



PLANEJAMENTO DE MISTURA NA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE EXTRUSÃO DA FARINHA DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA

I.S. OLIVEIRA¹, S.C.A. RIBEIRO², L.F. LOURENÇO¹, A. V. CARVALHO³ e E. A.F. ARAUJO¹

¹Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Campus Castanhal

³Embrapa Amazônia Oriental, Laboratório Agroindustrial

Email para contato: isabelle_oliveira@yahoo.com.br; suziar@yahoo.com.br

RESUMO: O objetivo deste foi otimizar o processo de extrusão de farinha mista de resíduos de indústria alimentícia, utilizando farinhas de resíduo de peixe, de casca de maracujá e grãos de milho, que possuem propriedades nutricionais e tecnológicas distintas e que foram misturadas em proporções de acordo com o planejamento de mistura, para que as suas propriedades fossem agregadas e desta forma poder ser utilizada em produtos de panificação, em substituição à farinha de trigo. As farinhas mistas extrusadas obtidas pelos ensaios propostos no planejamento de mistura, foram submetidas às análises de avaliação das propriedades funcionais onde a melhor farinha mista seria aquela que apresentasse o menor índice de solubilidade em água (ISA) e maiores índices de absorção de água (IAA) e volume de intumescimento (VI) como comportamento de extrusão estabelecido. Os resultados obtidos para as propriedades tecnológicas das farinhas para IAA variou de 1,52 a 4,05 (ggel/g), os valores do ISA sofreram pequena variação de 0,5% a 2,38% e os valores do VI variaram um pouco mais de 0,0 a 3,0 (mL/g). Os valores de melhor ajuste para IAA e ISA foram de 3,32 ggel/g e 1,18%, respectivamente, sendo que estes valores podem ser aumentados pelo cozimento por extrusão e o VI foi de 1mL/g, de acordo com os valores máximos e mínimos estabelecidos pelo planejamento de mistura estudado que utilizou 16% de umidade no condicionamento da massa. A presença de grânulos de amido em sua estrutura foi um fator importante para os resultados de índices de absorção e solubilidade em água.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Ding et al (2005) a versatilidade do processo de cozimento por extrusão permite a produção de ampla variedade de produtos com um mesmo sistema básico, bastando para tal modificar as condições do processo. É uma tecnologia que vem ganhando destaque e expansão na indústria de alimentos, por sua importância no sentido de aumentar a variedade, disponibilidade e facilidade de utilização de alimentos industrializados.



Na área de alimentos, o processo de extrusão termoplástica possibilita uma tecnologia vantajosa de alta eficiência, de baixo custo, alta produtividade, curto tempo de reação e ausência de geração de resíduos, promovendo a produção de uma grande variedade de produtos: cereais matinais, *snacks*, amidos modificados, produtos de confeitaria, proteínas vegetais texturizadas, produtos cárneos, farinhas gelatinizadas e rações animais, mostrando o grau de importância do aproveitamento de matérias-primas de descarte na indústria (BAIK; POWERS; NGUYEN, 2004). O processo pode também promover a inativação de fatores anti-nutricionais e enzimáticos. Além do que, a brevidade do tratamento térmico reduz o dano a nutrientes termo-sensíveis como certos aminoácidos e vitaminas (NABESHIMA e GROSSMANN, 2001).

Antila, Pipatti e Linko (1984) verificaram que a presença de proteínas proporciona estabilidade na estrutura e na textura do produto. A expansão então é dependente da natureza da proteína presente, e deste modo, se o produto desejado for um produto denso e totalmente cozido, a matéria-prima deve conter determinada concentração de proteínas. No caso inverso, se o produto expandido desejado for crocante e leve, devem-se utilizar amidos com baixa força de glúten (proteínas) que favoreçam a expansão.

O estudo de formulação de misturas a partir da técnica estatística de modelagem de mistura é a ferramenta mais poderosa para o planejamento experimental desse tipo de atividade, permitindo a execução do trabalho com um número mínimo de experimentos. Assim, a otimização das propriedades de uma dada mistura pode ser realizada através da mudança da sua formulação, obedecendo a critérios estatísticos. O método de modelagem de misturas tem encontrado grande aplicação na ciência, na engenharia e, sobretudo na indústria (BARROS NETO et al, 1995).

Em alguns experimentos de mistura a resposta de interesse não o depende somente das proporções dos componentes da mistura, mas depende também de certas condições externas, denominadas variáveis de processo. É um experimento cuja variável de resposta, característica a ser observada na mistura, é uma função somente das proporções relativas dos ingredientes presentes na mistura e não da quantidade total da mistura (GOMES; DINIZ, 2002).

O objetivo deste foi realizar o processo extrusão de farinha mista de resíduos de maracujá, peixe e milho, em diferentes concentrações e a definição da melhor condição, através do planejamento de mistura, para a elaboração de um produto de panificação para consumo humano.



2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Materiais

Foram utilizadas farinhas do resíduo da filetagem de piramutaba, maracujá e milho, para a elaboração de uma farinha mista extrusada.

2.2 Planejamento Experimental

O planejamento de mistura utilizado no estudo foi de três componentes (mistura ternária). A concentração real de cada componente foi representada através de uma equação modificada, expressa através da Equação 1, denominada equação dos pseudocomponentes. As equações a, b descrevem as concentrações reais de farinha de peixe, farinha de maracujá e grits de milho em função das suas pseudoconcentrações x_i , onde a_i (limite inferior de concentração do componente i na mistura), dado pela Tabela 1, e c_i (concentração real do componente i na mistura) e X_{mi} é variável complementar.

$$X_i = \frac{c_i - a_i}{1 - \sum_{i=1}^3 a_i} \quad (1)$$

$$X_p = \frac{c_p - 0,05}{0,29} \quad (a)$$

$$X_{ma} = \frac{c_{ma} - 0,01}{0,29} \quad (b)$$

Onde: C_p é a Concentração da farinha de peixe e C_{ma} é a concentração da farinha de maracujá. X_p é a pseudoconcentração da farinha de feixe e X_{ma} é a pseudoconcentração da farinha de maracujá.

Tabela 1 - Faixa de concentrações operacionais para a produção de mistura.

Mistura	Concentração inferior (%)	Concentração Superior (%)
Farinha de peixe	5	30
Farinha de maracujá	1	5
Farinha de milho (variável)	94	65



A região a ser estudada corresponde aos limites inferiores e superiores das concentrações reais, dando origem a um hexaedro, o que implica na análise de sete diferentes composições no triângulo de pseudocomponentes. A Tabela 2 descreve a composição de cada um destes vértices.

Tabela 2 - Planejamento de mistura ternária.

Mistura	Cp	Cma	Cmi	Xp	Xma	Xmi
1	0,30	0,01	0,69	0,86	0,00	0,14
2	0,20	0,01	0,79	0,50	0,00	0,50
3	0,05	0,03	0,92	0,00	0,50	0,50
4	0,05	0,05	0,90	0,00	0,86	0,14
5	0,20	0,05	0,75	0,14	0,86	0,00
6	0,30	0,05	0,65	0,86	0,14	0,00
7	0,18	0,04	0,79	0,43	0,32	0,25

1 Concentração das farinhas (Cp-peixe; Cma-maracujá; Cmi-milho)

2 Pseudoconcentração das farinhas (Xp-peixe; Xma-maracujá; Xmi-milho)

2.3 Extrusão

Para a elaboração da farinha mista, a farinha do resíduo de peixe, a farinha de maracujá e o grits de milho foram misturadas em proporções de acordo com o planejamento de mistura proposto. O condicionamento das amostras foi realizado através da adição lenta de água destilada ao material a ser extrusado, por meio de bureta. A quantidade de água adicionada foi determinada de acordo com a Equação 2.

$$Y = (U_i - U_f) \times P / 100 - U_f \quad (2)$$

Onde: Y = Quantidade de água a ser adicionada à amostra (mL); U_i = Umidade inicial da amostra (%); U_f = Umidade final desejada da amostra (%); P = Peso da amostra (g).

Após a adição de água potável e homogeneização da matéria-prima, as amostras foram armazenadas em embalagens plásticas de polietileno e mantidas sob refrigeração (4°C), por 24h, para a obtenção do equilíbrio hídrico. Antes do início do processo de extrusão, as amostras tiveram o teor de umidade analisado em aparelho determinador de umidade infravermelho.



A extrusão de cada amostra, correspondente aos 7 ensaios com umidade de 16%, foi efetuada em extrusor monorosca RXPQ. Labor 24 (INBRAMAQ, Indústria de Máquinas Ltda, Ribeirão Preto, S.P., Brazil), localizada no Laboratório de Agroindústria da EMBRAPA – CPATU.

Foi utilizado 500g de matéria-prima em cada ensaio. A introdução da amostra na extrusora ocorreu quando as temperaturas nas três diferentes zonas de aquecimento atingiram os valores esperados, mantendo-se constantes as temperaturas das zonas 1^a (40°C), 2^a (60°C) e 3^a (80°C). A velocidade de rotação do parafuso do extrusor permaneceu em 177 rpm e a taxa de alimentação constante foi de 3,20g/s.

Em seguida, a farinha mista extrusada foi seca em estufa marca DeLeo – Equipamentos Laboratoriais (50 a 300°C) modelo Q 314 M122, com circulação de ar até peso constante. Posteriormente, foram moídas em cutter para obter as farinhas mistas extrusadas com até 6% de umidade.

2.4 Avaliação das propriedades funcionais

As farinhas mistas extrusadas obtidas pelos ensaios propostos pelo planejamento de mistura, foram submetidas às análises de avaliação das propriedades funcionais onde a melhor farinha mista seria aquela que apresentasse o menor índice de solubilidade em água e maiores índices de absorção de água e volume de intumescimento como comportamento de extrusão estabelecido.

2.4.1 Índice de Absorção de água (IAA) e Índice de solubilidade em água (ISA)

Foi obtido a partir da metodologia proposta por Anderson et al. (1969). Amostras de 2,5g de resíduo seco foram suspensas em 30mL de água destilada, em tubos de centrífuga de 50mL, previamente pesados. Os tubos foram submetidos à agitação mecânica e depois centrifugados a 3000 rpm, por um período de 10 minutos em centrífuga. Do líquido sobrenadante foi coletada uma alíquota de 10mL e colocados em cadinho de porcelana previamente tarado que foi levado a estufa a 105°C por 8 horas. O tubo com o gel remanescente foi pesado sendo que o peso do resíduo da evaporação foi obtido pela diferença de peso do cadinho multiplicada por três e, o peso do resíduo da centrifugação, pela diferença de peso do tubo. O IAA e ISA foram calculados conforme as Equações 3 e 4.

$$\text{IAA} = \text{PRC} \times 100/\text{PA} - \text{PRE} \quad (3)$$



Onde: PRC = peso de resíduo de centrifugação (g); PA= peso da amostra (base seca); PRE = peso de resíduo de evaporação (g).

$$ISA = PRE/PA \quad (4)$$

Onde: PRE = peso de resíduo de evaporação (g) e PA= peso da amostra (base seca).

2.4.2 Volume de intumescimento (VI)

Em uma proveta graduada contendo 1g da amostra, foi adicionado 30 mL de água destilada. A suspensão foi agitada por 30 minutos, para atingir uma completa hidratação da amostra, sendo a seguir mantida em repouso durante uma noite (aproximadamente 15 horas). O volume ocupado pela amostra na proveta, ao final do intumescimento, foi denominado VI e é expresso em ml/g de matéria seca, sendo calculado pela diferença entre o volume inicial da amostra desidratada e o volume final da fibra intumescida (ANDERSON et al, 1969).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para as propriedades tecnológicas das farinhas. Estão apresentados através da Tabela 3 onde pode-se verificar que o IAA variou de 1,52 a 4,05 (g_{gel}/g). Diversos autores sugerem que o aumento do IAA em produtos extrusados a base de amido e proteína seja causado provavelmente pela exposição dos grupos hidrofílicos, bem como, pelo enfraquecimento e quebra das ligações do biopolímero, o que facilita a penetração da água nas estruturas (MESA et al, 2009; WLODARCZYK-STASIAK e JAMROZ, 2008).

Tabela 3 - Índice de absorção e solubilidade em água e volume de intumescimento das amostras de farinha mista extrusada.

Mistura	Xp	Xma	Xmi	IAA	ISA	VI
1	0,86	0,00	0,14	1,52	2,17	0,00
2	0,50	0,00	0,50	4,05	1,63	2,00
3	0,00	0,50	0,50	2,59	1,50	3,00
4	0,00	0,86	0,14	3,32	1,18	1,00
5	0,14	0,86	0,00	2,66	2,38	3,00
6	0,86	0,14	0,00	2,58	0,88	1,00
7	0,43	0,32	0,25	3,41	0,50	1,00



Buscou-se um resultado que apresentasse os menores índices de solubilidade em água, maiores índices de absorção de água e volume de intumescimento como comportamento de extrusão estabelecido.

Os valores do ISA sofreram pequena variação de 0,5% a 2,38% e os valores do VI variaram um pouco mais de 0,0 a 3,0 (mL/g). Observa-se que os IAA e ISA são explicados pelas interações amido-água e são importantes na avaliação da adequabilidade do uso de produtos extrusados em suspensões ou em soluções. Assim as alterações do amido na extrusora dependem dos parâmetros do processo tais como velocidade e centrifugação do parafuso, temperatura, taxa de fluxo do material, configuração da matriz e das características do material.

Visando caracterizar o desempenho de cada mistura, foram avaliadas 3 variáveis de respostas relacionadas as propriedades funcionais da farinha extrusada: índice de absorção de água (IAA), índice de solubilidade em água (ISA) e volume de intumescimento (VI). A interseção dos valores destas respostas, realizada graficamente através de curvas de nível da variável de resposta sobre o triângulo de composição, fornecendo o domínio ótimo da formulação.

A estimativa das respostas par IAA, ISA e VI foram obtidas de um modelo quadrático ajustado pelos dados experimentais e seus respectivos erros padrão, conforme mostra as Equações 5, 6 e 7, respectivamente, para predizer a relação da resposta com os três nutrientes estudados no delineamento experimental.

Nas Figuras 1, 2 e 3 são mostradas as superfícies de resposta geradas através dos modelos propostos, as regiões que foram estudadas correspondem aos limites inferiores e superiores das concentrações reais, dando origem ao hexaedro que implica na análise de sete diferentes composições no triângulo de pseudocomponentes.



$$IAA = 1,22 X_p + 2,81 X_{ma} + 4,24 X_{mi} + 5,01 X_p X_{ma} + 4,08 X_p X_{mi} - 2,55 X_{ma} X_{mi} \quad (5)$$

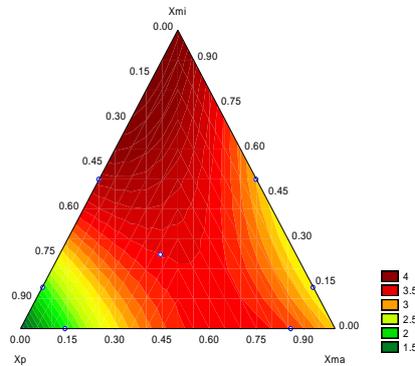


Figura 1 - Superfície de resposta do Índice de Absorção em Água (IAA).

$$ISA = 2,03 X_p + 2,78 X_{ma} + 5,64 X_{mi} - 6,45 X_p X_{ma} - 7,76 X_p X_{mi} - 11,92 X_{ma} X_{mi} \quad (6)$$

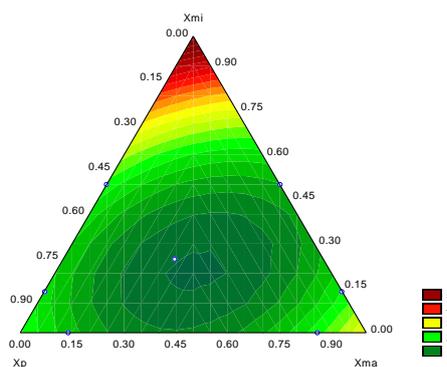


Figura 2 - Superfície de resposta do Índice de Solubilidade em Água (ISA).

$$VI = 0,40 X_p + 2,45 X_{ma} + 15,75 X_{mi} + 4,75 X_p X_{ma} - 23,73 X_p X_{mi} - 25,00 X_{ma} X_{mi} \quad (7)$$

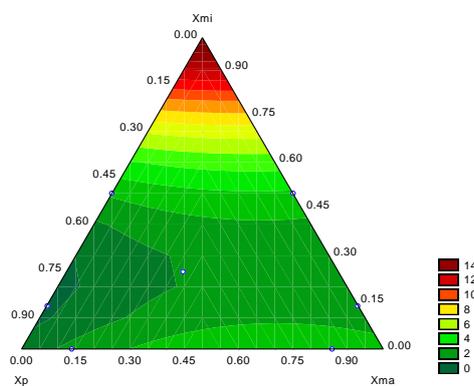


Figura 3 - Superfície de resposta do Volume de Intumescimento (VI).



Verificou-se, através das Figuras 1, 2 e 3 que a região de melhor condição foi a que utilizou 90% de grits de milho, 5% de farinha de peixe e 5% de farinha de maracujá. O objetivo de se obter um produto com ISA reduzido foi que o tratamento de extrusão não promoveu mudanças drásticas nas propriedades físicas da matriz, em contrapartida, em relação ao IAA o aumento da absorção e retenção de água melhora a qualidade do produto, uma vez que o processo de extrusão gelatiniza a farinha, onde somente nessa forma absorvem água em temperatura ambiente e incham. Em relação ao VI se espera que possua valores altos, pois o aumento da temperatura enfraquece as forças das ligações no interior do grânulo, permitindo, assim, a entrada de água nos espaços intramoleculares.

A faixa considerada ótima para a obtenção das propriedades funcionais adequadas propostas pelo estudo estão apresentadas na Tabela 4, segundo os domínios referentes aos valores mínimos e máximos visualizados para cada componente da mistura.

Tabela 4 - Índice de absorção e solubilidade em água e volume de intumescimento das amostras de farinha mista extrusada.

Parâmetro	Farinha mista extrusada
IAA (g _{gel} /g)	3,32±0,37
ISA (%)	1,18±0,05
VI (mL/g)	1,00±0,01

Valores médios de triplicatas

De acordo com a Tabela 4, pode-se verificar que a presença de grânulos de amido em sua estrutura foi um fator importante para os resultados de índices de absorção e solubilidade em água. Os valores de IAA e ISA foram de 3,32 g_{gel}/g e 1,18%, respectivamente e o volume de intumescimento foi de 1mL/g, de acordo com os valores máximos e mínimos estabelecidos pelo planejamento de mistura estudado que utilizou 16% de umidade no condicionamento da massa.

4. CONCLUSÃO

Os valores de melhor ajuste para IAA e ISA foram de 3,32 g_{gel}/g e 1,18%, respectivamente e o VI foi de 1mL/g, de acordo com os valores máximos e mínimos estabelecidos pelo planejamento de mistura estudado que utilizou 16% de umidade no condicionamento da massa. A presença de grânulos de amido em sua estrutura foi um fator importante para os resultados de índices de absorção e solubilidade em água. De acordo com



testes em produtos de panificação através da substituição parcial da farinha de trigo, pode-se confirmar a eficácia da farinha mista extrusada na elaboração de produtos com o intuito de agregar fibra dietética em seu valor nutricional.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. V.; GRIFFIN JR., E. L. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. **Cereal Science Today**, Minneapolis: American Association of Cereal Chemists, v. 14, nº 1, p. 4-7, 1969.
- ANTILLA, J.; PIPATTI, R.; LINKO, P. Process control and automation in extrusion cooking. In: ZEUTHEN, P. et al. **Thermal processing and quality of foods**. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1984. p.44-48.
- AOAC INTERNATIONAL - OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS, Sixteenth Edition, 3rd Revision 2000.
- BAIK, B.; POWERS, J.; NGUYEN, L. T. Extrusion of regular and waxy barley flours for production of expanded cereals. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.81, nº1. 2004. p.94-99.
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. Planejamento e otimização de experimentos. Editora da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 1995. p.299.
- DING, Q.; AINSWORTH, P.; TUCKER, G.; MARSON, H. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. **Journal of Food Engineering**, v. 66, Cambridge, 2005, p. 283-289.
- GOMES, P. L. S.; DINIZ, C. A. R. Eficiência de delineamentos quase ótimos em experimentos com mistura. **Revista de Matemática e Estatística**. São Paulo, 2002.20: p.195-206.
- MESA, N.L. et al. Soy protein-fortified expanded extrudates. Baseline study using normal corn starch. **Journal of Food Engineering**. v. 90, 2009, p. 262-270.
- NABESHIMA, E. H.; GROSSMANN, M. V. E. Functional properties of pregelatinized and cross-linked cassava starch obtained by extrusion with sodium trimetaphosphate. **Carbohydrate Polymers**, UK, v. 45, 2001, p. 347-353.
- STATISTICA. Programa Statistica for windows, versão 6.0. Tulsa, EUA: **Stat Soft, Inc**, 2000. CD-ROM.
- WLODARCZYK-STASIAK, M.; JAMROZ, J. Analysis of sorption properties of starch-protein extrudates with the use of water vapour. **Journal of Food Engineering**. v. 85, 2008, p. 580-589.