

## SUBSTITUIÇÃO DE FARELO DE SOJA POR SOJA INTEGRAL EM RAÇÕES EXTRUSADAS PARA AQUICULTURA<sup>1</sup>

Manoel Soares Soares Júnior<sup>2</sup>, Márcio Caliari<sup>2</sup> e Yoon Kil Chang<sup>3</sup>

### ABSTRACT

#### REPLACEMENT OF SOYBEAN MEAL BY FULL FAT SOYBEAN IN EXTRUDED FEEDS FOR AQUACULTURE

Full fat soybean (*Glycine max*) is not used by producers of extruded feed for aquaculture. This study investigated the effect of extrusion variables on the physical characteristics of the feed with increasing replacement levels of soybean meal for full fat soybean: 0%, 48% and 100%. Eleven treatments were set up for each replacement level, using a twin-screw extruder (Werner & Pfleiderer ZSK-30), according to a 2x2x2 factorial design with more three replications 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. Treatments means were subject to multiple regression analysis to propose first order models. Variance analysis was used to test the adequacy of the models. Feed buoyancy and lixiviation decreased with reduction in temperature, increase in moisture and the replacement level of soybean meal with full fat soybean. The hardness of feeds increased only with the increase in moisture and replacement level.

KEY WORDS: feed, soybean, extrusion, twin screw, fish.

### RESUMO

A soja (*Glycine max*) não é utilizada na sua forma integral, em grãos, pelas empresas produtoras de rações extrusadas para aquicultura. Este trabalho investigou o efeito das variáveis de extrusão sobre a capacidade de flutuação, perdas por lixiviação na água e dureza das rações, sob níveis de substituição do farelo de soja pela soja integral da ordem de 0%, 48% e 100%. Foram realizados onze tratamentos para cada nível de substituição, usando um extrusor Werner & Pfleiderer ZSK-30, de dupla rosca. Utilizou-se um delineamento fatorial 2x2x2, com mais 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, e a análise de variância para testar a adequação dos modelos. A capacidade de flutuação e as perdas por lixiviação da ração diminuíram com a redução da temperatura de extrusão, aumento da umidade e do nível de substituição do farelo de soja pela soja integral. A dureza da ração aumentou somente com a elevação da umidade e do nível de substituição.

PALAVRAS-CHAVE: ração, soja, extrusão, dupla rosca, peixe.

### INTRODUÇÃO

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 (Lima 1999).

Quando industrializada, a soja integral produz 80% a 82% de farelo e 18% a 20% de óleo degomado.

As empresas produtoras de rações adquirem esses produtos industrializados, voltando a misturá-los em suas unidades, agregando os custos inerentes de processamento ao preço final da ração (Leite 1999). Seria vantajoso se fosse possível economizar o tempo e o custo de industrialização embutidos nesse processo, mediante o uso direto da soja integral.

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

1. Trabalho recebido em out./2003 e aceito para publicação em jun./2004 (registro nº 587).

2. Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Caixa Postal 131.

CEP 74001-970, Goiânia - GO. E-mail: manoel@agro.ufg.br

3. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, CP 6121, CEP13081-970, Campinas-SP.

composição adequada de aminoácidos e alto teor energético (Lusas 1995). 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 (Viola 1999).

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 do componente térmico, o trabalho mecânico, que causa o rompimento das paredes celulares dos grãos, ocasionando um aumento da digestibilidade dos nutrientes e da energia metabolizável (Bellaver & Snizek 1999).

Um manejo adequado das variáveis do processo de extrusão permite melhorar a qualidade das rações para aqüicultura. As rações extrusadas podem flutuar ou afundar, dependendo da espécie aquática alvo (peixe, camarão ou outra), e possuir 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 atividade (Robinson & Li 1995).

Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi verificar a viabilidade da substituição do farelo de soja pela soja integral, em rações para aqüicultura produzidas experimentalmente num extrusor de dupla rosca, em laboratório. Buscou-se avaliar o efeito da temperatura de extrusão, da umidade e da velocidade de alimentação do extrusor sobre a capacidade de flutuação das rações e suas perdas por lixiviação na água, bem como a dureza das rações produzidas.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para a elaboração das rações foram utilizados: grãos de soja e milho, farelo de soja desengordurado com solvente, suplemento vitamínico e mineral, fosfato bicálcico, butano hidróxi tolueno - BHT e DL-metionina.

Com a ajuda de uma planilha eletrônica Excel (Microsoft Excell 1995), as rações foram balanceadas usando os valores médios de nutrientes da tabela de composição de alimentos, preconizada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa-CNPSO 1991), e as exigências nutricionais da tilápia do Nilo, conforme recomendações do National Research Council (NRC 1983). As rações foram formuladas de modo a possuírem diferentes níveis de substituição do farelo de soja pela soja integral. O farelo foi desengordurado com solvente durante o processo

industrial de extração de óleo, enquanto a soja integral foi simplesmente moída, não sofrendo tratamento térmico, a não ser o próprio processo de extrusão utilizado na fabricação das rações. As rações foram formuladas para serem isoprotéicas (cerca de 28% de proteína), isocálcicas (cerca de 0,8% de cálcio) e isofosfóricas (cerca de 0,6% de fósforo), conforme apresentado na Tabela 1. Com o aumento do nível de substituição do farelo pela soja, houve uma simultânea redução da quantidade de milho utilizada nas rações, pois a soja integral possui menos proteína que o farelo e mais que o milho. Evitou-se utilizar outros ingredientes, além dos citados, para manter o mesmo perfil de aminoácidos em todas as rações, e manter um baixo custo.

Os grãos de soja, 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), com capacidade para 30 kg, por um tempo de sete minutos. Essa mistura foi novamente moída e misturada por mais sete minutos, para melhorar a homogeneidade das partículas. A mistura de ingredientes foi colocada no alimentador volumétrico durante a extrusão. O processamento foi conduzido em extrusor de laboratório de dupla rosca, co-rotacional (modelo

Tabela 1. Composição percentual dos ingredientes das rações experimentais com diferentes níveis de substituição de farelo de soja (FS) por soja integral (SI)<sup>1</sup>

Ingredientes	Níveis de substituição do FS pela SI (%)		
	0	48	100
Soja integral	0,00	35,00	67,47
Farelo de soja	50,00	24,00	0,00
Milho	46,16	36,98	28,56
BHT	0,02	0,02	0,02
Fosfato bicálcico	2,82	2,90	2,82
DL-metionina	0,00	0,10	0,13
Suplemento mineral e vitamínico <sup>2</sup>	1,00	1,00	1,00
Total	100,00	100,00	100,00

<sup>1</sup> - Os níveis de nutrientes das rações foram: ração controle: PB - 28,0%, FB - 5,2%, EE - 2,1%, P - 0,6%, Ca - 0,8% e ED - 3.193 Kcal/Kkg; ração com 48% de substituição do farelo pela soja: PB - 28,0%, FB - 5,3%, EE - 7,0%, P - 0,6%, Ca - 0,8% e ED - 3.413 Kcal/Kkg; ração com 100% de substituição do farelo pela soja: PB - 28,0%, FB - 5,4%, EE - 11,5%, P - 0,6%, Ca - 0,8% e ED - 3.621 Kcal/Kkg.

<sup>2</sup> - Níveis de vitaminas e minerais garantidos na embalagem de Nutron 805<sup>A</sup> (nutriente/nível de garantia em 1,0 kg): ácido fólico 250 mg; ácido pantotênico 5.000 mg; Vit. A 1.000.000 UI; Vit. B1 250 mg; Vit. B12 2.500 mg; Vit. B2 1.750 mg; Vit. B6 875 mg; Vit. C 12.500 mg; Vit. D3 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.

ZSK-30, da Krupp Werner & Pfleiderer Co.), com capacidade máxima de 30 kg.ha<sup>-1</sup>. Este é equipado com sistema de aquisição de dados *on-line*, alimentador volumétrico programável e bomba (marca Watson-Marlon) para injeção de água na camisa do extrusor. Isso, de modo que a mistura de matérias-primas introduzidas no extrusor alcançasse o teor de umidade especificado para cada tratamento. A velocidade de alimentação foi regulada pela rosca do alimentador de acordo com o tratamento estabelecido. 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, e das zonas 2, 3 e 4 variaram conforme o tratamento. Simultaneamente à extrusão, os grânulos das rações foram cortados por um sistema de facas giratórias acoplado à 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 doze horas a 60°C, resfriadas à temperatura ambiente por vinte minutos, embaladas em sacos de poli-propileno e armazenadas em geladeira, a 5°C, até a análise.

Para cada formulação foram realizados três ensaios de extrusão, conforme um esquema fatorial 2<sup>3</sup>, mais três repetições no ponto central (Tabela 2). Esse esquema é composto por: (a) porção cubo, (x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub>, x<sub>3</sub>) = (±1, ±1, ±1); (b) ponto central (x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub>, x<sub>3</sub>) = (0, 0, 0) (Box & Dyer 1987). Portanto, o esquema varre três níveis de cada variável, permitindo verificar se há ou não falta de ajuste para um modelo linear. Assim, foram realizados onze ensaios para cada formulação, totalizando 33 ensaios no total. As três variáveis independentes utilizadas foram: umidade, velocidade de alimentação e temperatura de extrusão.

Tabela 2. Planejamento 2<sup>3</sup> com três repetições no ponto central para as três variáveis independentes

Ensaio	Variáveis codificadas <sup>1</sup>		
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>
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

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

As faixas de variação entre o limite inferior e superior de cada variável foram determinadas por meio de testes preliminares e revisão de literatura. Os níveis das variáveis estão apresentados na Tabela 3. A velocidade de rotação do motor ou rosca foi mantida constante em 500 rpm em todos os ensaios. Selecionou-se uma matriz de saída com quatro orifícios circulares de 1,4 mm de diâmetro. A ordem de execução dos ensaios foi determinada por sorteio.

Para cada ensaio foram analisadas as seguintes respostas: capacidade de flutuação da ração na água (CFA), perdas por lixiviação na água (PLA) e dureza da ração (DR).

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

A perda por lixiviação na água (PLA) foi determinada de acordo com metodologia descrita por Evans (1999). Para cada tratamento pesou-se dez grânulos com teor de umidade conhecido. Estes foram colocados em saco de *nylon*, com malha de 1 mm, previamente tarado. Esses sacos foram fechados com grampos, novamente pesados (peso A) e submersos individualmente em aquários com água destilada (24°C e pH 6,7) e parada, por dez minutos. Após esse período, as amostras foram retiradas dos aquários, drenadas por trinta minutos, pesadas 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 fornece uma medida da lixiviação dos grânulos na água. Os resultados foram expressos em porcentagem de sólidos (em base seca) perdidos por lixiviação, em relação ao peso de sólidos iniciais (peso A – peso B). Foram realizadas três repetições.

Tabela 3. Variáveis e níveis de variação para cada nível de substituição de farelo de soja por soja integral na formulação das rações

Nível de substituição (%)	Temperatura (°C)			Veloc. alimentação (kg.h <sup>-1</sup> )			Teor de umidade (%)		
	-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1
0	110	130	150	14	17	20	19	22	25
48	110	130	150	12	15	18	17	20	23
100	110	130	150	10	13	16	15	18	21

A variável de textura de maior interesse em rações para aqüicultura é a dureza ou força de ruptura (Evans 1999). Assim, para cada tratamento, a dureza da ração (DR) foi determinada, utilizando-se um analisador de textura TA.XT2. As amostras foram removidas da embalagem somente no momento do teste para evitar absorção de umidade. Um grânulo de ração, com 1,0 cm de comprimento e diâmetro variável, foi colocado sobre a plataforma suporte do equipamento e comprimido com um cilindro de alumínio de 35 mm de diâmetro. Os resultados foram expressos em grama-força (gf), representando a média aritmética de dez determinações de dureza para cada amostra dos tratamentos. A velocidade de teste foi de 2,0 mm.s<sup>-1</sup>, a distância de compressão foi de 50% do diâmetro da amostra, e o cilindro foi calibrado a 10 mm de distância.

Para avaliar o efeito combinado das variáveis independentes (Tabela 2) sobre as variáveis dependentes ( $y_i$ ) empregou-se a metodologia de superfície de resposta, que pode ser genericamente escrita como:  $y_i = f(x_1, x_2, x_3)$ . As médias dos dados dos onze tratamentos de cada formulação foram tratadas por análise de regressão linear múltipla, com o emprego do programa SAS – *Statistical Analysis System* (SAS Institute 1992). A análise de variância, associada ao teste F, foi aplicada para testar a adequação dos modelos, a falta de ajuste em relação a 95% de confiança e para calcular o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>). Após a modelagem, os termos não significativos foram retirados, realizando-se um novo ajuste em que foram colocados os termos significativos em um nível de 5% de probabilidade. Para visualizar o efeito das variáveis independentes sobre as respostas avaliadas, foram traçados gráficos com o programa *Statistica* (Statistica for Windows, 1995).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da capacidade de flutuação na água (h), perdas por lixiviação na água (%) e dureza (gf) das rações com 0%, 48% e 100% de substituição do farelo de soja pela soja integral estão apresentados na Tabela 4.

A Tabela 5 apresenta os modelos de regressão ajustados, as probabilidades dos modelos serem estatisticamente significativos, os coeficientes de determinação, os coeficientes de variação e as probabilidades de falta de ajuste dos modelos para a capacidade de flutuação na água (CFA), perda por lixiviação na água (PLA) e dureza (DR) das rações avaliadas. Apenas as variáveis independentes estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) foram mantidas nos modelos ajustados.

### Capacidade de flutuação na Água

As rações elaboradas com farelo de soja e sem soja integral (controle) apresentaram um modelo simplificado que se ajustou significativamente ( $p < 0,0002$ ). As variáveis que afetaram a capacidade de flutuação foram a temperatura de extrusão ( $x_1$ ) e a umidade da mistura ( $x_3$ ). O modelo explicou 88,58% da variação na capacidade de flutuação, apresentou um coeficiente de variação de 4,35%, e não mostrou falta de ajuste (0,09<sup>ns</sup>), podendo ser usado para fins preditivos (Tabela 5).

As rações extrusadas com 48% de substituição de farelo por soja apresentaram um modelo completo que se ajustou significativamente para a capacidade de flutuação ( $p < 0,0016$ ). Todas as variáveis independentes foram significativas (Tabela 5). O modelo explicou 87,37% da variação e mostrou um coeficiente de variação de 13,11%. A falta de ajuste foi significativa, mas devido ao erro experimental ser

Tabela 4. Capacidade de flutuação na água (h), perdas por lixiviação na água (%) e dureza das rações com 0, 48 e 100% de substituição do farelo de soja (FS) por soja integral (SI)

Ensaio	Capacidade de flutuação (h)			Perdas por lixiviação (%)			Dureza (gf)		
	0 <sup>1</sup>	48	100	0	48	100	0	48	100
1	36,0	25,0	10,0	6,0	8,3	4,6	2448	3931	4822
2	31,0	15,0	0,0	5,3	6,7	3,6	3850	5029	7802
3	34,0	20,0	12,0	4,6	9,3	4,9	3110	2846	5059
4	30,0	6,0	0,0	4,5	6,9	4,7	4579	6382	8183
5	41,0	30,0	5,0	10,8	11,1	7,8	1046	2649	3052
6	37,0	26,0	0,0	8,4	9,4	5,4	1836	3773	4482
7	45,0	29,0	2,0	8,6	12,5	9,8	1368	2077	3520
8	37,0	20,0	1,0	6,6	9,5	5,8	2212	3877	4315
9	38,0	25,0	4,0	7,0	7,4	5,8	2686	3890	4374
10	38,0	25,0	4,0	6,8	7,5	6,1	2620	3895	4307
11	39,0	25,0	4,0	6,9	7,4	5,8	2692	3851	4283

<sup>1</sup> Esta linha apresenta os níveis de substituição de farelo de soja por soja integral

Tabela 5. Modelos de regressão ajustados, significância do modelo (p), coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), coeficiente de variação (CV) e probabilidade do modelo apresentar falta de ajuste (FA) para capacidade de flutuação na água (CFA, em horas), perdas por lixiviação na água (PLA, em %) e dureza das rações extrusadas (DR, em gf) com diferentes níveis de substituição do farelo de soja pela soja integral

Resposta	Nível	Modelos ajustados <sup>1</sup>	p	R <sup>2</sup>	CV	FA
	0	$y = 36,9 + 3,6x_1 - 2,6x_3$	0,0002	0,8858	4,3539	0,0900
CFA	48	$y = 22,4 + 4,9x_1 - 2,6x_2 - 4,6x_3$	0,0016	0,8737	13,1099	0,0000
	100	$y = 3,8 - 1,7x_3$	0,0047	0,6063	69,6426	0,0000
	0	$y = 6,9 + 1,7x_1 - 7,7x_2 - 6,5x_3$	0,0001	0,9375	8,1315	0,0228
PLA	48	$y = 8,7 + 1,4x_1 - 1,1x_3$	0,0039	0,7499	11,7966	0,0024
	100	$y = 5,8 + 1,4x_1 - 0,9x_3$	0,0022	0,7833	15,0387	0,0288
	0	$y = 25861 - 940,6x_1 + 261,1x_2 + 5631x_3$	0,0001	0,9729	7,7707	0,0280
DR	48	$y = 3836,4 - 726,5x_1 + 944,7x_3$	0,0005	0,8474	13,1853	0,0017
	100	$y = 4927,2 + 1312,12x_1 + 1041,1x_3$	0,0004	0,8610	13,6590	0,0037

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

muito pequeno, a significância da falta de ajuste pode ser desconsiderada (Box & Dyer 1987). Portanto, o modelo para capacidade de flutuação pode ser usado para fins preditivos, apesar do alto, mas aceitável CV (> 10%; <20%). A partir do modelo ajustado para a variável foram elaborados três gráficos de superfície de resposta bidimensionais (Figura 1), em que se pode observar o efeito da velocidade de alimentação (fixada em 12, 15 e 18 kg da mistura/h), da umidade da mistura e da temperatura de processamento sobre a variável capacidade de flutuação das rações estudadas.

As rações com 100% de substituição do farelo pela soja integral apresentaram um modelo simplificado que se ajustou significativamente para a capacidade

de flutuação (p<0,0047). Somente a variável umidade (x<sub>3</sub>) teve efeito significativo sobre essa capacidade de flutuação (Tabela 5). O modelo explicou 60,63% da variação na capacidade de flutuação e apresentou um coeficiente de variação de 69,64%. A falta de ajuste também foi significativa. Assim, o modelo não pode ser usado para fins preditivos, pois apresenta um coeficiente de variação bastante alto e inaceitável (acima de 20%), servindo somente para verificar a tendência das respostas.

A propriedade de flutuação do grânulo de ração 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. Essa propriedade, numa ração extrusada, é decorrente da retenção de ar dentro dos grânulos, que reduz a sua densidade específica (Stickney 1979). Portanto, a capacidade de flutuação das rações está diretamente relacionada às propriedades de expansão e de peso específico aparente.

A capacidade de flutuação na água, das rações controle (sem soja integral), foi elevada e variou entre 30 e 43 horas. Essa capacidade aumentou com a elevação da temperatura e com a redução da umidade. As rações com 48% de substituição do farelo por soja também apresentaram uma alta capacidade de flutuação, variando entre 10 e 35 horas, aumentando com a elevação da temperatura e com a diminuição da velocidade de alimentação e umidade. Já as rações com 100% de substituição apresentaram baixa capacidade de flutuação, que diminuiu com a elevação da umidade. Isso, provavelmente, ocorreu em função do baixo teor de amido na formulação destas rações,

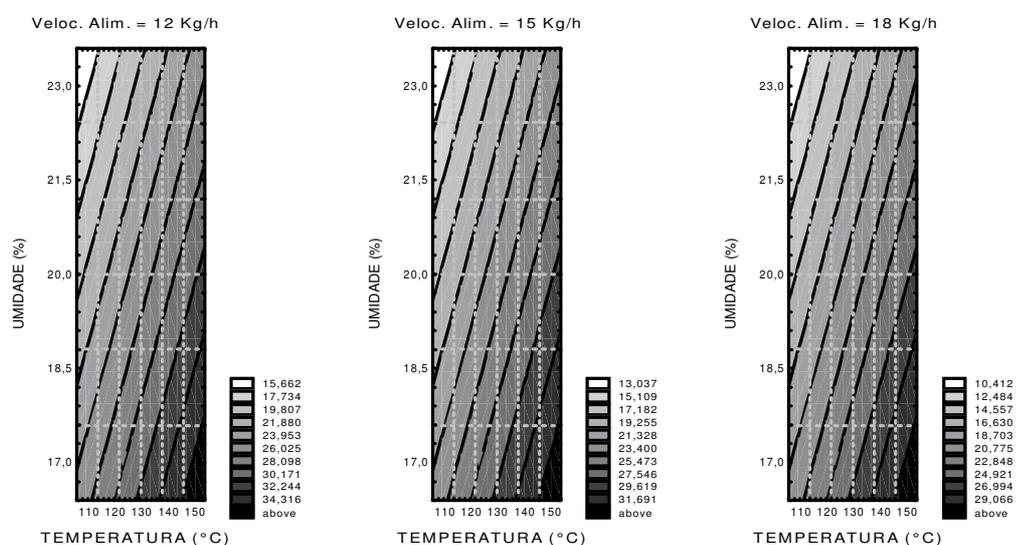


Figura 1. Efeito da temperatura de extrusão (°C) e da umidade da mistura (%) sobre a capacidade de flutuação na água (h), em rações com 48% de substituição de farelo de soja por soja integral (velocidade de alimentação fixa: 12 kg.h<sup>-1</sup>, 15 kg.h<sup>-1</sup> e 18 kg.h<sup>-1</sup>)

insuficiente para promover uma boa expansão dos grânulos de ração extrusados.

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 contribuam para a flutuabilidade das rações aquáticas, o nível de amido é crítico. Portanto, no produto final esses níveis devem ser ditados pelos requerimentos nutricionais das espécies e pela densidade aparente desejada no produto (Wenger 1998).

#### *Perdas por lixiviação na água*

Pode-se observar, na Tabela 5, que as rações controle apresentaram um modelo completo que se ajustou significativamente para perdas por lixiviação ( $p < 0,0001$ ). Todas as variáveis ( $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$ ) foram significativas para essa variável. O modelo explicou 93,75% da variação nas perdas por lixiviação e mostrou um coeficiente de variação de 8,13%. A falta de ajuste foi significativa (0,0228), mas devido ao erro experimental ser muito pequeno, a significância da falta de ajuste pode ser desconsiderada (Box & Dyer 1987). Portanto, o modelo para perdas por lixiviação pode ser utilizado para fins preditivos. A partir do modelo ajustado foram elaborados três gráficos de superfície de resposta bidimensionais (Figura 2), que ilustram a influência da velocidade de alimentação, da umidade e da temperatura sobre a variável perdas por lixiviação nas rações controle.

As rações elaboradas com 48% de substituição do farelo por soja apresentaram um modelo simplificado que também se ajustou significativamente. As variáveis que afetaram significativamente as perdas por lixiviação foram a temperatura de extrusão ( $x_1$ ) e a umidade da mistura ( $x_3$ ). O modelo explicou 75% da variação nessa resposta e mostrou um coeficiente de variação de 11,80%. A falta de ajuste também foi significativa (0,0024), mas devido ao erro experimental ser muito pequeno, a significância da falta de ajuste pode ser desconsiderada. Portanto, o modelo pode ser utilizado para fins preditivos, apesar de seu alto, mas tolerável coeficiente de variação.

As rações com 100% de substituição do farelo apresentaram um modelo simplificado que também se ajustou significativamente para as perdas por lixiviação ( $p < 0,0022$ ). As variáveis que afetaram significativamente a resposta foram, mais uma vez, a temperatura de extrusão e a umidade da mistura. O modelo explicou 78,33% da variação nas perdas por lixiviação, com um coeficiente de variação de 15,04%. A falta de ajuste também foi significativa (0,0288), mas devido ao erro experimental ser pequeno, a significância da falta de ajuste pode ser desconsiderada (Box & Dyer 1987). Assim, o modelo pode ser utilizado para fins preditivos.

A estabilidade do grânulo de ração na água é de fundamental para reduzir a perda de nutrientes, principalmente de vitaminas e minerais (Jauncey 1982). Portanto, é imprescindível para a manutenção de seu valor nutritivo, principalmente para grânulos com pequeno diâmetro (Metailler *et al.* 1978).

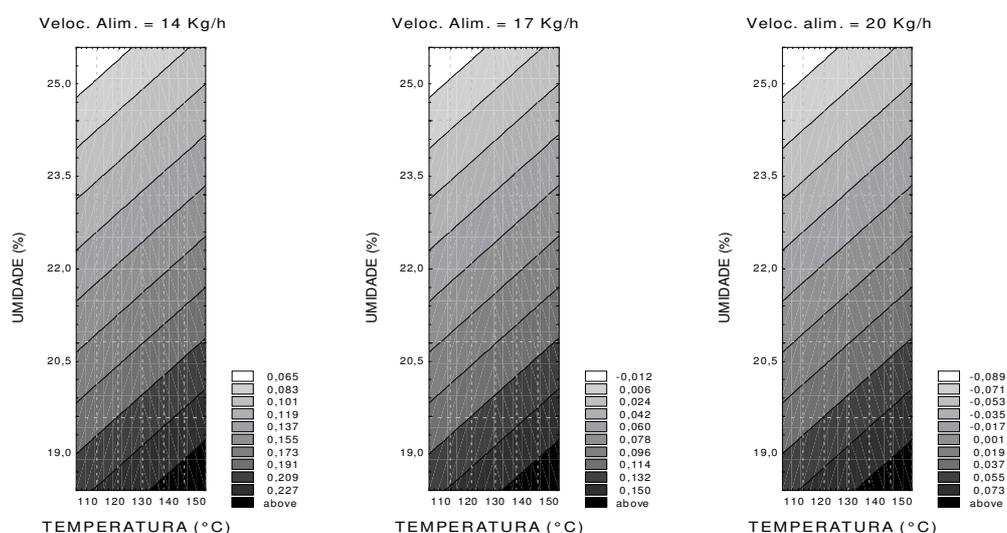


Figura 2. Efeito da temperatura de extrusão (°C) e da umidade da mistura (%) sobre a perdas por lixiviação na água das rações controle, com 0% de substituição do farelo de soja pela soja integral (velocidade de alimentação fixada em: 14 kg.h<sup>-1</sup>, 17 kg.h<sup>-1</sup> e 20 kg.h<sup>-1</sup>)

As perdas por lixiviação na água, nas rações sem soja integral (controle), foram altas, entre 6,5% e 22,7%, aumentando-se com o acréscimo da temperatura de extrusão e com a redução da velocidade de alimentação do extrusor e da umidade da mistura. Nas rações com 48% e 100% de substituição do farelo por soja integral, as perdas por lixiviação na água foram mais baixas, de 6,3% a 11,2% e de 3,6% a 8,1%, respectivamente, aumentando-se também com a elevação da temperatura de extrusão e com a diminuição da umidade. Ocorreu uma tendência de redução dessas perdas com a elevação do nível de substituição do farelo por soja integral.

O tempo ideal para que uma ração se mantenha íntegra na água varia de acordo com a espécie alvo. Para peixes pode ser bem menor que para camarão, devido ao rápido consumo. Essa é uma característica que deve ser considerada em rações comerciais. Assim, a estabilidade da ração deve ser mantida durante dez minutos (Lovell 1981), entre quinze e vinte minutos (Nose 1979) e não precisa ser superior a trinta 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 de interações e reações do processo de produção (NRC 1983). Stivers (1971) acredita que o grau de estabilidade das rações esteja diretamente relacionado com a extensão da gelatinização durante o condicionamento a vapor. O índice de solubilidade na água 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 de frações pequenas de polímeros na solução, como amilose e amilopectina, o que aumenta o índice de solubilidade em relação ao do amido nativo (Gomes & Aguilera 1984). 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 (Conway 1971, Colonna & Mercier 1983), amido de milho (Mercier & Feillet 1975, Gomez & Aguilera 1984), e amido de trigo (Paton & Spratt 1984). Com o aumento da temperatura, ocorre um aumento do índice de solubilidade na água (Gomes & Aguilera 1984, Meuser et al. 1982, Olkku et al. 1984). Fazendo um raciocínio paralelo com as rações experimentais, esses resultados concordam com os obtidos no presente trabalho, no qual a redução da umidade e o aumento da temperatura resultaram em um aumento das perdas de matéria seca das rações por lixiviação na água.

Um grânulo de boa qualidade não deve apresentar perdas superiores a 10% de matéria seca, após permanência por um período de dez minutos em contato com a água (Robinete 1977). Neste trabalho, a estabilidade na água aumentou (perdas de matéria seca foram menores) com o aumento de substituição do farelo pela soja integral, indicando vantagens nessa substituição.

#### *Dureza da Ração (DR)*

As rações elaboradas com farelo e sem soja integral (controle) apresentaram um modelo completo que se ajustou significativamente para a variável dureza ( $p < 0,0001$ ). Todas as variáveis foram significativas (Tabela 5). O modelo explicou 97,29% da variação nessa resposta, mostrou um coeficiente de variação de 7,77% e apresentou falta de ajuste significativo (0,0280). Portanto, não pode ser usado para fins preditivos, mas somente para verificar a tendência da resposta, devido à sua falta de ajuste.

As rações com 48% de substituição do farelo apresentaram um modelo simplificado que também se ajustou significativamente para essa variável ( $p < 0,0005$ ). As variáveis que afetaram significativamente a dureza da ração foram temperatura de extrusão ( $x_1$ ) e umidade da mistura ( $x_3$ ). O modelo explicou 84,74% da variação em dureza, mostrou um coeficiente de variação de 13,19% e apresentou falta de ajuste significativa ( $p < 0,0017$ ). Portanto, o modelo não pode ser utilizado para fins preditivos, mas somente para verificar a tendência das respostas.

As rações com 100% de substituição de farelo por soja também apresentaram um modelo simplificado que se ajustou significativamente para a variável dureza ( $p < 0,0004$ ). Nesse caso também, as variáveis que afetaram significativamente a dureza da ração foram temperatura de extrusão e a umidade da mistura. O modelo explicou 86,10% da variação em dureza, mostrou um coeficiente de variação de 13,66%, e uma falta de ajuste significativa (0,0037). Portanto, esse modelo também não pode ser utilizado para fins preditivos.

A dureza das rações controle variou entre 849 gf a 4224 gf, aumentando com a diminuição da temperatura de extrusão e com a elevação da velocidade de alimentação do extrusor e da umidade da mistura. Nas rações com 48% de substituição, essa dureza variou entre 2195 gf a 5477 gf, aumentando-se com a diminuição da temperatura e elevação da umidade. Já nas rações com 100% de substituição, a dureza variou entre 2195gf e 5477 gf, aumentando-se com a elevação da temperatura e da umidade.

A textura da ração é considerada um atributo de grande importância na aquicultura, afetando diretamente a aceitação ou a rejeição da ração pelo peixe (Cantelmo 1998). Ensaios biológicos com tilápia do Nilo comprovaram a aceitação de todas as rações estudadas, independente do grau de dureza que apresentaram.

### CONCLUSÕES

1. A capacidade de flutuação da ração e suas as perdas por lixiviação na água diminuíram com a redução da temperatura de extrusão, com o aumento da umidade e do nível de substituição de farelo de soja por soja integral; enquanto a dureza da ração aumentou somente com a elevação da umidade e do nível de substituição.
2. Nas condições estudadas, a substituição do farelo de soja pela soja integral, até o nível de 48%, não prejudicou a qualidade física da ração, para fins comerciais. Para a inclusão de níveis superiores de soja integral, novos estudos devem ser realizados, incluindo o uso de aditivos.

### AGRADECIMENTOS

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão da bolsa de doutoramento; e às empresas Kowalski Alimentos Ltda. (Apucarana, PR), Caramuru Alimentos de Milho Ltda. (Apucarana, PR), Ralston Purina do Brasil Ltda. (Paulínia, SP) e Nutron Alimentos Ltda. (Campinas, SP), pela doação das matérias primas utilizadas na elaboração das rações.

### REFERÊNCIAS

- Bellaver, C. & P. N. J. Snizek. 1999. Processamento da soja e suas implicações na alimentação de suínos e aves. p. 183-199. In Congresso Brasileiro da Soja, 1. Londrina, Paraná. 320 p. Anais.
- Box, G. P. & W. J. Dyer. 1987. Empirical model building and response surfaces. Ed. John Wiley and Sons, New York. p. 304-309.
- Cantelmo, O. A. 1998. Características físicas e avaliação biológica de rações para peixes confeccionadas com diferentes aglutinantes e técnicas de processamento. Tese de Doutorado. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Botucatu, São Paulo. 65 p.
- Colonna, P. & C. Mercier. 1983. Macromolecular modifications of manioc starch components by extrusion cooking with and without lipids. *Carbohydrate Polymers*, 3 (1): 87-108.
- Conway, H. F. 1971. Extrusion cooking of cereals and soybean - part I. *Food Prod. Dev.*, 5 (2): 27-45.
- Csávás, I. 1978. Fish culture research institute. p. E/6. In Symposium on Finfish Nutrition and Feed Technology, 1. Szarus, Ireland. Proceedings. 252 p.
- Embrapa-CNPSo (Centro Nacional de Pesquisa de Soja). 1991. Tabela de composição química e valores energéticos de alimentos para suínos e aves, 3. EMBRAPA, Concórdia, Santa Catarina. 97 p.
- Evans, A. J. 1999. Measurement of pellet quality in aquaculture feeds. p. 219-228. In Chang, Y. C. & S. S. Wang. Technomic Publishing Co. Inc., Lancaster. 422 p.
- Gomez, M. H. & J. M. Aguilera. 1984. A physicochemical model for extrusion of corn starch. *J. Food Sci.*, 49 (1): 43-44.
- Jauncey, K. 1982. A guide to tilapia: feed and feeding. Institute of Agriculture University of Stirling, Stirling. 111 p.
- Leite, M. C. 1999. Novas fronteiras de produção e o intermodal de transporte. p. 51-67. In Congresso Brasileiro da Soja, 1. Londrina, Paraná. 320 p. Anais.
- Lima, G. J. M. M. 1999. Importância da qualidade nutricional da soja e de seus subprodutos no mercado de rações: situação atual e perspectivas futuras. p. 165-175. In: Congresso Brasileiro da Soja, 1. Londrina, Paraná. 320 p. Anais.
- Lovell, T. 1981. How important is fish feed and nutrition? *Comm. Fish Farmer Aquaculture News*, 7 (4): 36-37.
- Lusas, E. W. 1995. Principles of pet food and aquaculture feed production by cooking extrusion. p. 13-14. In International Symposium of Food Extrusion: Pasta And Extruded Products, 1. Campinas, São Paulo. 190 p. Anais.
- Mercier, C. & P. Feillet. 1975. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. *Cereal Chem.*, 52 (3): 283-297.
- Metailler, R., C. Manant & C. Depierre. 1978. Stable inert microparticles used for the fish larval rearing the use of alginates. p. E/42. In Symposium of Finfish And Feed Technology. Szarus, Ireland. Proceedings. 252 p.
- Meuser, F., B. V. Lengerich & F. Kohler. 1982. The influence of extrusion parameters on functional properties of wheat starch. *Starch*, 34 (11): 366-372.
- Microfoft Excel for Windows 95 (Release 7) Microsoft, Inc. Cary, NC, USA, 1995.

- Nose, T. 1979. Tecnologia da alimentação de peixes. p. 87-99. In N. Castagnoli. Fundamentos da Nutrição de Peixes. Livroceres, Piracicaba. 215 p.
- NRC (National Research Council). 1983. Nutrient requirements of warmwater fishes and shellfishes. National Academy Press, Washington. 102 p.
- Olkku, J., A. Hagquist & P. Linko. 1984. Steady-state modeling of extrusion cooking by RSM, p.27. In Jowitt, R. Extrusion cooking technology. Elsevier, London. 276 p.
- Paton, D. & W. A. Spratt. 1984. Extrusion of starchy products. Journal of Food Science, 49 (6): 1380-1385.
- Pezzato, L. E., T. G. Guimarães, M. M. Barros & O. A. Cantelmo. 1998. Estabilidade físico-química de dietas microfracionadas para organismos aquáticos, confeccionadas com diferentes aglutinantes, p. 259-266. In Congresso Brasileiro de Aquicultura, 5. Recife, Pernambuco, 380 p. Anais.
- Robinete, H. R. 1977. Feed manufacture, p. 44-49. In R. T. Lovell. Nutrition and feeding of channel catfish. Southern Cooperative Series Bulletin, n.218. Auburn University, Auburn: 115 p.
- Robinson, E. H. & M. H. Li. 1995. Catfish nutrition part III: Feed manufacture. Aquaculture Magazine, 21 (1): 57-64.
- SAS Institute Inc. System for Windows 3.95 (Release 6.08). SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA, 1992.
- Statistica for Windows (Release 5.0 A). StatSoft, Inc. Tulsa, OK, USA, 1995.
- Stickney, R. R. 1979. Principles of warm water aquaculture. John Wiley & Sons, New York, 374 p.
- Stivers, T. E. 1971. Feed manufacturing, p. 14-42. In Gaudet, J. L. Report of the 1970 workshop of fish feed technology and nutrition. Resour. Publ. Bur. Sport Fish., New York.
- Viola, E. S. 1999. Uso da soja integral nas dietas de suínos e aves: oportunidades e entraves, 176 - 182. In Congresso Brasileiro da Soja, 1. Londrina, Paraná. 320 p. Anais.
- Wenger. 1998. Aquatic and pet feed production. Wenger, New York. 65 p.