachadas diferentes significam diferença entre tratamentos

Em 70 dias os juvenis de *Leporinus macrocephalus* de 5,06 g atingiram pesos entre 52,35g (ração controle) e 70,07 (ração com 100% de substituição).

O crescimento, consumo de ração, conversão alimentar e taxa de eficiência protéica não foram afetados ( $P < 0.05$ ) pelo nível de substituição de farelo de soja por soja integral (Tabela 4.19).

Embora o nível de substituição do FS pela SI não tenha afetado ( $P < 0,05$ ) o ganho de peso percentual, o aumento na substituição do FS pela SI elevou linearmente a percentagem de ganho de peso. Esta tendência pode ser visualizada na Figura 4.36 e 4.37.

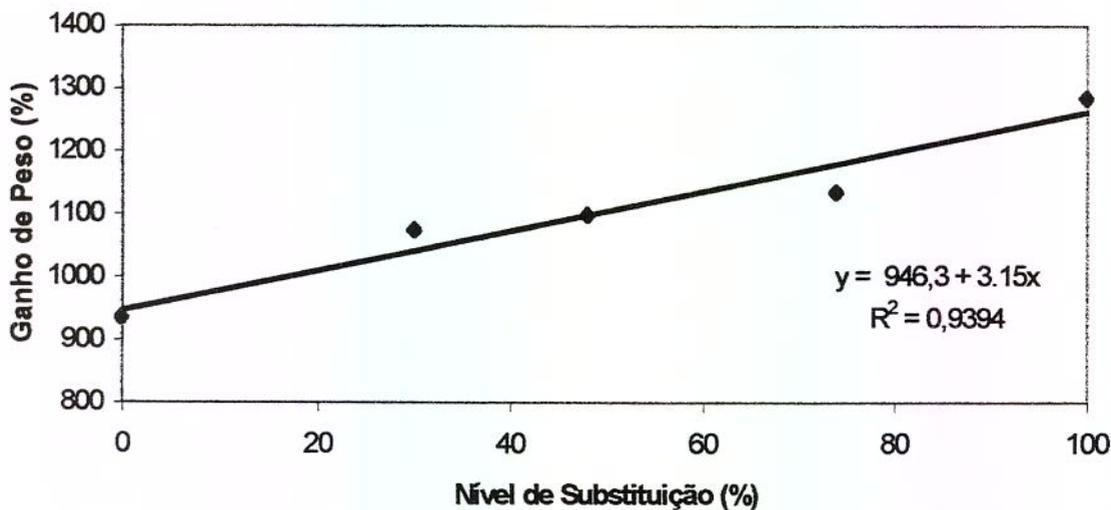


Figura 4.38. Porcentagem de ganho de peso de juvenis de piavuçu, em função do nível de substituição do FS pela SI nas rações, durante um período de 70 dias

A média da percentagem de ganho de peso para os peixes alimentados com a ração controle foi de 934.63%, enquanto a média foi de 1284.75% para a ração com 100% de substituição. Houve uma diferença de 37.46% a mais no ganho de peso dos piavuços alimentados com a ração com 100 de substituição em relação aos peixes alimentados com a ração controle.

Sugerindo, que a substituição total do FS por SI é viável e pode possibilitar a elevação do ganho de peso do piavuçu durante a fase de crescimento.



Figura 4.39. *Leporinus macrocephalus* alimentados com rações de diferentes níveis de substituição do farelo de soja pela soja integral após 70 dias.

Os dados de ganho de peso obtidos em laboratório neste experimento (apresentados na Tabela 4.19) superam as altas taxas de crescimento do *Leporinus macrocephalus* obtidas por SOARES (1997) e FURUYA (1998). Enquanto neste obteve-se um valor máximo de percentagem diária de ganho de peso de 18,35% (ração com 100% de substituição), os autores

citados obtiveram valores máximos de 9,2% de ganho de peso/dia. Esta diferença pode ser devida ao tamanho inicial dos peixes (em torno de 0,5 e 0,6 g) e, provavelmente, devido à melhoria no processamento das rações (peletização para extrusão) e também a uma melhoria na formulação das rações (maior valor energético e protéico) com a utilização da soja integral.

Os diferentes níveis de substituição do FS pela SI não afetaram ( $P < 0,05$ ) o consumo de ração. Mas verificou-se uma tendência de aumento do consumo de ração pelo piavuçu com o aumento do nível de substituição (Figura 4.38).

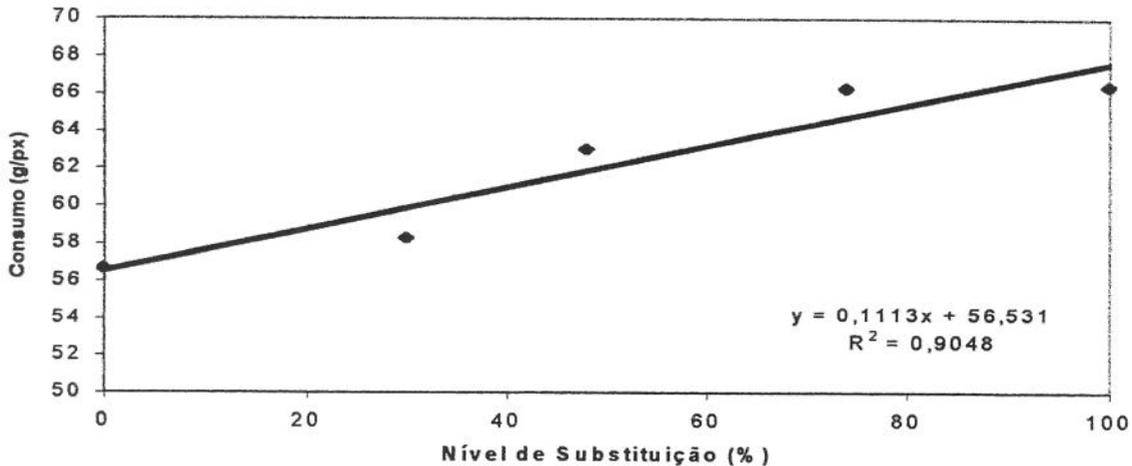


Figura 4.40. Consumo de ração (g/peixe) por juvenis de piavuçu, em função da substituição do FS pela SI, durante um período de 70 dias

O piavuçu alimentado com a ração controle consumiu em média 56,65g (base seca), enquanto que com a ração com 100% de substituição consumiu em média 66,44g. Estes dados sugerem que houve uma tendência da SI melhorar a palatabilidade da ração, possivelmente devido ao seu maior teor de gordura. Portanto, tornam-se evidentes as vantagens da substituição

do farelo de soja por soja integral, parcial ou totalmente, nas rações para piavuçu em crescimento, desde que estas sejam submetidas a um processamento adequado.

Os diferentes níveis de substituição do FS pela SI não afetaram significativamente ( $P < 0.05$ ) o incremento em comprimento dos juvenis de piavuçu. Mas verificou-se uma tendência de aumento do incremento em comprimento com o aumento da substituição (Figura 4.39).

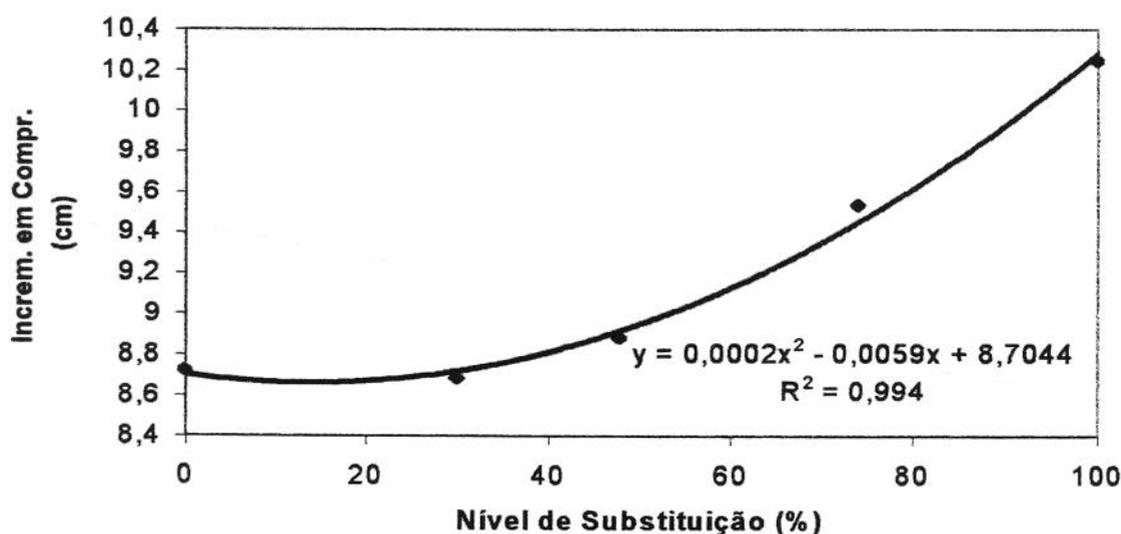


Figura 4.41. Incremento em comprimento (cm) por juvenis de piavuçu, em função da substituição do FS pela SI, durante um período de 70 dias

Os peixes alimentados com a ração controle cresceram em média 8,73cm, enquanto que os alimentados com a ração com 100% de substituição cresceram 10,25cm. Sugerindo ser viável substituir parcial ou totalmente o FS pela SI em relação ao incremento em comprimento do piavuçu em crescimento.

O nível de substituição do FS pela SI não afetou ( $P < 0,05$ ) a conversão alimentar da ração. O aumento na substituição do FS pela SI apontou para uma pequena redução da conversão alimentar da ração (Figura 4.42.).

A conversão alimentar variou entre 1,14 e 1,01. Independente do tratamento os níveis de conversão alimentar obtidos foram excelentes, indicando que a tecnologia de extrusão de dupla rosca utilizada na produção de ração representa realmente um grande avanço na área. Estes valores alcançados, provavelmente podem ser atribuídos à grande disponibilidade dos nutrientes, conferida pelo adequado processamento térmico e à qualidade nutricional da soja integral, farelo de soja, milho e demais aditivos utilizados.

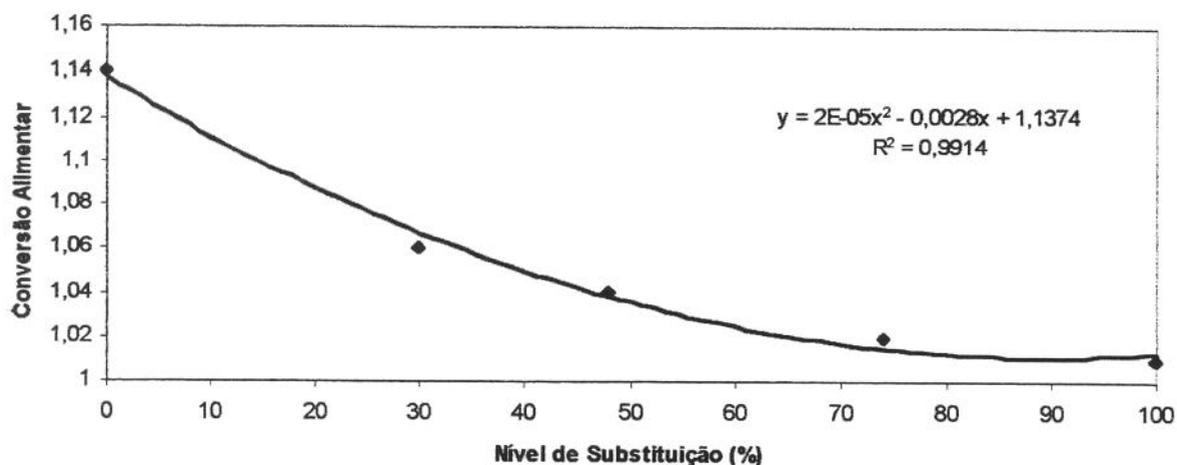


Figura 4.42. Conversão alimentar em função da substituição do FS pela SI nas dietas de juvenis de piavuçu, durante um período de 70 dias.

A taxa de eficiência protéica não foi afetada ( $P < 0,05$ ) pela substituição do FS pela SI. Porém os valores obtidos podem ser considerados muito bons e adequados ao crescimento dos juvenis de piavuçu.

A sobrevivência foi de 100% em todos os tratamentos, sugerindo que todas as rações foram adequadas à manutenção da vida do piavuçu.

A constatação de que os dados apresentados não diferiram entre os tratamentos, permite uma grande flexibilidade na substituição dos ingredientes referidos. No entanto, há evidências de que um aumento do nível de substituição do FS pela SI possa melhorar a performance zootécnica do piavuçu.

VIOLA & ARIELI (1983b) substituíram farelo de soja comercial em ração de carpa (*Cyprinus carpio*) por soja integral extrusada (FSI) e concentrado protéico de soja (CPS). Todas as rações testadas eram isoprotéicas e isoenergéticas com suplementação de metionina sintética. O concentrado protéico de soja e a soja integral não mostraram vantagem sobre o farelo de soja comercial com seu teor de óleo reconstituído ao nível do farelo semi-desengordurado. A reconstituição do teor energético com óleo desodorizado, tornou as rações isoenergéticas. Neste experimento o valor energético foi crescente com o aumento do nível de substituição do FS por SI, que não foi previamente extrusada. Porém em ambos trabalhos os resultados obtidos de crescimento e utilização da ração não diferiram significativamente ( $P < 0,05$ ) com o aumento da substituição dos ingredientes. Apesar de ter-se esboçado uma tendência de melhora do desempenho do piavuçu com o aumento do nível de substituição do FS pela SI. Já em um ensaio de ZEITLER et al. (1984) a melhor taxa de crescimento ( $P < 0,05$ ) foi obtida pela carpa quando alimentada com uma ração com um nível de energia maior, independentemente dos níveis de proteína.

HANLEY (1991) alimentou tilápias jovens, machos com rações contendo 5, 9 e 12% de lipídios. O aumento do nível de lipídio na ração não produziu efeito significativo sobre a taxa de crescimento, taxa de conversão alimentar e taxa de eficiência da proteína. O mesmo ocorreu neste trabalho, apesar de que o aumento do teor de lipídios sinalizar uma melhoria no ganho de peso do piavuçu e na conversão alimentar e taxa de eficiência protéica da ração.

EL-DAHAR & LOVELL (1995) observaram em experimento com rações purificadas para tilápia mozambique (*O. mossambicus*) que melhores ganho de peso e conversão da ração foram obtidos com o aumento da proteína na ração, enquanto que o aumento do nível de energia na ração aumentou a mortalidade. O nível de energia não afetou o ganho de peso. O aumento do

nível de energia na ração diminuiu o consumo e as rações com alta energia resultaram na diminuição da taxa de crescimento. A eficiência da utilização da proteína aumentou com a diminuição da proteína e com o aumento da energia. A razão P/E foi positivamente correlacionada com o ganho de peso, retenção de energia e consumo de ração e negativamente correlacionada com a taxa de conversão da ração, valor de proteína produtiva, razão de eficiência da proteína e mortalidade. O ganho de peso teve relação positiva com o consumo de ração. Enquanto que neste trabalho, o aumento da energia nas dietas para piavuçu não afetaram significativamente a mortalidade, o ganho de peso, a taxa de crescimento, o consumo de ração, conversão alimentar ou taxa de eficiência da proteína.

WEE & TUAN (1988) encontraram que a mortalidade de *O niloticus* aumenta linearmente de 5,56 a 36,51% quando a energia metabolizável da ração aumenta gradualmente de 12.8 para 15.4 kJg<sup>-1</sup> da dieta. Resultados similares com tilápia do Nilo foram encontrados por EL-DAHAR & EL-SHAZLY (1993). Neste trabalho, a taxa de mortalidade não foi afetada significativamente com o aumento do teor de energia das dietas.

ALVES et al. (1998) investigaram o efeito do aumento do nível de lipídios em dietas práticas (25,6% PB) sobre o crescimento inicial do pacu (*Piaractus mesopotamicus*), e observou-se que os diferentes teores de lipídios das rações influíram significativamente em todos os parâmetros de produção estudados ( $P < 0,01$ ), exceto no consumo de ração. O aumento do nível de energia bruta das rações melhorou as médias para ganho de peso, conversão alimentar, taxa de crescimento específico e taxa de eficiência protéica. As médias da taxa de eficiência protéica evidenciaram as vantagens da utilização de lipídios como fonte de energia não protéica, aumentando a utilização da proteína das rações para o crescimento dos peixes. Neste trabalho, com o aumento do nível de substituição do FS pela SI produziu-se um simultâneo aumento no teor energético das rações. Os teores de lipídios em ambos os trabalhos foram semelhantes, embora o teor de proteína tenha sido levemente superior neste trabalho. Os resultados obtidos com piavuçu concordam parcialmente com os resultados obtidos com pacu, pois, a tendência dos dados foi a mesma para o ganho de peso, conversão alimentar, incremento em comprimento, não obstante as dietas não terem diferido estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade. Já para o consumo de ração os resultados discordam, pois neste trabalho também houve uma tendência

para aumento do consumo com o aumento do teor energético da ração, o mesmo não ocorrendo com o pacu.

VAN DER MEER et al. (1997) verificaram o efeito do nível de lipídio sobre a utilização de proteína, tamanho e composição aproximada do corpo de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*). Observaram que o crescimento e a eficiência da utilização da proteína aumentou com o nível de lipídio da ração. Esta mesma tendência pode ser observada neste trabalho, embora não tenha ocorrido diferença estatisticamente significativa ( $p>0,05$ ) nestes parâmetros.

VIOLA & ARIELI (1983a) relataram que óleo suplementar na ração não produziu ganho em crescimento e utilização da ração pelas tilápias, em contraste a outros peixes como carpa, truta e bagre de canal americano que utilizam óleo suplementar rápido e eficientemente.

Os resultados deste trabalho não são conclusivos para a espécie piavuçu, pois existe tendência de aumento no crescimento e no ganho de peso do piavuçu com o aumento do nível de substituição do farelo de soja pela soja integral na ração, apesar destes resultados não diferirem significativamente. Portanto, mais trabalhos devem ser realizados, para esclarecer o efeito da substituição do farelo de soja pela soja integral sobre o ganho de peso e o crescimento do *Leporinus macrocephalus*. No entanto, o aumento da soja integral na formulação de rações extrusadas não afetou negativamente o crescimento, ganho de peso ou mortalidade do piavuçu. Provavelmente, porque durante o processamento das rações tenha ocorrido uma destruição total dos fatores anti-nutricionais presentes na soja crua.

#### 4.8. DIGESTIBILIDADE

Devido às dificuldades encontradas no ensaio de digestibilidade com o piavuçu, como a fluidez de suas fezes e o estresse apresentado em decorrência do manejo das gaiolas, foi possível apenas a coleta de material para análise da fração da proteína bruta (em duplicata).

Na Tabela 4.20, encontram-se apresentados os coeficientes de digestibilidade aparente da fração da proteína bruta, das cinco rações experimentais com piavuçu.

Tabela 4.20. Coeficientes de digestibilidade aparente (%) da fração proteína bruta das rações experimentais para piavuçu

	COEFICIENTE DE DIGESTIBILIDADE APARENTE				
	Nível de substituição do farelo de soja pela soja integral (%)				
	0	30	48	74	100
PROTEÍNA BRUTA*	92,66 <sup>A</sup>	94,79 <sup>AB</sup>	94,80 <sup>AB</sup>	93,72 <sup>AB</sup>	95,58 <sup>B</sup>

Obs. <sup>ns</sup> não sign. (P>0,05), \* sign (P<0,05), \*\* sign. (p<0,01) pela ANOVA, as letras sobrescritas diferentes significam tratamentos diferentes ao nível de 5% de probabilidade

A ração com 100% de substituição foi diferente (P<0,05) da ração controle, enquanto que as demais não diferiram entre si. A maior digestibilidade aparente foi alcançada pela ração com 100% de substituição do FS pela SI.

Os valores de digestibilidade aparente da proteína obtidos para as rações experimentais testadas com piavuçu, estão de acordo com os valores relatados para a digestibilidade aparente da proteína da soja para os peixes tropicais, que varia de 83 a 95% (KUBITZA, 1997). Apenas a dieta com 100% de substituição ultrapassou esta faixa, atingindo 95,58% de digestibilidade aparente.

Em função da impossibilidade da obtenção dos coeficientes de digestibilidade aparente para a fração extrato etéreo, matéria seca e proteína bruta em número de repetições adequado para as rações experimentais usando o piavuçu, utilizou-se a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).

Na Tabela 4.25. estão apresentados os coeficientes de digestibilidade aparente das frações matéria seca, extrato etéreo e proteína bruta dos cinco tratamentos com tilápia do Nilo.

Os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca das rações com níveis crescentes de substituição do FS pela SI para tilápia do Nilo foram 75,96%, 76,91%, 79,43%, 80,52% e 79,94% (Tabela 4. 21).

Tabela 4.21. Coeficientes de digestibilidade aparente (%) das frações matéria seca, extrato etéreo e proteína bruta, das rações com diferentes níveis de substituição do farelo de soja pela soja integral, para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

	COEFICIENTE DE DIGESTIBILIDADE APARENTE				
	Nível de substituição do farelo de soja pela soja integral (%)				
	0	30	48	74	100
MATÉRIA SECA*	75,96 <sup>A</sup>	76,91 <sup>AB</sup>	79,43 <sup>AB</sup>	80,52 <sup>B</sup>	79,94 <sup>AB</sup>
PROTEÍNA BRUTA*	89,09 <sup>A</sup>	89,73 <sup>AB</sup>	91,48 <sup>BC</sup>	93,24 <sup>CD</sup>	93,66 <sup>D</sup>
EXTRATO ETÉREO*	52,58 <sup>A</sup>	75,21 <sup>B</sup>	82,08 <sup>C</sup>	83,29 <sup>C</sup>	87,84 <sup>D</sup>

Obs. <sup>ns</sup> não sign. (P>0,05), \* sign (P<0,05), \*\* sign. (p<0,01) pela ANOVA, as letras sobrescritas diferentes significam tratamentos diferentes ao nível de 5% de probabilidade

Para a fração matéria seca, pode-se constatar que a ração com 74% de substituição do FS pela SI foi significativamente diferente (P<0,05%) da ração controle, enquanto que os demais tratamentos não diferiram entre si.

PEZZATO et al. (1988), trabalhando com a tilápia do Nilo, obtiveram valores de digestibilidade para o farelo de soja de 87,0%, 95,2% e 94,6% respectivamente para matéria seca, proteína bruta e extrato etéreo, ligeiramente superiores aos obtidos pelas rações formuladas neste trabalho.

Para a fração proteína bruta, foram obtidos para os tratamentos controle, 30, 48, 74 e 100% de substituição do FS pela SI na ração com tilápia do Nilo os coeficientes de digestibilidade aparente de 89,09%, 89,73%, 91,48%, 93,24% e 93,66%, respectivamente (Tabela

4.25). A ração com 100% de substituição foi significativamente diferente ( $P < 0,05$ ) das demais, com exceção da ração com 74% de substituição. A ração controle não diferiu da ração com 30%, que por sua vez não diferiu da ração com 48% de substituição. Esta também não diferiu da ração com 74% de substituição. Ocorreu tendência de aumento da digestibilidade da fração proteína bruta com o aumento da substituição do FS pela SI nas rações. As rações com 74 e 100% de substituição tiveram maior digestibilidade aparente da fração proteína.

O coeficiente de digestibilidade da proteína, em componentes de rações ricos em proteínas, variam normalmente entre 75 e 95% (NRC, 1993). A faixa dos valores de digestibilidade aparente da proteína obtidos para as rações experimentais neste trabalho estão dentro da faixa mencionada pelo NRC (1983).

HANLEY (1987) observou um coeficiente de digestibilidade da proteína do farelo de soja de 90,73% para tilápia do Nilo. FAGBENRO (1998) reportou uma digestibilidade aparente da soja integral de 88,5% ( $\pm 3,9$ ) para tilápia. Valores muito próximos aos obtidos neste trabalho.

A digestibilidade da proteína tende a diminuir com o aumento da concentração de carboidratos na ração (NRC, 1993). Este fato pode ser observado neste trabalho, aumentando o nível da SI na formulação, simultaneamente ocorreu uma diminuição do nível de milho nas formulações. Portanto, reduzindo o teor de carboidratos na ração ocorreu um aumento da digestibilidade aparente da proteína (Tabelas 4.20 e 4.21)

Para a fração extrato etéreo, foram obtidos, com o aumento do nível de substituição do FS pela SI, os coeficientes de digestibilidade aparente de 52,58%, 75,21%, 82,08%, 83,29% e 87,84%.

Segundo o NRC (1993), a gordura quando é administrada sozinha ou misturada na ração rotineiramente dá valores de digestibilidade para peixes entre 85 e 95%. As estimativas dos valores de digestibilidade para gorduras, entretanto, variam fortemente quando as concentrações na ração são baixas (SMITH et al., 1980).

Segundo KUBITZA (1997) o fator anti-trípsina é eliminado durante o processamento térmico do farelo de soja ou durante a extrusão do grão de soja. Portanto, pode-se inferir que este fator tenha sido inativado durante a extrusão das rações experimentais e, mesmo que não tenha

ocorrido em sua totalidade não foi suficiente para causar efeitos deletérios significativos nos peixes estudados, principalmente, se considerarmos os coeficientes de digestibilidade aparente obtidos neste trabalho.

Observa-se, portanto, que as três frações estudadas (MS, PB e EE) apresentaram uma tendência similar, ou seja, um aumento dos valores dos coeficientes de digestibilidade com o aumento do nível de substituição do FS pela SI. Fato que permite inferir uma provável ação melhoradora sobre a digestibilidade, quando do emprego de quantidades crescentes de soja integral na formulação das rações. Estes resultados permitem sugerir que a soja integral pode substituir até 100% o farelo de soja em rações extrusadas para tilápias e piavuçu, implicando em ganhos na digestibilidade da ração e tendo em vista a minimização dos custos consequentes desta prática.

#### **4.9. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CARÇA INTEIRA E LIMPA, GORDURA VISCERAL E DO FÍGADO DO PIAVUÇU**

As médias para a composição da carcaça do piavuçu no início do ensaio estão mostradas na Tabela 4.22.

Tabela 4.22. Composição da carcaça inteira de piavuçu no início do experimento de desempenho produtivo (matéria seca)

UMIDADE%	PB%	EE%	CINZAS%
91,96	63,70	8,04	13,13

A Tabela 4.23 mostra os teores médios de umidade, proteína bruta, extrato etéreo e cinzas das carcaça inteira e limpa, o teor de gordura no fígado e a quantidade de gordura visceral dos peixes alimentados com as diferentes rações.

Tabela 4.23. Teores de proteína bruta (PB%), extrato etéreo (EE%) e matéria mineral (MM%) em matéria seca (m.s.) das carcaças inteiras e limpas, EE% do fígado e quantidade de gordura visceral (GV) dos piavuços alimentados com rações com níveis crescentes de substituição do FS pela SI

	Nível de substituição do FS pela SI (%)				
	0	30	48	74	100
<b>CARCAÇA INTEIRA</b>					
PB%** (CV=4.16)	56,09 <sup>a</sup>	52,08 <sup>ab</sup>	53,34 <sup>ab</sup>	51,44 <sup>ab</sup>	48,62 <sup>b</sup>
EE%** (CV=8.81)	29,75 <sup>b</sup>	37,30 <sup>a</sup>	36,87 <sup>ab</sup>	40,11 <sup>a</sup>	42,45 <sup>a</sup>
MM%* (CV=8.32)	9,54 <sup>a</sup>	8,28 <sup>ab</sup>	9,25 <sup>ab</sup>	8,75 <sup>ab</sup>	7,72 <sup>b</sup>
U% <sup>ns</sup> (CV=1.65)	83,81 <sup>a</sup>	82,89 <sup>a</sup>	82,15 <sup>a</sup>	83,21 <sup>a</sup>	82,20 <sup>a</sup>
<b>CARCAÇA LIMPA</b>					
PB% <sup>ns</sup> (CV=3.11)	68,04 <sup>a</sup>	66,34 <sup>a</sup>	66,54 <sup>a</sup>	65,86 <sup>a</sup>	64,62 <sup>a</sup>
EE% <sup>ns</sup> (CV=8.88)	23,69 <sup>a</sup>	24,36 <sup>a</sup>	25,53 <sup>a</sup>	26,32 <sup>a</sup>	27,77 <sup>a</sup>
MM%* (CV=8.82)	8,02 <sup>a</sup>	8,07 <sup>a</sup>	7,20 <sup>a</sup>	7,26 <sup>a</sup>	6,92 <sup>a</sup>
EE% FÍGADO* (CV=21.17)	25,26 <sup>ab</sup>	30,74 <sup>ab</sup>	33,21 <sup>a</sup>	21,15 <sup>b</sup>	19,88 <sup>b</sup>
GV (CV=26.34)	0,72 <sup>b</sup>	0,86 <sup>ab</sup>	1,10 <sup>ab</sup>	1,11 <sup>ab</sup>	1,32 <sup>a</sup>

Obs. <sup>ns</sup> não sign. (P>0,05), \* sign (P<0,05), \*\* sign. (p<0,01) pela ANOVA, as letras sobrescritas diferentes significam tratamentos diferentes ao nível de 5% de probabilidade

Todos os parâmetros da composição da carcaça inteira dos juvenis de piavuçu diferiram ( $P<0,01$ ) entre o início e o final do experimento. Ocorreu uma redução no teor de umidade e PB% e um aumento do teor de cinzas e principalmente do EE% da carcaça inteira. O que já era esperado, uma vez que normalmente a maioria das espécies apresentam esta tendência com o passar do tempo.

Segundo TIEWS et al. (1973), a composição da carcaça nas diferentes espécies tende a se alterar em ensaios nutricionais por períodos de tempo prolongados. Uma diminuição do teor de água e uma elevação do teor de gordura, com uma pequena modificação do teor de proteínas e minerais pode ser esperada durante o crescimento e com o aumento da idade. As condições ambientais, especialmente a temperatura da água, a intensidade de alimentação e a formulação de nutrientes têm influência forte sobre a composição da carcaça de peixes.

O nível de substituição do FS pela SI na ração do piavuçu, não alterou ( $P<0,05$ ) o teor de umidade da carcaça inteira, que foi em média 82,85%. Porém, alterou o teor de PB% ( $P<0,01$ ), EE% ( $P<0,01$ ) e MM% ( $P<0,05$ ), apresentando valores de coeficientes de variação de 4,16; 8,81 e 8,32 respectivamente. O aumento do nível de substituição do FS pela SI ocasionou uma diminuição do teor PB% e MM%, e um aumento do EE% da carcaça inteira do piavuçu.

O teor de PB da carcaça inteira dos piavuçus tratados com a ração controle foi significativamente diferente ( $P<0,05$ ) da ração com 100% de substituição, apresentando valores de 56,09 e 48,62%, respectivamente, enquanto as demais não diferiram entre si.

O teor de cinzas da carcaça inteira dos piavuçus tratados com a ração controle diferiu ( $P<0,05$ ) da ração com 100% de substituição do FS pela SI, enquanto que as demais rações não diferiram entre si. O maior valor de MM% foi de 9,54 para a ração controle, enquanto as demais variaram entre 9,25 a 7,72%.

O EE% da carcaça inteira dos piavuçus tratados com a ração controle diferiu ( $P<0,05$ ) das dietas com 30%, 74% e 100% de substituição do FS pela SI, enquanto que a ração com 48% de substituição diferiu das demais. De todos os nutrientes da carcaça inteira o teor de gordura mostrou as maiores diferenças, variando de 29,75% a 42,45% dependendo do nível de substituição.

Já o nível de substituição do FS pela SI na ração, não alterou ( $P < 0,05$ ) o teor de PB% e EE% e MM% da carcaça limpa do piavuçu, que foram em média 66,28; 25,53 e 7,49%.

O teor de EE% do fígado de piavuçu foi influenciado ( $P < 0,05$ ) pelo nível de substituição do FS por SI nas rações, porém apresentou um elevado coeficiente de variação ( $CV = 21,17$ ). A ração com 48% de substituição foi diferente das rações com 74% e 100% de substituição do FS pela SI, e as rações controle e com 30% de substituição não foram diferentes das demais. O maior valor médio para EE% foi obtido no fígado do piavuçu alimentado com a ração de 48% de substituição (33,21%) e o menor para a ração com 100% de substituição (19,88%).

O peso da gordura visceral foi influenciado ( $P < 0,05$ ) pelo nível de substituição do FS por SI nas rações, porém também apresentou um elevado coeficiente de variação ( $CV = 26,34$ ). A ração controle foi diferente da ração com 100% de substituição, as demais não diferiram entre si. O aumento do nível de substituição do FS pela SI ocasionou um aumento do peso da gordura visceral. O valor médio de gordura visceral de piavuçu mais alto foi de 1,32g para a ração com 100% de substituição e o mais baixo foi de 0,72g para a ração controle.

Estes resultados indicam que o tecido muscular do piavuçu armazena gordura até um certo nível. A partir do estabelecimento deste, a gordura passa a ser armazenada nas vísceras, no fígado e na pele.

O teor de gordura dos ingredientes das rações para peixes normalmente é considerado o fator mais importante para influenciar o teor de gordura da carcaça. (BRUCKLEY & GROVES, 1979).

HANLEY (1991), observou, em um experimento com tilápias, que o aumento do nível de lipídios na ração não mudou significativamente o teor de umidade e proteína dos peixes, mas elevou significativamente o teor de lipídios na carcaça e nas vísceras, concluiu o autor que o excesso de energia proveniente da ração é depositado como gordura na carcaça e nas vísceras. As vísceras atuam como uma peneira para a gordura, que fica estocada em grandes depósitos, após o tecido muscular ter atingido sua capacidade de estoque. A adição de óleo suplementar à ração de tilápia pode resultar na produção de peixes gordos, uma situação que pode ser indesejável com a

incidência de altos níveis de gordura no filé de peixes criados, podendo provocar efeitos negativos no sabor, consistência e vida de prateleira do produto final.

As conclusões acima concordam com aquelas de VIOLA et al. (1988) que também observaram que as tilápias que receberam ração com óleo suplementar em relação às que receberam ração basal, somaram 40% de deposição de gordura a mais nas vísceras e nos tecidos musculares.

EL-DAHAR & LOVELL (1995) observaram que o teor de proteína e energia da ração não tiveram efeito sobre a proteína corpórea da tilápia mozambique após os 62 dias do experimento. A percentagem de umidade no corpo diminuiu e a gordura aumentou simultaneamente com o aumento da energia da ração. A proteína da carcaça não foi afetada pelo aumento da concentração de energia ou concentração de proteína das rações.

Tilápia e bagre de canal (PAGE & ANDREWS, 1973; MANGALIK, 1986) acumulam gordura no corpo com o redução da razão P/E. Alto teor de lipídeo no peixe alimentado com rações pode ser inaceitável para o consumidor.

ZEITLER et al. (1984) verificaram que um aumento no teor de proteína bruta de 41,3 para 51,4% na ração (base seca) não influenciou a composição da carcaça da carpa. Mas um aumento simultâneo no teor energético da ração de 18,3 para 20,1 MJ de energia disponível (ED/KgDM) influenciou todos os parâmetros estudados. Com a elevação do teor de gordura e energia da ração ocorreu um aumento do teor de lipídeo da carcaça, enquanto que os teores de água, cinzas e proteína diminuíram. De todos os nutrientes da carcaça, o teor de gordura mostrou as maiores flutuações, variando de 6,7 a 17,6%, dependendo do tratamento. A melhor taxa de crescimento foi obtido pela carpa quando alimentada com o mais alto nível de energia independentemente dos níveis de proteína, mas isto ocorreu em função da elevação do teor de gordura e diminuição do teor de proteína da carcaça.

No experimento de ECKHARDT et al. (1982), com carpas com peso vivo de aproximadamente 200-300 g, o aumento no suprimento de gordura de 0 a 18% na ração reduziu o teor de proteína bruta e elevou o teor de gordura da carcaça de carpa.

VAN DER MEER et al. (1997) verificaram o efeito do nível de lipídio sobre a composição aproximada do corpo de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*). Observaram que a praticabilidade da adição de lipídio extra à dieta é questionável, como para toda grama extra de deposição de proteína foi necessário substituir 20-25g dos carboidratos por lipídios da ração. Além do mais, com o aumento dos níveis de lipídios na ração ocorreu um aumento na deposição de lipídios no corpo. A dissecação do corpo em cabeça, vísceras e carcaça revelou que 45-48% dos lipídios do corpo foram armazenados na carcaça, independente da composição da ração. Uma relação positiva entre o nível do corpo e da ração foi confirmada no experimento.

Neste trabalho, os piavuços alimentados com as rações onde o FS foi substituído pela SI (elevação do teor de lipídios) apresentaram uma elevação significativa do teor de lipídios na carcaça inteira e de gordura visceral, mas não apresentaram uma elevação significativa ( $P < 0,05$ ) do teor de lipídios na carcaça limpa. Isto significa que, provavelmente, a capacidade de estoque de gordura do tecido muscular foi atingida. Portanto, as partes comestíveis do piavuçu não se tornaram significativamente mais gordas, porém houve uma pequena tendência para um aumento do teor de lipídios na carcaça limpa com o aumento de substituição do FS pela SI nas rações.

#### **4.10. COMPOSIÇÃO EM ÁCIDOS GRAXOS DO PIAVUÇU**

As rações experimentais possuíam como fonte lipídica apenas o óleo de milho e de soja, provenientes dos grãos utilizados nas suas formulações.

Segundo o NRC (1993) a composição aproximada de ácidos graxos do óleo de milho é de 10,9% de ácido palmítico, 1,8% de ácido esteárico, 24,2% de ácido oleico, 58% de ácido linoleico e 0,7% de ácido linolênico. Enquanto que o óleo de soja apresenta 0,1% de ácido mirístico, 10,3% de ácido palmítico, 0,2% de ácido palmitoleico, 3,8% de ácido esteárico, 22,8% de ácido oleico, 51% de ácido linoleico e 6,8% de ácido linolênico.

Na Tabela 4.24., estão apresentados a composição dos ácidos graxos da carcaça inteira antes e após os tratamentos do piavuçu com as diferentes rações experimentais.

Não foram encontrados na literatura valores relativos aos teores de ácidos graxos do piavuçu. Comparando-se com outros peixes de água doce, o pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e o tambaqui (*Colossoma macropomum*) são os que mais se assemelham, talvez por serem da mesma família *Characidae*. Os ácidos graxos encontrados em teores mais elevados nos juvenis de piavuçu foram o oleico e o palmítico. Estes ácidos graxos majoritários também foram observados por MAYA (1992) em pacu e tambaqui, por PEZZATO (1990) em pacu e por VIEGAS et al. (1995) em tambaqui.

Antes do tratamento, o piavuçu apresentou a seguinte ordem de ácidos graxos: ácido oleico (30,37%), ácido palmítico (23,69%), ácido linoleico (19,37%), ácido esteárico (7,00%), ácido palmitoleico (3,33%). Esta ordem se manteve após o tratamento com a ração controle e com a ração com 30% de substituição do farelo de soja pela soja integral, apesar de ter ocorrido uma elevação do teor de oleico em ambas.

Os piavucus alimentados com a ração com nível de substituição de 48% de farelo de soja por soja integral, tiveram invertida esta ordem de acúmulo, passando o linoleico para a segunda posição (28,45%) e o palmítico para terceira (19,38%), permanecendo o oleico em primeiro (33,94%). Outra alteração foi o ácido linolênico passar para o quinto lugar com 2,65% do total dos ácidos graxos da composição da carcaça de piavuçu.

Com 74% de substituição, a composição de ácidos graxos do piavuçu novamente se alterou, passando o ácido linoleico (32,61%) na frente do oleico (30,87%), seguido pelo palmítico (20,01%), esteárico (4,23%) e linolênico (2,81%). Esta mesma ordem foi mantida pelo piavuçu alimentado com a ração com 100% de substituição de farelo de soja por soja integral, no entanto ocorreu um aumento do teor de ácido linoleico (35,76%) e uma diminuição do palmítico (18,68%) e esteárico (4,12%).

Tabela 4.24. Composição média de ácidos graxos da carcaça inteira de piavuçu (%) antes e após o tratamento com as rações extrusadas com diferentes níveis de substituição do farelo de soja pela soja integral.

Ácidos graxos	Antes do tratamento	Após o tratamento - nível de substituição do FS pela SI (%)				
		0	30	48	74	100
C12:0	2,23	-	-	-	-	-
C14:0	1,63	0,98	0,80	0,67	0,67	0,60
C15:0	1,63	-	-	-	-	-
C16:0	23,69	24,63	21,41	19,38	20,01	18,68
C16:1	3,99	4,84	3,13	2,53	1,56	1,45
C16:2	-	0,17	0,14	0,16	0,32	0,27
C18:0	7,00	8,09	8,10	6,46	4,23	4,12
C18:1	30,37	45,26	38,72	33,94	30,87	30,64
C18:2	19,71	9,40	20,79	28,45	32,61	35,76
C20:0	0,90	0,13	0,17	0,29	0,72	0,86
C18:3 G	1,24	0,61	0,59	0,97	0,20	0,16
C18:3	1,42	1,59	1,95	2,65	2,81	2,51
C20:1	0,80	0,40	0,15	0,08	0,19	0,45
C20:2	0,50	0,37	0,52	0,59	0,65	0,28
C22:0	0,54	0,25	0,07	-	1,51	0,81
C20:3	0,53	0,93	1,18	1,41	1,04	1,38
C22:2	1,02	1,10	0,99	1,15	0,59	0,81
C22:5	1,40	0,12	0,25	0,21	0,29	0,31
C24:0	0,45	0,33	0,27	0,26	0,20	0,24
C24:1	0,44	0,50	0,46	0,51	0,58	0,50
C22:6	0,50	0,29	0,31	0,29	0,95	0,17

Estes dados indicam uma relação entre a ração e a composição em ácidos graxos da carcaça. Concordando com as observações feitas por Henderson (1987) de que a composição de ácidos graxos dos lipídios de peixes de água doce são marcadamente influenciadas pelo padrão de ácidos graxos e de seus lipídios dietários. Com o aumento da proporção de óleo de soja em relação ao óleo de milho (aumento do nível de substituição do farelo de soja pela soja integral) ocorreu um aumento dos ácido graxos insaturados (principalmente linoleico - n6) na carcaça de piavuçu e a diminuição dos ácidos graxos saturados.

Os teores de ácidos graxos poli-insaturados da família n3 (C22:5 e C22:6) foram pequenos na carcaça de piavuçu, como na maioria dos peixes de água doce criados em cativeiro.

## V. CONCLUSÕES

- O aumento da temperatura de extrusão e do nível de substituição do FS pela SI ocasionou uma redução da CF das rações experimentais. Até o nível de substituição de 74%, as rações obtiveram uma CF satisfatória para uma ração comercial, o que não ocorreu com as rações com 100% de substituição.
- O aumento da temperatura de extrusão e do nível de substituição do FS pela SI, com concomitante aumento dos lipídios e redução do amido nas formulações, ocasionou uma diminuição do peso específico aparente das rações experimentais.
- Com um aumento da temperatura de extrusão, umidade e nível de substituição do FS pela SI nas rações experimentais ocorreu uma diminuição do IER.
- Ocorreu uma tendência de diminuição das perdas por lixiviação na água pelas rações experimentais com a redução da temperatura de extrusão e elevação da umidade e do nível de substituição do FS pela SI.
- De maneira geral, pode-se notar uma diminuição da AA com a redução da temperatura de extrusão e aumento da umidade, velocidade de alimentação e nível de substituição do FS pela SI nas rações experimentais.
- Aparentemente ocorreu um aumento da dureza, com o aumento da umidade e nível de substituição do FS pela SI nas rações experimentais.
- É possível armazenar as rações até 90 dias sob refrigeração sem que ocorra alterações oxidativas. Armazenamento à temperatura ambiente pode elevar o índice de peróxido a 20 mmol/kg em até 60 dias.

- O ganho de peso, incremento em crescimento e consumo de ração pelos juvenis de piavuçu, assim como a conversão alimentar e eficiência de fixação de proteína não diferiram significativamente ( $P < 0,05$ ) entre as dietas com diferentes níveis de substituição do FS pela SI. Apesar disto, o aumento do nível de substituição apresentou uma tendência de melhoria destes parâmetros. Portanto, pode-se recomendar a substituição em até 100% do farelo de soja por soja "in natura" na elaboração de rações extrusadas.
- A digestibilidade das dietas experimentais foi altamente satisfatória, explicando os bons índices zootécnicos obtidos. A digestibilidade da matéria seca, proteína e extrato etéreo das rações aumentaram com o aumento do nível de substituição de farelo de soja por soja integral em tilápia do Nilo. A digestibilidade da proteína foi maior nas rações com 74 e 100% de substituição para piavuçu. O aumento dos coeficientes da digestibilidade aparente da matéria seca, extrato etéreo e proteína bruta, a medida que se elevou o nível de substituição do FS pela SI nas dietas, indica que os fatores antinutricionais presentes na soja integral não interferiram na digestão e absorção dos nutrientes.
- Aumento do nível de substituição de farelo de soja por soja integral nas dietas aumentou significativamente o teor de gordura e diminuiu o teor de proteína e minerais da carcaça inteira do piavuçu, mas não afetou o teor de gordura, proteína e minerais da carcaça limpa (esqueleto + partes comestíveis). Portanto, o piavuçu alimentado com a dieta com 100% de substituição de farelo por soja integral é adequado para o consumo humano, pois, não possui mais gordura que o alimentado somente com a dieta controle.
- O aumento do nível de substituição de FS por SI nas dietas, ocasionou um aumento dos ácidos graxos insaturados (principalmente o linoleico - n6) na carcaça dos juvenis de piavuçu, e uma diminuição dos saturados. Os teores de ácidos graxos polinsaturados da família n-3 foram baixos, independente do nível de substituição, confirmando esta característica dos peixes de água doce.

## VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIAN, I. F.; DÓRIA, C. R. C.; TORRENTE, G.; FERRETTI, C. M. Espectro alimentar e similaridade na composição da dieta de quatro espécies de *Leporinus* (Characiformes, Anostomidae) do rio Paraná (22°10'-22°50'S/53°10'-52°40'W), Brasil. **Revista UNIMAR**, v.16 (suplemento 3), p.97-106, 1994.
- ALVAREZ-MARTINEZ, L.; KONDURY, K. P. & HARPER, J. M. A general model for expansion of extruded products. **J. Food Sci.**, v.53, p.609-615, 1988.
- ALVES, J. M. C.; CARNEIRO, D. J.; MACEDO-VIEGAS, E. M. Níveis de lipídios em dietas para crescimento inicial do "pacu" *Piaractus mesopotamicus*. Resultados preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AQUICULTURA, 1998. Recife. **Resumos**. Recife:ABRAQ, 1998.
- AMERICAN SOYBEAN ASSOCIATION. 1998. Soy Stats. 1215 Woodcrest Executive Drive, Suite 100, St. Louis, MO, USA 63141.
- ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F. & GRIFFIN, J. E. J. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. **Cereal Sci. Today**, v.14, p.4-7, 11-12, 1969a.
- ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F. & GRIFFIN, J. E. J. Roll and extrusion cooking of grain sorghum grits. **Cereal Sci. Today**, v.14, p. 372-376, 1969b.
- ANFAL Extrusada x peletizada: conheça as diferenças. **Alimentação Animal**, v.3, n.8, p.14-15, 1998.
- ANFAL/SINDIRAÇÕES Perfil do mercado brasileiro. **Alimentação Animal**, São Paulo, folder, 1999.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis**, 15.ed. Washington: AOAC, 1990. 1298p.
- AOCS - American Oil Chemists' Society. **Official methods and recommended practices**, 3.ed. Champaign: AOCS, 1988.

- ARANGO, J. I. G. Nutrient stability of feed processed by extrusion and expander technology. In: IINTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANIMAL AND AQUACULTURE FEEDSTUFS BY EXTRUSION TECHNOLOGY. 1998 Águas de Lindóia: **Resumos**. Campinas: UNICAMP, 1998a. p.23.
- ARANGO, J. I. G. Stabilization of vitamin C in extruded feedstuffs. In: IINTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANIMAL AND AQUACULTURE FEEDSTUFS BY EXTRUSION TECHNOLOGY. 1998 Águas de Lindóia: **Resumos**. Campinas: UNICAMP, 1998b. p.24.
- AUSTRENG, G. Digestibility determination in fish using chromic oxide making and analysis of contents from different segments of gastrointestinal tract. **Aquaculture**, v.13, p.265-275, 1978.
- BADRIE, N. & MELLOWES, W. A. Texture and microstructure of cassava (*Manihot esculenta Cratz*) flour extrudate. **J. Food Sci.**, v.56, n.5, p.1319-1322, 1991.
- BARLOW, S. Fishmeal-world outlook to the year 2.000. **Fish Farmer**, sept-oct, p.40-43, 1989.
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas: UNICAMP, p.122. 1995.
- BASSO, M. C.; PEZZATO, L. E.; ROSA, G. J. M.; BARROS, M. M.; DEL CARRATORE, C. R. Comparação entre ingredientes empregados na confecção de dietas para organismos aquáticos – tempo de flutuação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AQUICULTURA, 7. Encontro brasileiro de patologia de organismos aquáticos, 2, 1992. Peruipe. **Anais**. Peruipe: ABRAq, 1995, p.30-36.
- BELLAVER, C. & SNIZEK, P. N. J. Processamento da soja e suas implicações na alimentação de suínos e aves. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA SOJA, 1999. Londrina. **Anais**. Londrina: EMBRAPA-Soja, 1999, p.183-199.
- BENEDETTI, B. C. Matérias primas agropecuárias, 1997. (Roteiros de aula prática da FEAGRI/UNICAMP).
- BHATTACHARYA, M. & HANNA, M. A. Effect of lipids on the properties of extruded products. **J. Food Sci.**, v.53, n.4, p.1230-1231, 1988.

- BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry Physiology**, vol.37, p.9117, 1959.
- BOONYARATPALIN, M.; SURANEIRANAT, P.; TUNPIBAL, T. Replacement of fish meal with various types of soybean products in diets for asian seabass, *Lates calcarifer*. **Aquaculture**, v.161, p.67-78, 1998.
- BOS, K. D.; STROUCKEN, W. J. J.; BOER, H. Effects on the chemical quality of feed. In: **Expander processing of animal feeds. Chemical, physical and nutritional effects**. A.F.B. Van der POEL (ed.). Wageningen. p. 21-30. 1997.
- BOX, G. P.; DYER, W. J. **Empirical model building and response surfaces**. New York: John Wiley and Sons, p.304-309. 1987.
- BOYD, C. E. **Water quality in warmwater fish ponds**, 3.ed. Auburn: Auburn University, 1984. 359p.
- BRENT, J. L. J. Principles of extrusion cooking technology. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANIMAL AND AQUACULTURE FEEDSTUFS BY EXTRUSION TECHNOLOGY. 1998 Águas de Lindóia. **Proceedings**. CHANG, Y. K. & WANG, S. S. (eds.). Lancaster: Technomic Publishing Co. 1999. p. 73-83.
- BUCKEY, J. T. & GROVES, T. D. D. Influence of feed on the body composition of finfish. In: HALVER, I. E.; TIEWS, K. **Finfish Nutrition and Fishfeed Technology, II**. Berlin: Heenemann Verlagsgesellschaft, 1979, p.335-344.
- CAMPOS, A. A. Contribuição do estudo das espécies brasileiras do gênero *Leporinus*. **Papeis Avulsos do Departamento de Zoologia**, v.5, n.16, p.141-158, 1945.
- CANTELMO, O. A. Características físicas e avaliação biológica de rações para peixes confeccionadas com diferentes aglutinantes e técnicas de processamento. Botucatu: UNESP, 1998. 65p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - FMVZ/UNESP, 1998.
- CASEY, J. Lecithin as an antioxidant for fats in animal foods. <http://www.centralsoya.com/censoya/censoya.nsf> 1998 consultado em 07 jan. 1998.

- CASEY, J. Lecithin as an emulsifiers in animal foods. <http://www.centralsoya.com/censoya/censoya.nsf> 1997 consultado em 07 jan. 1998.
- CASTAGNOLLI, N. **Piscicultura de água doce**. Jaboticabal: FUNEP, ...p, 1992.
- CHANG, Y. K. Efeito da concentração de ácido, umidade e temperatura na hidrólise de amido de mandioca por extrusão termoplástica, visando a produção de álcool. Campinas: UNICAMP, 1989. 183p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - FEA/UNICAMP, 1989.
- CHO, C. Y.; SLINGER, B. J. Significance of digestibility measurement in formulation of feeds for rainbow trout. EIFAC/78/SYMP. E/60, p.1-15, 1978.
- CHURCH, D. C. **Livestock Feeds and Feeding**, New Jersey: Prentice Hall, 3ed. 1991. 546p.,
- CLEXTRAL, INC., folder, 1998.
- COELHO, M. B. Comparasion with pelleting and extrusion: vitamin stability in expanders. **Feed Management**, v.45, n.8, p.10-12-15, 1994.
- COLONNA, P. & MERCIER, C. Macromolecular modifications of manioc starch components by extrusion cooking with and without lipids. **Carbohydrate Polymers**, v.3, p.87-108, 1983.
- COLONNA, P.; TAYEB, J. & MERCIER, C. Extrusion cooking of starch and starchy products. In: MERCIER, C.; LINKO, P. & HARPER, J. M. **Extrusion Cooking**. Saint Paul: A. A. C.C., Inc., p. 247-320, 1989.
- COLONNA, P.; DOUBLIER, J. L.; MELCION, J. P.; MONREDON, F.; MERCIER, C. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. I. Physical and macromolecule modifications. **Cereal Chemistry**, v.61, p.538-543, 1984.
- CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA 1999.
- CONWAY, H. F. Extrusion cooking of cereals and soybean. Part I. **Food Prod. Dev.**, v.5, n.2, p.27, 1971a.
- CONWAY, H. F. Extrusion cooking of cereals and soybean. Part II. **Food Prod. Dev.**, v.5, n.3, p.14, 1971b.

- CSÁVÁS, I. Fish culture research institute. In: SYMPOSIUM ON FINFISH NUTRITION AND FEED TECHNOLOGY, 1978. Szarus. **Proceedings**. Szarus: European Inland Fishing Advisory Comm, 1978. p.E/6.
- CYRINO, J. E. P.; GRYACHEK, J. M. B. A piscicultura como agroindustria no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE PEIXES. 1997. Piracicaba. **Anais**. Campinas:CBNA, 1997. p.1-30.
- DELINCÉ, G. **The ecology of the fish pond ecosystem with special reference to Africa**. Dordrecht: Kluwer, 230p. 1992.
- DIAS, E. R. A. Piscicultura no estado de São Paulo. **Boletim Informativo da Associação Brasileira de Patologistas de Organismos Aquáticos**, v.15, p.8-10, 1998.
- ECKHARDT, O.; BECKER, K.; GÜNTHER, K. D.; MESKE, C. H. Zum protein und Energiebedarf wachsender Spiegel-karpfen (*Cyprinus carpio L.*) II. Einfluss von Feltzulagen dei unterschiedlichen Protein-und Koblenhydratgehalten der Ration auf wachstum und korperzusammenseyzung. **Tierphysiol., Tierernähr, Fullermittelkd.**, v.47, p.186-196, 1982.
- EIRAS, J. C.; PAVANELLI, G. C.; SOUZA, J.<sup>a</sup>; TAKEMOTO, R. M.; PAIVA, M. J. T. R. Ocorrência de agentes com potencial patogênico em peixes de dois pesque-pague e uma piscicultura no norte do estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AQUICULTURA. 1998, Recife. **Anais**. Recife: ABRAq, 1998b. p.697-701.
- EL-DAHAR, A. A. & EL-SHAZLY, A. Effects of essential amino acids (methionine and lysine) and treated oil in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture and Fisheries Management**, v.24, p.731-739, 1993.
- EL-DAHAR, A. A. & LOVELL, R. T. Effect of protein to energy ratio in purified diets on growth performance, feed utilization and body composition of Mozambique tilapia, *Oreochromus mossambicus* (Peters). **Aquaculture Research**, v.26, p.451-457, 1995.
- EMBRAPA Peixes do Pantanal. Agenda 1999.

- EMBRAPA-CNPISA (Concórdia - SC). **Tabela de composição química e valores energéticos de alimentos para suínos e aves**, 3 ed. Concórdia: EMBRAPA, 1991. 97p.
- EVANS, A. J. Measurement of pellet quality in aquaculture feeds. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANIMAL AND AQUACULTURE FEEDSTUFFS BY EXTRUSION TECHNOLOGY. 1998 Águas de Lindóia. **Proceedings**. CHANG, Y. K. & WANG, S. S. (eds.). Lancaster: Technomic Publishing Co. 1999. p.219-228.
- FAGBENRO, O. A. Apparent digestibility of various legume seed meals in Nile tilapia diets. **Aquaculture International**, v.6, p.83-87, 1998.
- FAPRI. U. S. Agricultural Outlook, Food and Agricultural Policy Research Institute. Iowa State University and University of Missouri - Columbia, 1998. <http://www.fapri.missouri.edu/domi>.
- FAS-ONLINE. Oilseed Circulat Summary. Washington D C: U. S. Department of Agriculture, 1998. <http://www.fas.usda.gov.oilseeds/circular>.
- FAUBION, J. M. & HOSENEY, R. C. High-temperature short-time extrusion cooking of wheat starch and flour. I: Effect of moisture and flour type on extrudate properties. **Cereal Chem.**, v.59, n.6, p.529-533, 1982a.
- FAUBION, J. M. & HOSENEY, R. C. High-temperature short-time extrusion cooking of wheat starch and flour. II: Effect of protein and lipid on extrudate properties. **Cereal Chem.**, v.59, n.6, p.533-537, 1982b.
- FERRAZ DE LIMA, J. A. Recursos pesqueiros em ambientes inundáveis (Rio Cuiabá: Pantanal de Mato Grosso). IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ICTIOLOGIA. 1993. São Paulo. **Resumos**. São Paulo: Soc. Brasileira de Ictiologia/Instituto Oceanográfico - USP/ Instituto de Pesca, 1993, p.303-309.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. 1996. Aquaculture Production Statistics, 1985 - 1994. Fisheries Circular n° 815, Revision 8. Fishery Information, Data and Statistics Unit, FAO Fisheries Department, Rome, Italy.

- FURUKAWA, A. & TSUKAHARA, H. On the acid digestion method for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed. **Bull. Jap. Soc. Scient. Fish.**, Minato, v.32, n.6, p.502-506, 1966.
- FURUYA, V. R. B.; HAYASHI, C.; FURUYA, W. M.; BOSCOLO, W. R.; NAGAE, M. Y. Farelo de girassol na alimentação do "piavuçu" (*Leporinus macrocephalus*), na fase inicial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AQUICULTURA, 1998. Recife. **Resumos**. Recife: ABRAQ, 1998. p.29.
- FURUYA, W. M. Criação de espécies nativas (modulo VIII). In: Curso de atualização em piscicultura de água doce por tutoria à distância. Maringá: Departamento de Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá, 17p, 1996.
- GADIANT, M. & FENSTER, R. Stability of ascorbic acid and other vitamins in extruded fish feed. **Aquaculture**, v.124, n.4, p.207-211, 1994.
- GALLOWAY, G. I.; BILIADERIS, C. G. & STANLEY, D. W. Properties and structure of amylose-glycerol monostearate complex formed in solution on extrusion of wheat flour. **J. Food Sci.**, v.54, n.4, p.950-957, 1989.
- GARAVELLO, J. C. & BRITSKI, H. A. *Leporinus macrocephalus* sp. N. da Bacia do Rio Paraguai (Ostariophysi, Anostomidae). **Naturalia**, v.13, p.67-74, 1988.
- GHITTINO, P. The diet and general fish husbandry. In: HALVER, J. E. (ed.). **Fish nutrition**. New York: Academic Press, p.540-643, 1972.
- GODINHO, H. P. **Informe Agropecuário**, v.10, n.2, p.29-34, 1984.
- GOMEZ, M. H. & AGUILERA, J. M. A physicochemical model for extrusion of corn starch. **J. Food Sci.**, v.49, p.44-43, 1984.
- GRAIG, S. R.; GATLIN, D. M. Coconut oil and beef tallow, but not tricaprilyn, can replace menhaden oil in diet of red drum (*Sciaenops ocellatus*) without adversely affecting growth or fatty acid composition. **Journal of Nutrition**, v.125, n.12, p.3041-48, 1995.
- GUR, N. Innovations in tilapia nutrition in Israel. **Bamidgeh**, v.49, n.3, p.151-159. 1997.

- GUTKOSKI, L. C. Caracterização tecnológica de frações de Moagem de aveia (*Avena sativa*) e efeito de umidade e temperatura de extrusão na sua estabilidade. Campinas: UNICAMP, 1997. 241p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - FEA/UNICAMP, 1997.
- GUY, R. C. E. & HORNE, A. W. Extrusion and co-extrusion cereals. In: BLANSHARD, M. V.; MITCHELL, J. R. **Food Structures - Its Creation and Evaluation**. London: Butterworths, 1988. p.331-349.
- HAN, Y.; PARSONS, C. M.; HYMOWITZ, T. **Poultry Science**, v.70, p.896-906, 1991.
- HANLEY, F. Effects of feeding supplementary diets containing varying levels of lipid on growth, food conversion, and body composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). **Aquaculture**, v.93, 323-334, 1991.
- HANLEY, F. The digestibility of foodstuffs and the effects of feeding selectivity on digestibility determinations in tilapia *Oreochromus niloticus* (L.). **Aquaculture**, v.66, p.163-179, 1987.
- HANNA, M. A. Potential industrial non-food uses for soybeans. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA SOJA, 1999. Londrina. **Anais**. Londrina: EMBRAPA-Soja, 1999, p.239-243.
- HANSEN, L. J. Expected animal response to the quality of fullfat soya. In: International Fullfat Soya Conference, 2. 1996, Budapest. **Proceedings**. Saint Louis: american Soybean Association, 1996. p.83-88
- HARDY, R. W. Practical feeding – salmon and trout. In: LOVELL, T. **Nutrition and feeding of fish**. New York: AVI-Van Nostrand Reinhold, 1989. p.185-203.
- HARTMAN, L.; LAGO, R. C. Rapid determination of fatty acid methyl esters from lipids. **Laboratory Practice**, London, v.22, n.7, p.475-476 e 494, 1973.
- HEIJNEN, I. G. New concepts and trends in the feed industry. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO ANIMAL E TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE RAÇÕES. 1998. Campinas. **Anais**. Campinas:CBNA, 1998. p.169-180.
- HEINEN, J. M.; HANKIS, J. A.; SUBRAMANYAM, M. Evaluation of two higher-fat diets and lower fat diet for rainbow trout. **Journal of applied aquaculture.**, v.5, n.2, p.73-83, 1995.

- HENDERSON, R. J. & TOCHER, D. R. **Prog. Lipid Res.**, v.26, p.281, 1987.
- HERKELMAN, K. L.; CROMWELL, G. L.; CANTOR, A. H.; STAHLY, T. S.; PFEIFFER, T. W. **Poultry Science**, v.72, p.1359-1369, 1993.
- HILTON, J.W.; CHO, C. Y.; SLINGER, S. J. Effect of extrusion processing and steam pelleting diets on durability, pellet water absorption and the physiological response of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). **Aquaculture**, v.25, p.185-194, 1981.
- HILTON, J.W.; CHO, C. Y.; SLINGER, S. J. Factors affecting the stability of supplemental ascorbic acid in practical diets. **J. Fish. Res. Board Can.**, v.34, n.5, p.683-687, 1977.
- HOLMES, B. Quality control of raw material and finished products in fullfat soya production. In: Conference regional. 1987. Milan. MITA (P) NO. 1988 (v. AQ9). Saint Louis: American Soybean Association, 1988. <http://www.pacweb.net.sg/asa>, consultado em 07/01/1998.
- HUISMAN, J. & TOLMAN, G. H. Antinutritional factors in the plant proteins of diets for non-ruminants. In: GARNSWORTHY, W. R. & COLE, D. J. A. **Recent advances in animal nutrition**. London: Butterworth, 224p, 1992.
- IFT (INSTITUTE OF FOOD TECHNOLOGISTS). Taking the gamble out of product development. **Food Technology**, v.44, n.6, p.110-117, 1990.
- JAUNCEY, K. & ROSS, B. **A guide to tilapia: feed and feeding**. Stirling: Institute of Agriculture University of Stirling, 1982, 111p.
- JONES, P. L.; SILVA, S.S.; MITCHELL, B. D. Effects of replacement of animal protein by soybean meal on growth and carcass composition in juvenile australian freshwater crayfish. **Aquaculture International**, v.4, p.339-359, 1996.
- KEARNS, J. P. Ingredient consideration, preparation of feeds, selection of extrusion equipment and automatic controls of extrusion of pet and aquatic feeds. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANIMAL AND AQUACULTURE FEEDSTUFFS BY EXTRUSION TECHNOLOGY. 1998 Águas de Lindóia. **Proceedings**. CHANG, Y. K. & WANG, S. S. (eds.). Lancaster: Technomic Publishing Co. 1999. p. 97-105.

- KUBITZA, F. Qualidade do alimento, qualidade da água e manejo alimentar na produção de peixes. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE PEIXES. 1997. Piracicaba. **Anais**. Campinas:CBNA, 1997, p.63-101.
- KUBITZA, F.; CYRINO, J. E. P.; ONO, E. A. 1996. **Qualidade da água na produção de peixes**. Piracicaba: ESALQ, 42p.
- KUBITZA, F.; CYRINO, J. E. P.; ONO, E. A. Current status and future perspectives for commercial fish feeds in Brazil. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO ANIMAL E TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE RAÇÕES. 1998. Campinas. **Anais**. Campinas:CBNA, 1998. p.193-214.
- LEITE, M. C. Nova fronteiras de produção e o intermodal de transporte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA SOJA, 1999. Londrina. **Anais**. Londrina: EMBRAPA-Soja, 1999, p.51-67.
- LIMA, G. J. M. M. Importância da qualidade nutricional da soja e de seus subprodutos no mercado de rações: situação atual e perspectivas futuras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA SOJA, 1999. Londrina. **Anais**. Londrina: EMBRAPA-Soja, 1999, p.165-175.
- LINDSEY, D. Lecithin in animal feeds. <http://www.centralsoya.com/censoya/censoya.nsf>. 1998. Consultado em 07 jan. 1998.
- LINKO, P.; COLONNA, P.; MERCIER, C. High-temperature, short-time extrusion cooking. In: POMERANZ, Y. **Advances in cereal science and technology**. Saint Paul: AACC, 1981. V.4: p.145-235.
- LOVELL, R. T. **Nutrition and feeding of fish**. New York: Van Nostrand Reinhold. 1989. 259p.
- LOVELL, R. T. Use of soybean products in diets for aquaculture species. In: **Animal Nutrition Bulletin**. New York: American Soybean Association, 1984, p.1-6.
- LOVELL, R. T. & LIM, C. Vitamin C in pond diets for channel catfish. **Trans. Am. Fish Soc.**, v.107, n.2, p.321-325, 1978.

- LOVELL, T. How important is fish feed and nutrition? **Comm. Fish Farmer Aquacult. News**, v.7, n.4, 0.36-37, 1981.
- LOVSHIN, L. L. Freshwater fish culture in China, Israel and United States: Models for establishin a brazilian fish culture industry? In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE PEIXES. 1997. Piracicaba. **Anais**. Campinas:CBNA, 1997. p.31-44.
- LUNA, L. G. **Manual of histologic stainig methods of the Armed Forces Institute of Patology**. New York:Mac Graw-Hill, 1968. 258p.
- LUSAS, E. W. Principles of pet food and aquaculture feed production by cooking extrusion. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF FOOD EXTRUSION: PASTA AND EXTRUDED PRODUCTS, 1. 1995, Campinas. **Anais**. Campinas:UNICAMP, 1995. p13-14.
- LUSAS, E. W. replacement of animal proteins by defatted and full-fat soybean meals in aquaculture feeds. . In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANIMAL AND AQUACULTURE FEEDSTUFS BY EXTRUSION TECHNOLOGY. 1998 Águas de Lindóia. **Proceedings**. CHANG, Y. K. & WANG, S. S. (eds.). Lancaster: Technomic Publishing Co. 1999. p. 167-178.
- LYRIO, S. A. Estágio Supervisionado na Éffen Produtos Alimentícios - 1996. Não publicado.
- MAIA, E. EL. Otimização da metodologia para caracterização de constituintes lipídicos e determinação da composição em ácidos graxos e aminoácidos de peixes de água doce. Campinas, 1992. 242p. Tese (Doutor em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- MALKKI, Y.; KERVINEN, R.; OLKKU, J. & LINKO, P. Effects of monoglyceride during cooking extrusion of wheat flour. **MARCUSE. Fats (lipids) In: Baking and Extrusion Lipid Forum**, Goterborg, p. 130-137, 1984. \*
- MANGALIK, A. Dietary energy requirements of channel catfish. Auburn: Auburn University, 1986. 126p. PhD dissertation - Auburn, 1986.

- MARTINEZ, E. S. M. Efeito do processo de extrusão na formação de complexo amido-monoglicerídios. Campinas, 1990. Tese (doutorado em tecnologia de alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, 108p.
- KUMAGAI, H.; LEE, B. H. & YANO, T. Flour treatment to improve the quality of extrusion cooked rice flour products. **J. Agric. Biol. Chem.**, v.51, p.2067-71, 1987.
- MCGINNIS, C. H. Jr. Maintaining vitamin stability during extrusion. **Feed Mix.**, v.2, n.2, p.10-13, 1994.
- MERCIER, C. & FEILLET, P. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. **Cereal Chem.**, v.52, n.3, p.283-297, 1975.
- MERCIER, C.; CHARBONNIERE, F.; CREBAUT, J. & GUERIVIERE, J. Formation of amilose-lipid complexes by twin-screw extrusion-cooking of manioc starch. **Cereal Chem.**, v.57, n.1, p.4-9, 1980.
- MERCIER, C.; CHARBONNIERE, F.; GALLANT, D. & GUILBOT, A. Structural modifications of various starches by extrusion cooking with a twin-screw French extruder. p.153-170 In: BLANSHARD, J. M. & MITCHELL, J. R. **Polysaccharides in Food**. Butterworths, London, 1979. \*
- METAILLER, R.; MANANT, C.; DEPIERRE, C. Stable inert microparticles used for the fish larval rearing the use of alginates. In: SYMPOSIUM OF FINFISH AND FEED TECHNOLOGY, 1978. Szarus. **Proceedings**. Szarus: European Irland Fishing Advisory Comm., 1978. p.E/42.
- MEUSER, F.; LENGERICH, B. V.; KOHLER, F. The influence of extrusion parameters on functional properties of wheat starch. **Starch**, v.34, n.11, p.366-372, 1982.
- MEYERS, O. S. P. & ZEIN-ELDIN, Z. P. Binders and pellet stability in development of crustaceans diets. In: ANNUAL WORKSHOP WORLD MARICULTURE SOCIETY, 3, 1972. Avalt. **Proceedings**. Avalt: Lousiana State University, 1972. p.351-364.
- MEYERS, S. P. Horizons in aquaculture: Dietary fats and fish diets. **Extrusion Communique**, p.12-13, 1994.

- MILLAUER, C. & LOSENEGGER, H. R. Production of aquaculture feeds. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANIMAL AND AQUACULTURE FEEDSTUFFS BY EXTRUSION TECHNOLOGY. 1998 Águas de Lindóia. **Proceedings**. CHANG, Y. K. & WANG, S. S. (eds.). Lancaster: Technomic Publishing Co. 1999. p. 377-406.
- MILLER, R. C. Low moisture extrusion: effects of cooking moisture on products characteristics. **Journal of Food Science**, v.50, p.249-253, 1985.
- MUSTAKAS, G. C.; ALBRECHT, W. J.; BOODWALTER, G. H.; MCGHEE, J. E.; KWOLEK, W. F.; GRIFFIN, E. L. J. Extruder-processing to improve nutritional quality, flavor and keeping quality of full-fat soy flour. **Food Technology**, v.24, n.11, p.102, 1970.
- NOSE, T. Recent advances in the study of fish digestion in Japan. In: SIMPOSIUM ON FINFISH NUTRITION AND FISH FEED TECHNOLOGY, Belgrade, 1966. **Proceedings**. EIFAC/FAO, 1966, P.15 SC II-7
- NOSE, T. Tecnologia da alimentação de peixes. In: CASTAGNOLLI, N. **Fundamentos da Nutrição de Peixes**. Piracicaba: Livroceres, 1979. p.87-99.
- NRC (NATIONAL RESEARCH COUNCIL). **Nutrient requirements of warmwater fishes and shellfishes**. Washigton: National Academy Press, 1983. 102p.
- NRC (NATIONAL RESEARCH COUNCIL). **Nutrient requirements of fish**. Washington: National Academy Press, 1993. 114p.
- OLKKU, J.; HAGQUIST, A.; LINKO, P. Steady-state modeling of extrusion cooking by RSM. IN: JOWITT, R. (Ed.) **Extrusion cooking technology**. London: Elsevier, 1984. p.27.
- PAGE, J. W. & ANDREWS, J. W. Interactions of dietary level of protein and energy of channel catfish. **Journal Nutrition**, v.103, p.1339-1346, 1973.
- PARK, K.B. Elucidation of the extrusion puffing process. Illinois: University of Urbana 1976. 178 p Tese PhD, University of Urbana, 1976.
- PATON, D. & SPRATT, W. A. **Journal of Food Science**, v.49, p.1380-1385, 1984.
- PEZZATO, L. E. Apostila da disciplina tecnologia de processamento de dietas, do curso de pós-graduação em Zootecnia da UNESP. Campus de Botucatu – 1996. (mimeografado).

- PEZZATO, L. E. Efeito de diferentes níveis de gordura de origem animal e vegetal sobre o desempenho e deposição de ácidos graxos em pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Jaboticabal, 1990. 91p. Tese (Doutor em Zootecnia - Produção Animal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual de São Paulo.
- PEZZATO, L. E. O estabelecimento das exigências nutricionais das espécies de peixes cultivadas. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE PEIXES. 1997. Piracicaba. **Anais**. Campinas:CBNA, 1997. p.45-62.
- PEZZATO, L. E.; GUIMARÃES, T. G.; BARROS, M.M.; CANTELMO, O. A. Estabilidade físico-química de dietas microfracionadas para organismos aquáticos, confeccionadas com diferentes aglutinantes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AQUICULTURA. 1998, Recife. **Anais**. Recife: ABRAq, 1998. p.259-266.
- PEZZATO, L. E.; PEZZATO, A. C.; SILVEIRA, A. C. Digestibilidade aparente de fontes protéicas pela Tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO, 6, e SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AQUICULTURA, 5, 1988, Florianópolis: Associação Brasileira de Aquicultura, 1988, p.373-378.
- PUTNAM, M. E. Nutrient stability feed processing. **Extrusion Communique**, v.1., n.3, p2-5, 1992.
- REINITZ, G. L.; ORME, L. E.; LEMM, C. A; HITZEL, F. N. Full-fat soybean meal in rainbow trout diets. **Feedstuffs**, v.50, n.3, p.23-24.
- ROBINETE, H. R. Feed manufacture. In: **Nutrition and feeding of channel catfish**. LOVELL, R. T. (ed.). Auburn: Auburn University, 1977. p.44-49 (Southern Cooperative Series Bulletin, n.218).
- ROBINSON, E. H. & LI, M. H. Catfish nutrition part III: feed manufacture. **Aquaculture Magazine**, v.21, p.57-64, 1995.
- ROKEY, G. J. Extrusion of high energy feedstuffs. American Oil Chemists Society Meeting, Cincinnati, Ohio, mai. 5, 1989.

- SCOTT, M. Processed whole soybeans in commercial layer diets. **Feedstuffs**, v.45, p.32,51. 1973.
- SEILER, K.; WEIPERT, D.; SEIBEL, W. Viscosity behavior of ground extrusion products in relation to different parameters. In: LINKO, P.; MALKKI, Y.; OLKKU, J.; LARINKARI, J. **Food Process Engineering, v.1: Food Processing Systems**. London: Applied Science Publishers Ltd, 1980.
- SINDIRAÇÕES. Perfil do mercado brasileiro 1996/1997. **Alimentação Animal**, v.2, n.3: encarte, 1997.
- SLINGER, S. J.; Razzaque, A.; CHO, C. Y. Effect of feed processing and leaching on the losses of certain vitamins in fish diets. In: SYMPOSIUM FINFISH NUTRITION FISH FEED DIETS, v.2. 1978 Amburg. **Anais**. Amburg, 1978.
- SMITH, R. R.; PETERSON, M.C.; ALLRED, A. C. Effect of leaching on apparent digestion coefficients of feedstuffs for salmonids. **Prog. Fish Cult.**, v.42, p.195-199, 1985.
- SOARES, C. M. **Farelo de canola na alimentação de alevinos de piavuçu (*Leporinus macrocephalus*) e carpa-capim (*Ctenopharyngodon idella V.*)**. Maringá, 1997. 40p. Dissertação (Mestre em Zootecnia – Produção Animal) – Universidade Estadual de Maringá.
- STATISTICA for Windows - Release 5.0 A. **StatSoft, Inc.** Tulsa, OK, USA, 1995.
- STEC, M. R.; CARNEIRO, D. J.; CARVALHO, M. R. B. Utilização de farelo de soja e de soja integral na alimentação de “pacu”. I – Avaliação dos índices de controle de qualidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AQUICULTURA. 1998, Recife. **Resumos**. Recife: ABRAq, 1998a. p.14.
- STEC, M. R.; CARNEIRO, D. J.; CARVALHO, M. R. B. Utilização de farelo de soja e de soja integral na alimentação de “pacu”. II – Análise dos aminoácidos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AQUICULTURA. 1998, Recife. **Resumos**. Recife: ABRAq, 1998b. p.14.
- STEC, M. R.; CARNEIRO, D. J.; CARVALHO, M. R. B. Utilização de farelo de soja e de soja integral na alimentação de “pacu”. III – Digestibilidade da fração protéica. In: CONGRESSO

- BRASILEIRO DE AQUICULTURA. 1998, Recife. **Resumos**. Recife: ABRAq, 1998c. p.14.
- STEVENS, W. Protein sparing effect and nutritive significance of lipid supplementation in carp diets. **Archives of Animal Nutrition**, v.49, n.1, p.93-98, 1996.
- STICKNEY, R. R. **Principles of warm water aquaculture**. New York: John Wiley & Sons, 1979. 374p.
- STICKNEY, R. R. Tilapia nutrition, feeds and feeding. In: **Tilapia aquaculture in the Americas**, v.1. COST, B. A.; PIERCE, A.; RACOCY, J. E. (eds.). Louisiana: Baton Rouge/World Aquaculture Society, p.34-54, 1997.
- STICKNEY, R. R.; WURTS, W. A. Growth response of blue tilapias to selected levels of dietary menhaden and catfish oils. **The progressive Fish-Culturist**, v.48, p.107-109, 1986.
- STIVERS, T. E. Feed manufacturing. In: **Report of the 1970 workshop of fish feed technology and nutrition**. GAUDET, J. L. (ed.). New York: Resour. Publ. Bur. Sport Fish. Wildl., p.14-42, 1971.
- SWICK, R. A. U. S. Soybean Meal: present quality and future trends. In: 6<sup>th</sup> ASA REGIONAL FEED TECHNOLOGY AND NUTRITION, 1998. Bangkok: MITA (P) NO. 096/11/97 (Vol. An14-1998). Bangkok: American Soybean Association, 6p. <http://www.pacweb.net.sg/asa>. Consultado em 07 jan. 1998.
- TACON, A. G. J. **The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp - A training manual**. 1. **The essential nutrients**. Brasília: FAO, 1987. 113p.
- THE SAS SYSTEM for Windows 3.95 - Release 6.08. **SAS Institute, Inc.** Cary, NC, USA, 1992.
- TIEWS, K.; KOOPS, H.; GROPP, J.; TIEWS, J. Körperzusammensetzung nelzkafigehaltener forellen (*Salmo gairdneri*) in abhângigkeit von Fütterung und Wachstum. **Arch. Fishereiwiss**, v.24, p.261-269, 1973.
- TURNER, C. A.; KIENHOLZ, E. W.; HARPER, J. M.; RAGHAVAN, V. Roasted soybeans in growing and finishing diets for large turkeys. **Feedstuffs**, v.45, p.30-31, 1973.

- VAN DER MEER, M. B.; ZAMORA, J. E.; VERDEGEM, M. C. J. Effect of dietary lipid level on protein utilization and the size and proximate composition of body compartments of *Colossoma macropomum* (Curvier). **Aquaculture Research**, v.28, p.405-417, 1997.
- VIEGAS, E. M. M. Efeito da utilização do destilado da desodorização do óleo de soja e do óleo de palma bruto sobre o crescimento e composição corporal do tambaqui (*Colossoma macroporum*). Campinas, 1993. 128p. Tese (Doutor em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- VILELA, E. R. & EL-DASH, A. A. Extrusão de farinha de guandu (*Cajans cajan, Mill sp*). 1. Efeitos das variáveis do processo nas características químicas, físicas e físico-químicas dos produtos extrusados. **Revista da SBCTA**, v.7, n.2, p.97-116, 1987.
- VIOLA, E. S. Uso da soja integral nas dietas de suínos e aves: oportunidades e entraves. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA SOJA, 1999. Londrina. **Anais**. Londrina: EMBRAPA-Soja, 1999, p.176-182.
- VIOLA, S & ARIELI, Y. Nutrition studies with tilapia hybrids. 2. The effects of oil supplements to practical diets for intensive aquaculture. **Bamidgeh**, v. 35:44-52, 1993.
- VIOLA, S. & ARIELI, Y. Nutrition studies with tilapia (*sarotherodon*). 1. Replacement of fish by soybean meal in feeds for intensive tilapia culture. **Bamidgeh**, v.35, p.44-52, 1983a.
- VIOLA, S. & ARIELI, Y. Nutrition studies with tilapia (*Sarotherodon*). 1. Replacement of fish meal by soybean meal in feeds for intensive tilapia culture. **Bamidgeh**, v.35, p. 9-7, 1983<sup>†</sup>
- VIOLA, S.; MOKADY, S.; ARIELI, Y. Effects of soybean processing methods on the growth of carps (*Cyprinus carpio*). **Aquaculture**, v.32, p.27-38, 1983b.
- VIOLA, S.; MOKADY, S.; ARIELI, Y. Effects of soybean processing methods on the growth of carp (*Cyprinus carpio*). **Aquaculture**, v.32, p.27-38, 1983.
- VIOLA, S.; MOKADY, S.; BEHAR, D.; COGAN, U. Effects of polyunsaturated fatty acids in feeds of tilapia and carp. 1. Body composition and fatty acid profiles at different environmental temperatures. **Aquaculture**, v.75, p.127-137, 1988.

- WEBSTER, C. D.; GOODGAME-TUI, L.S.; TIDWELL, J. H. Total replacement of fish meal by soybean meal, with various percentages of supplemental L-metionine, in diets for blue catfish *Ictarulus furcatus* (Lesueur). **Aquaculture Research**, v.26, n.5, p.299-306. 1995
- WEE, K. I & TUAN, N. A. Effects of dietary protein level on growth and reproduction in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). In: PULLIN, R. S. V.; BHUKASWAN, T.; TONGUTHAI, K.; MACLEAN, J. L. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TILAPIA IN AQUACULTURE, 2. 1988. Bangkok. **Conference Proceedings**. Manila: International Center for Living Aquatic Resources Management, 1988. p.401-410.
- WENGER. Aquatic and pet feed production. Process description. Não publicado. (1998)
- WERNER & PFLEIDERER-FOLDER, 1998.
- ZEITLER, M. H.; KIRCKGESSNER, M.; SCHWARZ, F. J. Effects of different protein and energy supplies on carcass composition of carp (*Cyprinus carpio* L.). **Aquaculture**, v.36, p.37-48, 1984.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

Configuração da rosca do extrusor ZSK-30: ordem e número de elementos.

PKR/10

20/10

2 x 60/60 SK

42/21 SK-N

2 x 60/60

2 x 42/41

42/42

4 x 20/20

KB45/5/14

2 x 20/20

KB45/5/14

20/20

KB45/5/20

KB90/5/28

20/10 LH

20/20

KB45/5/20

KB90/5/28

2 x KB45/5/14 LH

20/10 LH

42/21

28/14

8 x 20/20

Comprimento do canhão 885 mm.

## ANEXO 2

PROC GLM para os dados experimentais de capacidade de flutuação para ração controle.

Data a;

```
input x1 x2 x3 y1 @@;
```

list;

```
label x1='temperatura de extrusão'
```

```
x2='velocidade de alimentação'
```

```
x3= 'umidade';
```

cards;

```
-1 -1 -1 36.0
```

```
-1 -1 +1 31.0
```

```
-1 +1 -1 34.0
```

```
-1 +1 +1 30.0
```

```
+1 -1 -1 41.0
```

```
+1 -1 +1 37.0
```

```
+1 +1 -1 45.0
```

```
+1 +1 +1 37.0
```

```
0 0 0 38.0
```

```
0 0 0 38.0
```

```
0 0 0 39.0
```

```
;
```

```
proc print;
```

```
proc sort;
```

```
by x1-x3;
```

```
data a;
```

```
set a;
```

```
run;
```

```
proc glm data=a;
```

```
model y1= x1 x2 x3;
```

```
output out=res p=pred r=res;
```

```
proc plot data=res;
```

```
plot res*(pred x1 x2 x3) / vpos=18 hpos=50;  
proc univariate plot data=res;  
var res;  
run;
```

### ANEXO 3

PROC ANOVA / TUKEY para os dados experimentais de gordura visceral

Data carcaca;

Input trat gordvisc;

cards;

a 1.140

a 0.550

a 0.475

a 0.730

b 0.915

b 0.695

b 0.570

b 1.275

c 1.205

c 1.365

c 0.740

c 1.103

d 1.145

d 1.205

d 0.985

d 1.112

e 1.740

e 0.965

e 1.270

e 1.325

;

proc anova data+carcaca;

class trat;

model gordvisc=trat;

means trat/tukey;

run;