

VÂNIA LÚCIA COELHO

EFEITO DA TEMPERATURA E TEOR DE UMIDADE NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DE PRODUTOS EXTRUDADOS DE FARINHA DE MILHO E DE UMA MISTURA DE 70% DE FARINHA DE MILHO, 15% DE FARINHA DESENGORDURADA DE SOJA E 15% DE FARELO DE TRIGO

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das exigências do curso de mestrado em Ciência dos Alimentos, para obtenção do grau de "MESTRE".

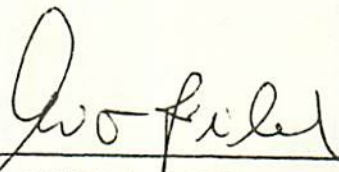
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS

LAVRAS - MINAS GERAIS

1988

EFEITO DA TEMPERATURA E TEOR DE UMIDADE NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DE PRODUTOS EXTRUDADOS DE FARINHA DE MILHO E DE UMA MISTURA DE 70% DE FARINHA DE MILHO, 15% DE FARINHA DESENGORDURADA DE SOJA E 15% DE FARELO DE TRIGO

APROVADA:



Prof. Dr. EVÓDIO RIBEIRO VILELA
Orientador



Profa. Dra. CELINA RAQUEL DE OLIVEIRA CAMARGO



Prof. Dr. ADIMILSON BOSCO CHITARRA

*À memória de meus pais, Lúcia e José Francisco
e de minha irmã Maria Lúcia.*

*À meus irmãos
por todo apoio e incentivo constante.*

Com carinho ...

Homenagem Póstuma:

*Profa. Dra. Norma Angélica Mancilla Díaz
Participou da correção, sugestões e banca
de defesa desta dissertação.*

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura de Lavras através do Departamento de Ciência dos Alimentos, pela oportunidade concedida para realização do curso de mestrado.

Ao professor Evódio Ribeiro Vilela pela incansável dedicação, estímulo e amizade na realização deste trabalho.

À professora Celina Raquel de Oliveira Camargo pelas valiosas críticas e sugestões.

Aos professores Fábio de Borja Portela e Adimilson Bosco Chitarra pelo incentivo e apoio.

Ao professor Ruben Delly Veiga, pela valiosa orientação nas análises estatísticas.

Aos funcionários do Laboratório de Ciência dos Alimentos, Biblioteca Central e Centro de Processamento de Dados, pela amizade, apoio e dedicação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

À Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão (FAEPE), pela ajuda financeira na publicação deste trabalho.

E a todos aqueles que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

VÂNIA LÚCIA COELHO, filha de José Francisco Coelho e Lúcia Botelho Coelho, nasceu no dia 16 de abril de 1956, em Lavras, Minas Gerais.

Concluiu o curso de 1º grau no Colégio Tiradentes da PMMG - Anexo 5 e o 2º grau no Colégio Estadual "Dr. João Batista Hermeto" em Lavras, Minas Gerais.

Em dezembro de 1979, graduou em Farmácia - Bioquímica, pela Escola de Farmácia e Odontologia de Alfenas, Minas Gerais.

Em abril de 1988, concluiu o curso de mestrado em Ciência dos Alimentos pela Escola Superior de Agricultura de Lavras, Minas Gerais.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Definição de extrusão de alimentos	4
2.2. Histórico do processo de extrusão	5
2.3. Características do processo de extrusão	5
2.4. Variáveis do processo de extrusão	7
2.4.1. Efeito da temperatura e umidade nas propriedades funcionais dos produtos extrudados de farinha de milho	8
2.4.2. Efeito da temperatura e umidade nas propriedades funcionais dos produtos extrudados de misturas de milho, soja e trigo	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1. Matéria prima	16
3.2. Formulação da mistura	16
3.3. Equipamento	17
3.4. Processamentos	18

	Página
3.4.1. Produção	19
3.5. Métodos analíticos	20
3.5.1. Teste granulométrico	20
3.5.2. Diâmetro dos extrudados	20
3.5.3. Densidade dos extrudados	20
3.5.4. Expansão dos extrudados	21
3.5.5. Índice de absorção de água	21
3.5.6. Índice de solubilidade em água	21
3.5.7. Teor de proteína solúvel	22
3.5.8. Viscosidade	22
3.6. Análise estatística	23
3.7. Análises químicas	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1. Características da matéria prima	25
4.1.1. Classificação granulométrica	25
4.1.2. Índices de solubilidade e absorção de água	25
4.1.3. Composição química	26
4.1.4. Viscosidade	27
4.2. Extrusão da mistura e do fubã mimoso	30
4.2.1. Produção de extrudados	33
4.2.1.1. Mistura	33
4.2.1.2. Comparação dos extrudados da mistura e do milho	34
4.2.2. Teor de umidade dos extrudados	38
4.2.2.1. Mistura	38

4.2.2.2.	Comparação dos extrudados da mistura e do milho	39
4.2.3.	Expansão dos extrudados	41
4.2.3.1.	Mistura	41
4.2.3.2.	Comparação dos extrudados da mistura e do milho	42
4.2.4.	Densidade dos extrudados	47
4.2.4.1.	Mistura	47
4.2.4.2.	Comparação dos extrudados da mistura e do milho	48
4.2.5.	Teor de proteína solúvel	50
4.2.6.	Índice de absorção de água	53
4.2.6.1.	Mistura	53
4.2.6.2.	Comparação dos extrudados da mistura e do milho	56
4.2.7.	Índice de solubilidade em água	58
4.2.7.1.	Mistura	58
4.2.7.2.	Comparação dos extrudados da mistura e do milho	60
4.2.8.	Viscosidade	62
4.2.8.1.	Mistura	62
4.2.8.2.	Comparação dos extrudados da mistura e do milho	63
5.	CONCLUSÕES	70
6.	RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES	72
7.	RESUMO	73
8.	SUMMARY	75
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
	APÊNDICE	85

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Classificação granulométrica das matérias primas ..	26
2	Composição química em base úmida das matérias primas e da mistura	27
3	Características da viscosidade da mistura e do fubã mimoso, conc. 60 g ms/450 ml de H ₂ O	29
4	Comparações entre as médias na produção (g/min.) de extrudados da mistura em função do teor de umidade inicial e temperatura	33
5	Comparações entre as médias na produção (g/min.) de extrudados da mistura e do milho em função da temperatura a 20% de umidade	36
6	Comparações entre as médias do teor de umidade (%) dos extrudados da mistura após a extrusão em função do teor de umidade inicial e temperatura	38

7	Comparações entre as médias do teor de umidade (%) dos extrudados da mistura e do milho após a extrusão em função da temperatura a 20% de umidade	40
8	Comparações entre as médias na expansão do extrudado da mistura em função do teor de umidade inicial e temperatura	41
9	Comparações entre as médias na expansão dos extrudados da mistura e milho em função da temperatura a 20% de umidade	44
10	Comparações entre as médias na densidade (g/cm^3) dos extrudados da mistura em função do teor de umidade inicial e temperatura	47
11	Comparações entre as médias na densidade (g/cm^3) dos extrudados da mistura e do milho em função da temperatura a 20% de umidade	49
12	Comparações entre as médias no teor de proteína solúvel (% , bu) das farinhas mistas extrudadas em função do teor de umidade inicial e temperatura	51
13	Comparações entre as médias no índice de absorção de água ($\text{g g}^{-1}/\text{g ms}$) das farinhas mistas extrudadas em função do teor de umidade inicial e temperatura ...	53

14	Comparações entre as médias no índice de absorção de água (g gel/g ms) da farinha mista e farinha de milho extrudadas em função da temperatura a 20% de umidade	56
15	Comparações entre as médias no índice de solubilidade em água (%) das farinhas mistas extrudadas em função do teor de umidade inicial e temperatura	59
16	Comparações entre as médias no índice de solubilidade em água (%) da farinha mista e farinha de milho em função da temperatura a 20% de umidade	61
17	Viscosidade das farinhas mistas extrudadas (U.A.) em função do teor de umidade inicial e temperatura	62
18	Viscosidade das farinhas de milho e farinhas mistas extrudadas (U.A.) em função da temperatura a 20% de umidade	67

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Viscosidade do fubã mimoso e da mistura não processados	28
2	Fotografia dos produtos extrudados da mistura com diferentes temperaturas e teores de umidade	31
3	Fotografia dos produtos extrudados da mistura (em cima) e do milho (em baixo) a 20% de umidade e nas temperaturas de 140, 160 e 180°C	32
4	Efeito da temperatura e umidade na produção e teor de umidade após a extrusão da mistura	35
5	Efeito da temperatura de extrusão na produção e umidade dos extrudados de milho e da mistura	37
6	Efeito da temperatura e umidade na densidade e expansão dos extrudados da mistura	43

Figura

Página

7	Efeito da temperatura de extrusão na densidade e <u>ex</u> pansão dos extrudados de milho e da mistura	46
8	Efeito da temperatura e umidade no teor de proteína solúvel das farinhas mistas extrudadas	52
9	Efeito da temperatura e umidade nos índices de ab - sorção e solubilidade das farinhas mistas extruda - das	55
10	Efeito da temperatura de extrusão nos índices de ab sorção e solubilidade em água dos extrudados de mi - lho e da mistura	57
11	Efeito do teor de umidade inicial na viscosidade das misturas extrudadas à temperatura de 120°C	64
12	Efeito do teor de umidade inicial na viscosidade das misturas extrudadas à temperatura de 140°C	65
13	Efeito do teor de umidade inicial na viscosidade das misturas extrudadas à temperatura de 160°C	66
14	Efeito da temperatura de extrusão na viscosidade das farinhas mistas extrudadas a 20% de umidade	68
15	Efeito da temperatura de extrusão na viscosidade das farinhas de milho extrudadas a 20% de umidade	69

1. INTRODUÇÃO

A indústria de alimentos se caracteriza por um grande número de produtos lançados continuamente no mercado, e pelos vários processos de produção. Um dos processos que tem alcançado novas e largas aplicações na indústria alimentícia é a extrusão. É uma tecnologia relativamente nova que apresenta múltiplas vantagens em relação aos outros métodos de cozimento.

Os extrusores são capazes de eficaz e economicamente cozinhar, texturizar e formar certos alimentos e misturas alimentíicias, em uma operação contínua.

O processo de extrusão está se tornando a essência do moderno processamento, devido ao avanço e a revolução desta tecnologia, permitindo a produção de uma ampla faixa de produtos formados e texturizados para consumo, tais como: cereais para o desjejum e "snacks", proteínas vegetais texturizadas, bebidas em pó instantâneas, alimentos infantis, rações pré-cozidas para animais e diversos outros produtos.

Os extrusores têm sido um importante passo no processaa

mento para produção de misturas de cereais e leguminosas, principalmente milho e soja, de modo a obter a complementação necessária de aminoácidos. Como por exemplo, a soja que é relativamente rica em lisina, mas deficiente em aminoácidos sulfurados (metionina e cistina), pode ser misturada ao milho onde esses aminoácidos são abundantes. Tem-se utilizado também, subprodutos da indústria de moagem, como farelos, com alto teor de nutrientes, principalmente como fonte de vitaminas, minerais e proteínas. Dentro dos programas gerados pela "*Colorado State University*", foi desenvolvida uma tecnologia de extrusão de baixo custo (Low Extrusion Cost-LEC), para obter misturas alimentícias e farinhas pregelatinizadas (36). A principal ênfase desse programa foi a produção de misturas de cereais e leguminosas fortificados com vitaminas, minerais e em alguns casos leite em pó desengordurado, para uso em programas de assistência as populações mal nutridas, em países em desenvolvimento, JANSEN & HARPER (30, 31).

O efeito do processo de extrusão no alimento varia com a composição química da matéria prima, e com as variáveis do processamento. Tem-se tentado melhor compreender como a configuração do extrusor, sua operação e a composição dos nutrientes se interrelacionam, buscando-se o entendimento das mudanças físicas e químicas que ocorrem simultaneamente durante o processamento, visando otimizar o processo na obtenção de produtos extrudados.

Tendo em vista as considerações feitas, o presente trabalho visa estudar: o efeito das variáveis temperatura de extru

são e umidade inicial da matéria prima nas características físicas e físico-químicas de produtos extrudados a partir de fubã mimoso e de uma mistura de 70% de fubã mimoso, 15% de farinha de soja desengordurada e 15% de farelo de trigo processados em um extrusor experimental nacional MIOTT0.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Definição de extrusão de alimentos

A extrusão de alimentos é definida como um processo contínuo no qual o trabalho mecânico é combinado com calor para gelatinizar amido e desnaturar proteínas, plasticizando e reestruturando o material a fim de criar novas texturas e formatos, EL-DASH (16).

O princípio básico do processo é converter um material sólido em um fluído, pela aplicação de calor e trabalho mecânico, e conseqüente extrusão através de uma matriz para formar um produto de características físicas e geométricas pré-determinadas, CHIANG & JOHNSON (10).

As três funções principais deste sistema são: cozinhar, estruturar e dar forma aos alimentos. O extrusor pode ter cada uma destas ou as três funções ao mesmo tempo.

2.2. Histórico do processo de extrusão

Na realidade, o processo de extrusão vem sendo utilizado no campo da indústria de alimentos desde 1935, quando foi aplicado pela primeira vez na produção de pastas alimentícias, ROSEN & MILLER (45). Os extrusores de pasta não cozinham, mas simplesmente misturam a farinha, água e outros ingredientes para formar uma pasta uniforme, HARPER (23).

No final dos anos 40, os extrusores foram usados para pré-cozer misturas de cereais e sementes oleaginosas, para alimentação animal com palatabilidade e digestibilidade melhoradas. A partir destes esforços, originaram-se os modernos processamentos de extrusão, flexíveis e com alta capacidade, JANSEN & HARPER (30). A variedade de alimentos cozidos e estruturados, hoje, pelo extrusor, excede muitas vezes as aplicações pretendidas inicialmente, quando o processo de extrusão foi concebido, SMITH (49).

2.3. Características do processo de extrusão

Desenvolvidos originalmente como um método econômico de gelatinizar amido, extrusores de diferentes configurações são utilizados na produção de uma variedade de alimentos, incluindo cereais para o desjejum e "snacks", bebidas instantâneas em pó, proteínas vegetais texturizadas, sopas instantâneas, alimentos infantis e alimentos enriquecidos a base de cereal (15, 18, 21, 23, 32, 46, 48, 49).

Os produtos obtidos por extrusão, além de ganharem uma grande percentagem do mercado de produtos processados, estão começando a contribuir para a solução de problemas nutricionais e da fome no mundo, HAUCK (26).

O processo é muito versátil e segundo EL-DASH (16), com somente pequenas modificações no equipamento básico e o controle do processamento, uma ampla faixa de produtos podem ser produzidos, desde alimentos infantis até proteínas vegetais texturizadas e amidos modificados para uso alimentar ou industrial. Além disso, a partir dos mesmos ingredientes, a extrusão pode produzir numerosos produtos finais com diferentes formatos, texturas, sabores e aparência.

Os extrusores oferecem, segundo SMITH (47) e HARPER (24), um grande número de vantagens no processamento em relação aos outros métodos de cozimento:

- O processamento de alta temperatura/curto tempo (HTST - high temperature short time) de residência, resulta em um tratamento benéfico do produto alimentício, por exemplo, desnatura os sistemas enzimáticos que podem causar rancidez ou perda de palatabilidade, inativa fatores anti-nutricionais que ocorrem em muitas sementes oleaginosas cruas e pasteuriza o produto acabado. As perdas de nutrientes são menores e o cozimento melhora a digestibilidade dos alimentos, através da gelatinização dos amidos e da desnaturação das proteínas.
- Permite a utilização máxima dos grãos de cereais e sementes de

leguminosas, produzindo produtos extrudados que podem ser consumidos com pouco ou nenhum cozimento prêvio, dependendo do processamento. Isto os fazem especialmente convenientes para serem usados nas escolas, no lar ou em programas institucionais de alimentação.

- Pode estender a vida de prateleira de seus produtos sem refrigeração e ao contrário da maioria dos métodos de cozimento, não possui efluentes ou outros resíduos, ecologicamente indesejáveis.
- Outra vantagem do processo de extrusão é a possibilidade de complementar farinhas de cereais com farinhas proteícas, vitaminas e minerais, a fim de melhorar o balanço de aminoácidos e o valor nutricional de maneira geral.

2.4. Variáveis do processo de extrusão

É importante o controle do processo de extrusão, para permitir a obtenção de produtos com características tecnológicas variadas, como também melhorar a eficiência e economia da operação. Embora a extrusão seja um processo tecnológico simples, seu controle é complicado, devido ao grande número de variáveis envolvidas no processo e sua complexidade. As variáveis do processo de extrusão estão bastante interrelacionadas durante a operação e exercem uma influência marcante nas características físicas, físico-químicas, reológicas e nutricionais dos produtos extrudados.

LAWTON et alii (34) e VILELA (52) dividem as variáveis do processo da seguinte maneira:

- a) desenho da rosca e da matriz;
- b) variáveis operacionais: velocidade de alimentação, temperatura e rotação da rosca;
- c) matéria prima: teor de umidade e composição química.

De acordo com os objetivos a que se propõe este trabalho, abordaremos a seguir somente as pesquisas realizadas com as variáveis temperatura e teor de umidade da matéria prima nas características físicas e físico-químicas dos produtos extrudados de milho e misturas a base de milho, soja e trigo.

2.4.1. Efeito da temperatura e umidade nas propriedades funcionais dos produtos extrudados de farinha de milho

Durante o cozimento por extrusão de grãos de milho degerminado, utilizando um extrusor Bradender plasticorder Modelo, PL-V 500, HARMANN & HARPER (22) verificaram o efeito da temperatura de extrusão e teor de umidade inicial na produção e densidade dos extrudados. Os autores afirmam que a produção de extrudados não foi influenciada pela temperatura de extrusão, enquanto que a produção aumentou quando diminuiu o teor de umidade. Observaram também, que a densidade dos extrudados diminuiu com aumento da temperatura de extrusão. Com umidade de 14,56%, taxa de

compressão 1:3 e velocidade da rosca de 40 rpm, os autores obtiveram os valores de 0,56; 0,37 e 0,19 g/cm³ para as respectivas temperaturas de 137,7; 154,4 e 171°C. FAPOJUWO & MAGA (17) verificaram também que a produção de extrudados não foi influenciada pela temperatura, durante a extrusão de grits de milho comercial em um extrusor do mesmo tipo.

CONWAY et alii (12) mostraram o efeito da temperatura e umidade no índice de solubilidade em água, índice de absorção de água e a viscosidade, em produtos extrudados de farinha de milho, processada em um extrusor Wenger X-5 de laboratório. A medida que aumentaram a temperatura e diminuíram o teor de umidade das farinhas, o índice de solubilidade aumentou. Encontraram um índice de solubilidade de 7,4% processando farinha de milho com 25% de umidade, temperatura de 110°C e rosca com taxa de compressão de 3:1. Quando o teor de umidade foi diminuído para 13% e a temperatura aumentada para 218°C, o índice de solubilidade elevou-se para 41,8%. Enquanto que o índice de solubilidade em água continua aumentando com o aumento da temperatura de extrusão, o índice de absorção de água aumentou com o aumento da temperatura até o valor máximo de 6,4 (grama de gel por grama de matéria seca -g gel/g ms) na temperatura de 177°C, decrescendo então com posterior aumento de temperatura até o valor de 4,1 a 218°C. Porém, efeitos variados foram encontrados quando estudaram a interação entre as variáveis temperatura e teor de umidade no índice de absorção de água. A absorção de água máxima de 6,4 foi obtida com 14% de umidade e temperatura de 177°C; absorção mínima de 4,1

com 13% de umidade a 218°C e absorção intermediária de 4,6 a umidade de 25% e temperatura de 110°C. Verificaram ainda, que a viscosidade final após o cozimento e resfriamento a 50°C, medida no viscoamilôgrfo diminuiu progressivamente com o aumento da temperatura e diminuição do teor de umidade de 365 U.A. (unidades amilográficas) a 110°C e 25% de umidade para 50 U.A. a 218°C e 13% de umidade.

ANDERSON et alii (3) estudaram o efeito da temperatura de extrusão e teor de umidade inicial no cozimento de grits de milho, em um extrusor para materiais de plástico standard Killion K-100. Com a umidade da farinha de 25%, taxa de compressão 1:3 e sem a utilização de matriz, os autores verificaram que o índice de absorção de água aumentou de 4,0 g gel/ g ms, a 110°C, para um valor máximo de 7,5 g gel/g ms, a 176,6°C. Com temperaturas mais elevadas ocorreu uma diminuição do índice de absorção de água, atingindo 4,6 g gel/g ms para uma temperatura de 232°C. Enquanto que o índice de absorção de água aumenta até um valor máximo a uma dada temperatura, o índice de solubilidade em água continua aumentando com aumento da temperatura de extrusão. Verificaram um aumento do índice de solubilidade em água da farinha de milho extrudada de 4,0 para 42%, quando a temperatura aumentou de 104 para 232°C. Verificaram, ainda, que a viscosidade a 29°C aumentou com a temperatura de extrusão, atingindo um valor máximo de 300 U.A. a 176,6°C, diminuindo com posteriores aumento de temperatura. A viscosidade a 50°C, no entanto, diminuiu progressivamente de 395 U.A., a 107°C, para 100 U.A., a 207°C. Processaram também grits de milho com 14% de umidade e comparando - os

com 25% observaram que o índice de absorção de água foi maior com maior teor de umidade, o índice de solubilidade em água diminuiu com aumento do teor de umidade e a viscosidade tanto a frio como após o cozimento foi maior nos produtos extrudados com maior teor de umidade.

A influência do teor de umidade inicial no índice de absorção de água e índice de solubilidade em água durante a extrusão de farinha de milho integral, também foi estudada por GOMES & AGUILERA (20). A farinha de milho foi processada em um extrusor experimental Wenger X-5, de rosca simples, velocidade de rotação de 750 rpm, diâmetro da matriz de 4,0 mm e teores de umidade variando de 13,9 a 23,7%. O índice de absorção de água foi maior com maior teor de umidade. Com 13,9% de umidade o índice de absorção foi de 5,79 e com 23,7% o índice aumentou para 7,22. O índice de solubilidade em água diminuiu com o aumento do teor de umidade. O índice de solubilidade com 13,9% de umidade foi de 35,94% enquanto que a 23,7% de umidade o índice caiu para 16,17%. Verificaram também que a viscosidade tanto a frio como após o cozimento foi maior nos produtos extrudados com maior teor de umidade.

2.4.2. Efeito da temperatura e umidade nas propriedades funcionais dos produtos extrudados de misturas de milho, soja e trigo

O efeito do teor de umidade inicial nas característi-

cas dos produtos extrudados de uma mistura contendo 70% de farinha de milho e 30% de farinha de soja foram estudados por MOLINA et alii (41). O equipamento usado foi um extrusor simples, semelhante ao Brady Crop Cooker. A temperatura de extrusão foi mantida a 143°C, taxa de alimentação de 32 rpm e diâmetro da matriz de 1,14 mm. O teor de umidade do material a ser processado (13,6; 17,4 e 21,4%), teve uma relação inversa com a taxa de produção (717; 680 e 652 kg/hr) e uma relação direta com a densidade (1,52; 2,69 e 3,27 g/cm³). Observaram que, aumentando o teor de umidade aumenta o tempo de retenção do material dentro do extrusor, diminuindo a taxa de produção.

MAGA & LORENZ (37) estudaram algumas propriedades sensoriais e funcionais de misturas de grits de milho ou milho integral com soja descascada na proporção de 70:30%, respectivamente. As misturas foram processadas em um extrusor Brady Crop Cooker Modelo 206, utilizando temperaturas de extrusão de 155 e 171°C. Os produtos obtidos da mistura de milho integral com soja, apresentaram coloração mais escura em relação a mistura composta de grits de milho e soja, com aumento da temperatura de extrusão.

CONWAY & ANDERSON (11), usando um extrusor experimental Wenger X-5 de rosca simples, prepararam produtos extrudados a partir de várias combinações de misturas de farinha de milho integral e degerminada, farinha de soja desengordurada, isolado ou concentrado proteico de soja, glúten de trigo ou farinha de trigo integral. A farinha de milho extrudada teve uma expansão de 4,0, enquanto que para a mistura composta de 83,2% de farinha de

milho e 16,8% de isolado proteico de soja a expansão foi de 3,5. Somente a mistura com 90% de farinha de milho e 10% de glúten de trigo teve uma expansão de 4,5. Em misturas de três componentes milho/soja/trigo, a expansão dos produtos extrudados variaram de 2,3 a 2,8. Por exemplo, a mistura composta de 20% de farinha de milho, 60% de farinha de trigo integral e 20% de farinha de soja teve uma expansão de 2,3. Observaram portanto, que a adição de farinha de trigo e produtos de soja tendem a diminuir a expansão das misturas extrudadas em relação a farinha de milho. Verificaram também que os produtos extrudados obtidos com as misturas de 3 componentes apresentaram índice de absorção de água de 3,9 - 4,4 g gel/g ms e índice de solubilidade em água de 13,5 a 21,7%, os quais foram menores que aqueles encontrados nas misturas de 2 componentes, onde o índice de absorção de água variou de 3,5 - 5,9 g gel/g ms e o índice de solubilidade em água de 15,6 - 38,2%, mostrando o efeito da farinha de trigo nas características físicas das misturas.

Sub-produtos da moagem do trigo foram misturados e processados com milho e soja, para obtenção de produtos tipo "snacks", usando um extrusor de laboratório Wenger X-5, BREEN et alii (7). As misturas foram condicionadas a 19,5% de umidade inicial. Farelo de trigo e pó de moinho ("dust mill") foram misturados na proporção de 50:50 e combinados com farinha de milho amarelo e isolado proteico de soja em um grande número de formulações. Da mistura contendo 30% de farelo de trigo e pó de moinho com 70% de farinha de milho amarelo, obteve-se produtos extrudados com taxa de

expansão de 1,8. Este valor foi baixo quando comparado ao produto com 100% de farinha de milho, o qual teve uma taxa de expansão de 2,8. A densidade dos produtos aumentou quando o teor de subprodutos da moagem do trigo foi aumentado nas misturas. Observa-se isto na mistura contendo 15% de subprodutos do trigo e 85% de farinha de milho, cuja densidade dos produtos extrudados foi de $8,8 \text{ g/cm}^3$, em relação a mistura contendo 25% de subprodutos da moagem do trigo e 75% de farinha de milho, onde a densidade foi de $11,2 \text{ g/cm}^3$. Entretanto a adição de isolado proteico de soja em níveis entre 13,4 e 16%, aumentou o teor de proteína sem comprometer a textura desejável do produto expandido, tendo também efeito reduzido no aumento da densidade observada pela adição do subproduto da moagem na proporção 50:50. Por exemplo, a mistura contendo 12,7% de subprodutos do trigo, 71,9% de farinha de milho e 15,4% de isolado proteico de soja, obteve-se uma densidade de $10,5 \text{ g/cm}^3$.

BRESSANI et alii (8) estudaram o efeito do tamanho das partículas (fina - 20 mesh, intermediária - 7 mesh e grosseiras - 3 mesh) de milho em misturas de 70% de farinha de milho integral e 30% de farinha de soja integral nas características dos produtos extrudados. As misturas foram condicionadas a 13,6; 17,4 e 21,4% de umidade inicial, taxa de alimentação de 32 rpm e temperatura de extrusão de 143°C para todas as amostras, utilizando um extrusor Brady. Os índices de absorção de água obtidos foram de 4,64; 4,57 e 5,12 g gel/g amostra extrudada respectivamente, para os 3 tamanhos da partícula (pequena, intermediária e grosseira).

ra), em comparação com 2,55; 2,77 e 2,82 g gel/ g amostra não extrudada. Apesar de ser observada algumas mudanças nas características de qualidade do produto extrudado em relação ao tamanho de partícula da matéria prima, os resultados não mostraram uma tendência definida. Entretanto eles sugerem que é preferível utilizar farinha com tamanho de partícula intermediária e grosseira, porque causam menos problemas de entupimento no extrusor.

Quatro variedades de milho indiano e feijão foram moídas, obtendo farinhas com partículas de 200 a 500 μ de tamanho. Semolinas de milho e farinha de feijão foram misturadas na proporção de 9:1, com teor de umidade inicial de 12% e extrudadas em um extrusor Brabender Measuring, Tipo 20 DN com matriz de 3 mm de diâmetro. A semolina de milho foi extrudada individualmente para efeito de comparação, verificando-se que os índices de expansão dos extrudados das farinhas compostas foram 2/3 dos índices da semolina do milho, devido ao maior teor proteico, MANOHARKU - MAR et alii (38).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Matéria prima

Foram utilizadas as seguintes matérias primas: farinha de milho degerminado (Fubã Mimoso); farinha de soja desengordurada e farelo de trigo, procedentes das indústrias regionais.

Fubã mimoso obtido da firma Farinha de Milho Elefante, Lavras - MG.

Farinha de soja adquirida da Pink Alimentos do Brasil Ltda., Belo Horizonte - MG.

Farelo de trigo adquirido do Moinho-Sul Mineiro, Varginha - MG.

3.2. Formulação da mistura

Foi utilizada como base da formulação a ser processada, fubã mimoso ao qual foram misturados farinha de soja desengordurada e farelo de trigo, na proporção seguinte:

- 70% de fubá mimoso;
- 15% de farinha de soja desengordurada; e
- 15% de farelo de trigo.

De acordo com os trabalhos revistos, observa-se que a maioria das misturas são compostas de 70% de milho e 30% de soja. Na nossa formulação, o fubá mimoso é usado por ser a matéria prima mais comum para alimentos fabricados pelo processo de extrusão, devido a textura e expansão, obtida quando este é processado por extrusão e também por estar entre os principais cereais cultivados no Brasil. A farinha de soja, sub-produto da indústria do óleo, também é muito utilizada e recomendada em trabalhos de extrusão, devido ao seu alto teor protéico e a complementação em aminoácidos com a proteína do fubá mimoso. O farelo de trigo, sub-produto da moagem de trigo, como fonte de vitaminas, minerais e proteínas, o qual é normalmente destinado a ração animal. Baseados nos teores de proteína do fubá mimoso, farinha de soja e farelo de trigo, a substituição de 15% da farinha de soja nas misturas normalmente utilizadas de milho e soja (70:30) por farelo de trigo, ainda deixa uma proporção de 45% da proteína de soja na mistura, e um bom teor médio de proteína (14%).

3.3. Equipamento

A mistura foi processada em um extrusor experimental de fabricação nacional de rosca única, de marca Miotto, instalado no Laboratório de Tecnologia de Grãos e Cereais - Departamento de Ci

ência dos Alimentos - ESAL.

O extrusor consta de um painel de comando e controle, motor de corrente contínua com variador de velocidade e conjunto de extrusão com alimentador, cilindro e cabeçote.

O sistema de aquecimento consiste de três resistências elétricas e para melhor controle deste sistema, o extrusor dispõe de três serpentinas instaladas ao redor do cilindro (uma em cada zona), através das quais circula-se ar comprimido. O fluxo de ar é regulado manualmente por meio de válvulas independentes. A medição da temperatura é feita por três termopares elétricos situados um em cada zona, e registrada no painel. Do mesmo modo, as velocidades da rosca e do sistema de alimentação são controladas e registradas no painel.

3.4. Processamentos

Foram estudadas neste trabalho as variáveis temperatura e teor de umidade inicial da mistura. A mistura foi processada nas condições abaixo:

Condições Nº	Teor de umidade inicial (%)	Temperatura (°C) 2ª e 3ª zona
1	14	120
2	14	140
3	14	160
4	17	120
5	17	140
6	17	160
7	20	120
8	20	140
9	20	160
10	20	180

Foram realizados, ainda, três ensaios, usando somente fubã mimoso, nas condições 8,9 e 10, para efeito de comparação.

As outras variáveis do extrusor foram fixadas da seguinte maneira:

Temperatura da 1ª zona - 100°C

Rotação da rosca - 200 rpm

Alimentação - 50 rpm

Taxa de compressão - 1:2

Diâmetro da matriz - 3,9 mm

Foram utilizadas em cada processo 1.000 g da farinha mista. Para condicionar a mistura aos teores de umidade dos ensaios, a água foi adicionada lentamente, sob agitação manual em uma bandeja plástica com auxílio de uma espátula. Após adicionar toda a água misturou-se por mais 10 minutos. Em seguida o material ficou em repouso na bandeja por 2 horas antes do processamento, para promover uma maior uniformização da umidade.

3.4.1. Produção

Para calcular a produção de extrudados nos diversos ensaios, foram coletadas amostras a intervalos de 1 minuto de extrusão. Estas amostras foram pesadas imediatamente após a extrusão e em seguida foram determinados os pesos secos em estufa a 105°C e calculado os teores de umidade dos mesmos.

Após determinação de umidade, as amostras foram coloca

das em sacos plásticos e armazenadas em congelador para as análises físicas posteriores. Parte das amostras foram moídas em moíno de martelo, passando por uma peneira com malhas de 0,5 mm, colocadas em frascos de vidro e armazenadas em congelador para a realização dos testes físicos-químicos e análises químicas.

3.5. Métodos analíticos

3.5.1. Teste granulométrico

A classificação granulométrica das farinhas foi realizada em peneiras "*granutest*" montadas em um vibrador "*produtest*". Foram utilizadas as peneiras de nº 40 (420 μ), 60 (250 μ), 80, (177 μ), 100 (149 μ), 140 (105 μ) e 200 (74 μ) (ABNT).

3.5.2. Diâmetro dos extrudados

De cada amostra extrudada foram tomados 10 pedaços de 5 cm de comprimento, onde foram feitas três (3) medições do diâmetro usando-se um paquímetro.

3.5.3. Densidade dos extrudados

Foi inicialmente calculada a área transversal e o volume (área x comprimento) dos produtos extrudados para posterior cálculo das suas densidades.

3.5.4. Expansão dos extrudados

O Índice de expansão é dado pela relação entre o diâmetro do produto extrudado e o diâmetro da matriz.

3.5.5. Índice de absorção de água (IAA)

Foi determinado pelo método descrito por ANDERSON et alii (3). Suspendeu-se 2,5 g da amostra de farinha em 30 ml de água destilada a 30°C, em tubo de centrífuga de 50 ml, pesado previamente. A suspensão foi submetida a agitação intermitente durante um período de 30 minutos a 30°C. Em seguida, a suspensão foi centrifugada a 3.000 rpm por 10 minutos, o sobrenadante foi cuidadosamente separado e o peso do gel determinado.

O Índice de absorção de água é expresso como a relação entre o peso do gel e o peso seco da amostra (g gel/g ms), do qual se subtrai o peso do resíduo de evaporação do sobrenadante.

$$I.A.A. = \frac{\text{Peso do gel de centrifugação}}{\text{Peso seco da amostra} - \text{peso do resíduo de evaporação}}$$

3.5.6. Índice de solubilidade em água (ISA)

O sobrenadante do teste anterior é evaporado em estufa a 105°C até peso constante. O Índice de solubilidade é expresso, então, pela relação entre o peso do resíduo de evaporação e o peso seco da amostra.

$$\text{I.S.} = \frac{\text{Peso do resíduo de evaporação}}{\text{Peso seco da amostra}} \times 100$$

3.5.7. Teor de proteína solúvel

A proteína solúvel foi determinada nas farinhas cruas e nas misturas extrudadas, utilizando o método AACC (2) com algumas modificações. A extração foi feita com 5 g de farinha em 250 ml de água destilada e agitação por 2 horas a 30°C. Após a agitação a suspensão foi centrifugada a 3.000 rpm. Foram pipetados 5 ml do extrato para determinação de nitrogênio pelo método Kjeldahl. O teor de proteína foi calculado usando-se o fator 6,25.

3.5.8. Viscosidade

A determinação da viscosidade foi feita utilizando-se o viscoamilógrafo Brabender, na faixa de temperatura de 25 até 95°C, com aumentos de 1,5°C por minuto, temperatura constante a 95°C por 15 minutos e resfriamento até 50°C com diminuições de temperatura de 1,5°C por minuto.

As seguintes medidas foram utilizadas para interpretar os amilogramas:

- a) *Viscosidade a 25°C* — é o valor da viscosidade da suspensão em unidades amilográficas (U.A.) a 25°C no ciclo de aquecimento.
- b) *Temperatura inicial de pasta* — é a temperatura corresponden-

te ao ponto onde inicia o aumento da viscosidade durante o ciclo de aquecimento.

- c) *Viscosidade a 95°C* — corresponde ao valor da viscosidade em U.A. quando a suspensão chega a 95°C no ciclo de aquecimento.
- d) *Viscosidade final a 50°C* — corresponde ao valor da viscosidade em U.A. à temperatura de 50°C no ciclo de resfriamento.

Os amilogramas das amostras foram obtidos em suspensões contendo 60 g de matéria seca em 450 ml de água destilada.

3.6. Análise estatística

As análises de variância foram realizadas segundo SNEDECOR & COCHRAN (50) para o delineamento inteiramente casualizado, esquema fatorial (3 temperaturas e 3 umidades ou 3 temperaturas e 2 componentes) com um tratamento adicional (umidade 20% e temperatura 180°C). As comparações entre as médias foram feitas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os cálculos foram feitos no CPD-ESAL (Centro de Processamento de Dados - ESAL, em computador PDPII Digital).

3.7. Análises químicas

- a) *Umidade* — em estufa regulada a 105°C, de acordo com HORWITZ (28).

- b) *Proteína* — determinou-se o conteúdo de nitrogênio, utilizando o método Micro-Kjeldahl, conforme HORWITZ (28). O teor prtéico foi calculado usando-se o fator $N \times 6,25$.
- c) *Gordura* — foi determinado o extrato etéreo com auxílio do extrator contínuo de Soxhlet, de acordo com HORWITZ (28).
- d) *Fibras* — a determinação de fibra foi feita pelo método de VANDE & GINKEL (51).
- e) *Cinzas* — determinada por incineração do material em mufla regulada a 550°C até peso constante, de acordo com HORWITZ (28).
- f) *Amido* — extração segundo técnica de HORWITZ (28) e dosado após hidrólise, pelo método de Somogyi, NELSON (43).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características da matéria prima

4.1.1. Classificação granulométrica

O resultado da análise granulométrica é apresentado na Tabela 1. Pode-se verificar que 76,5% do fubá apresentou um diâmetro de partícula menor que 420 μ e maior que 149 μ , enquanto que 73,3% da farinha de soja apresentou um diâmetro de partícula menor que 149 μ . Verificou-se também, que 68,4% do farelo de trigo apresentou um diâmetro de partícula maior que 420 μ , enquanto que 40,3% da farinha de soja foi inferior a 74 μ . As perdas durante os testes com as matérias primas foram inferiores a 1%.

4.1.2. Índices de solubilidade e absorção de água

Os valores médios dos índices de solubilidade e absorção de água da mistura antes da extrusão foram, respectivamente, 10,25% e 3,56 g gel/g ms. Este valor foi similar ao encontrado por BRESSANI et alii (8) na mistura contendo 70% de farinha de mi

lho integral e 30% de farinha de soja integral, cujo índice de absorção de água foi de 2,82 g gel/g ms. Para o fubá mimoso, o índice de absorção de água foi de 2,74 g gel/g ms e o índice de solubilidade em água de 2,07%. As baixas capacidades de absorção de água e solubilidade em água são consideradas normais, tendo em vista que os grânulos de amido presentes na mistura e no fubá mimoso ainda não sofreram modificações.

Tabela 1. Classificação granulométrica das matérias primas

Sobre peneira ABNT N ^o	Tamanho de partículas (μ)	Material retido (%)*		
		Fubá mimoso	Farinha de soja	Farelo de trigo
40	> 420	12,00	0,49	68,42
60	250 - 420	34,02	1,90	17,55
80	177 - 250	22,67	12,51	8,02
100	149 - 177	19,86	11,71	4,35
140	105 - 149	6,83	14,73	1,07
200	74 - 105	2,29	18,26	0,15
Fundo	< 74	1,37	40,27	0,24
Perdas (%)		0,96	0,13	0,20

* Média de 2 repetições.

4.1.3. Composição química

A composição química do fubá mimoso, farinha de soja de sengordurada, farelo de trigo e da mistura destas matérias primas

é mostrada na Tabela 2. Os valores encontrados são similares com os citados na literatura (9, 14, 19, 29, 35, 44).

Tabela 2. Composição química em base úmida das matérias primas e da mistura

Componentes % bu	Fubã mimoso	Farinha de soja desengordurada	Farelo de trigo	Mistura
Umidade	11,99	9,51	13,32	12,05
Proteína ¹	7,90	43,14	14,70	14,54
Gordura	1,09	1,19	4,67	1,62
Fibra	0,74	2,78	10,34	2,68
Cinza	0,55	5,65	5,23	2,17
Amido	67,22	7,60	31,43	54,60
Outros carboidratos ²	10,51	30,13	20,31	12,34

¹ - N x 6,25.

² - Calculados por diferença.

4.1.4. Viscosidade

Os amilogramas obtidos para a mistura e o fubã mimoso são mostrados na Figura 1 e as principais características dos amilogramas são apresentadas na Tabela 3.

A mistura apresentou uma temperatura inicial de pasta de 76°C e atingiu uma viscosidade máxima, no ciclo de aquecimento, de 250 U.A. à temperatura de 95°C. Após 15 minutos à temperatura constante de 95°C, a viscosidade também manteve constante,

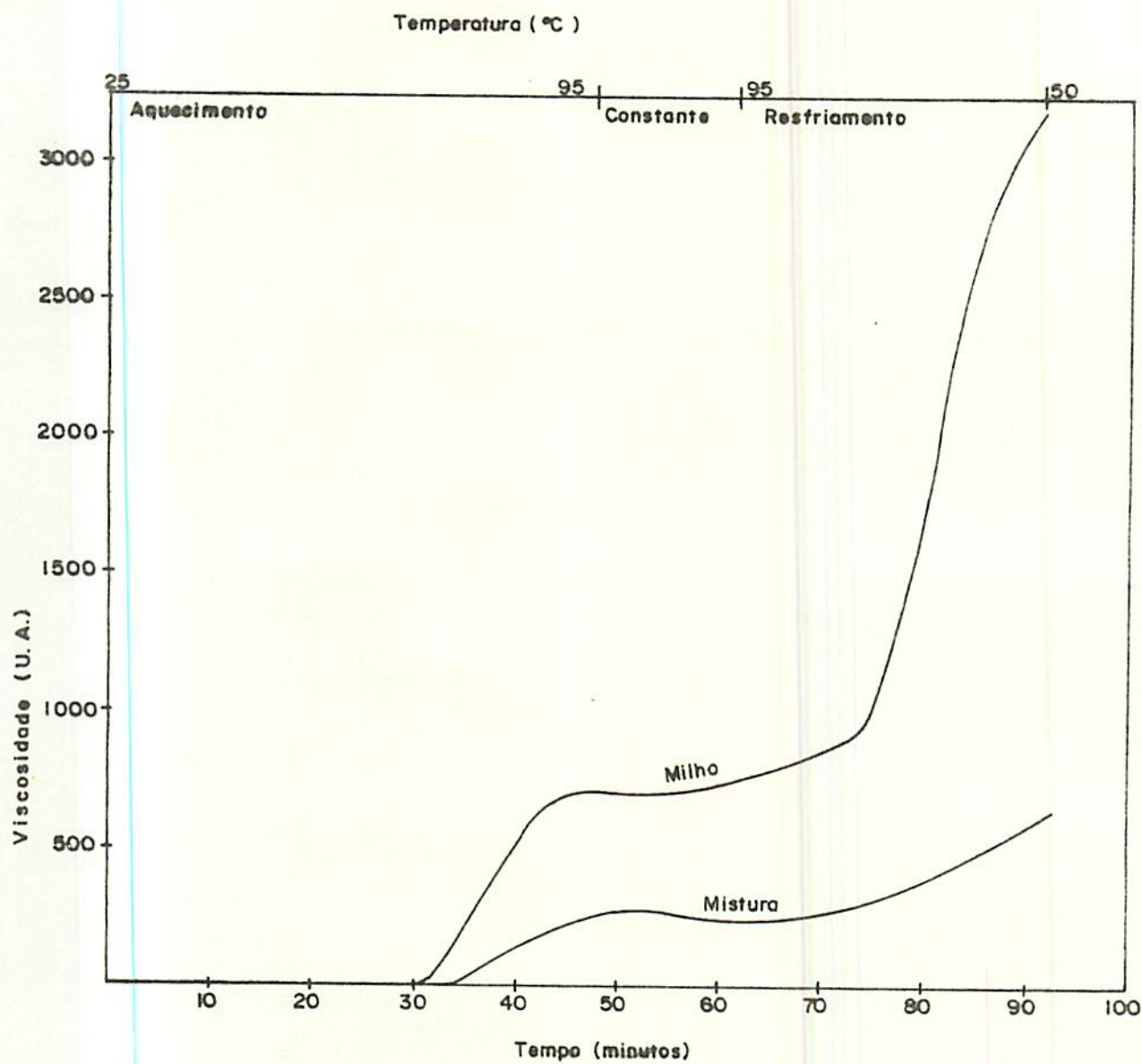


Figura 1. Viscosidade do fubã mimoso e da mistura não processados

250 U.A. e durante o ciclo de resfriamento aumentou, devido à retrogradação, atingindo um valor final de 610 U.A. a 50°C.

Tabela 3. Características da viscosidade da mistura e do fubã mimoso, conc. 60 g ms/450 ml H₂O

Características	Mistura	Fubã mimoso
Temperatura inicial de pasta (°C)	76	71
Viscosidade a 95°C (U.A.)	250	700
Viscosidade após 15 min. a 95°C (U.A.)	250	740
Viscosidade final a 50°C (U.A.)	610	3.220

O fubã mimoso apresentou uma temperatura inicial de pasta de 71°C e atingiu uma viscosidade máxima, no ciclo de aqueci-mento, de 700 U.A. à temperatura de 95°C. Após 15 minutos à temperatura constante de 95°C a viscosidade foi de 740 U.A. e duran-te o ciclo de resfriamento aumentou progressivamente, devido à retrogradação atingindo um valor final de 3.220 U.A. a 50°C.

O amilograma da mistura apresentou viscosidade inferior à do fubã mimoso o que foi devido a presença da farinha de soja e do farelo na mistura, que teve efeito de diluição do amido em relação ao fubã mimoso.

4.2. Extrusão da mistura e do fubá mimoso

Na Figura 2 ilustram-se os produtos extrudados obtidos a partir da mistura composta de 70% de fubá mimoso, 15% de farinha de soja desengordurada e 15% de farelo de trigo.

Devido a instabilidade do extrusor, não foram possíveis os processamentos para teores de umidade inicial a 14 e 17% à temperatura de 180°C. Houve problemas de compactação da mistura na entrada do alimentador, desuniformidade do fluxo e paralização do processo.

Foram realizados, três ensaios, com fubá mimoso, nas temperaturas de 140, 160 e 180°C com 20% de umidade, para efeito de comparação com a mistura. Esta umidade foi fixada devido a maior estabilidade durante os processamentos. As demais variáveis foram fixadas conforme página 19, Material e métodos.

A Figura 3 mostra as fotografias dos produtos extrudados da mistura e do fubá de milho com diferentes temperaturas. Os três ensaios com fubá mimoso foram realizados para efeito de comparação com a mistura. Esta umidade a 20% foi fixada devido a maior estabilidade durante os processamentos. Observa-se nitidamente a diferença de cor dos produtos extrudados. Podem ser atribuídos a vários fatores a coloração mais escura dos extrudados a partir da mistura em relação aos do fubá como, o efeito da diluição dos pigmentos (xantofilas) presentes no fubá mimoso; à adição de outras farinhas; a maior probabilidade da reação de Mail-

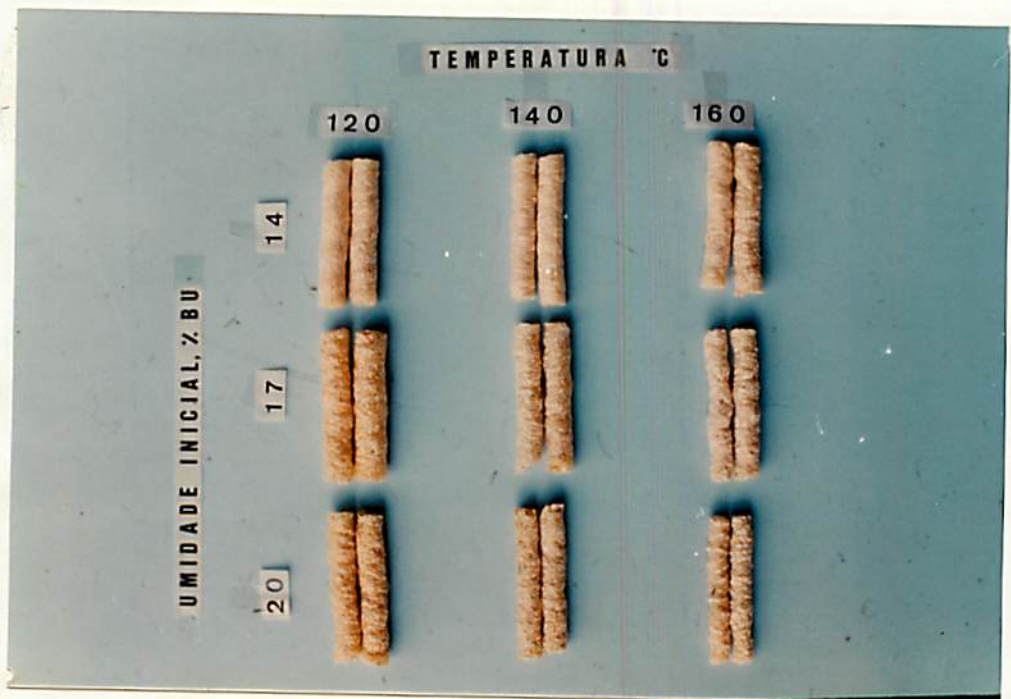


Figura 2. Fotografia dos produtos extrudados da mistura com diferentes temperaturas e teores de umidade

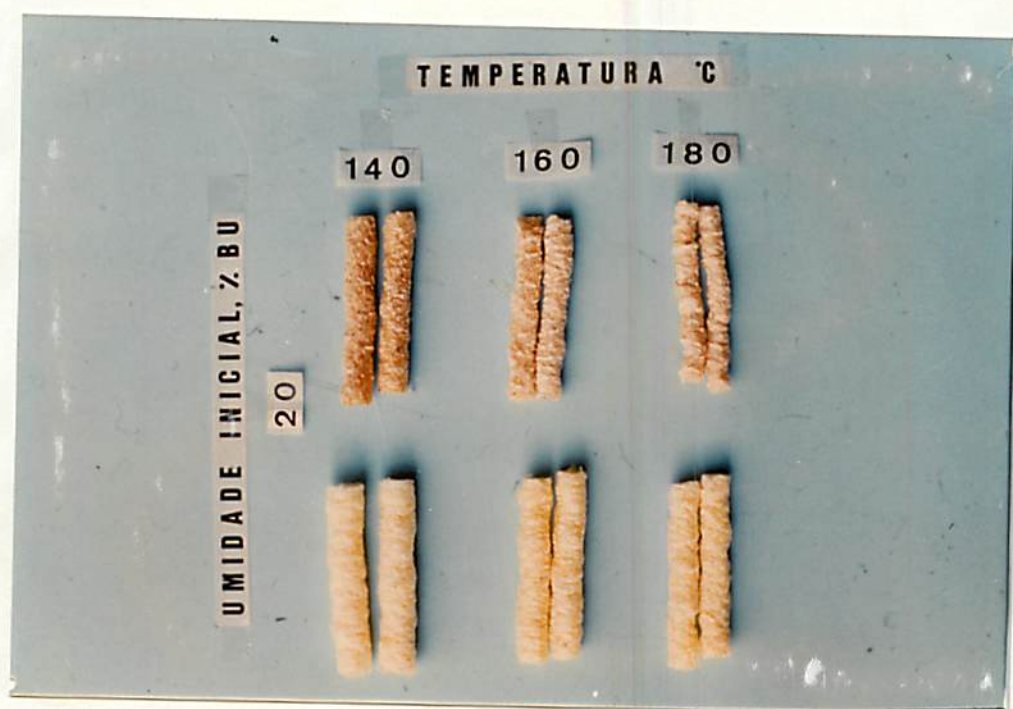


Figura 3. Fotografia dos produtos extrudados da mistura (em cima) e do milho (em baixo) a 20% de umidade e nas temperaturas de 140, 160 e 180°C

lard devido ao maior teor protéico da farinha de soja presente na mistura e a presença de maior quantidade de fibras.

4.2.1. Produção de extrudados

4.2.1.1. Mistura

Os dados de produção de extrudados da mistura em função do teor de umidade e temperatura encontram-se na Tabela 4. A análise de variância, no Anexo 1, mostrou que a temperatura, umidade e a interação entre estes fatores foram altamente significativas para a produção.

Tabela 4. Comparações entre as médias na produção (g/min.) de extrudados da mistura em função do teor de umidade inicial e temperatura

Teor de umidade (%)	Temperatura (°C)		
	120	140	160
14	76,58 aC	81,67 aC	80,36 aB
17	91,45 bB	86,21 cB	100,00 aA
20	106,86 aA	96,13 bA	96,33 bA

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na mesma linha e maiúscula na mesma coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os resultados mostraram que a 14% de umidade, a produção de extrudados não apresentou diferenças significativas para as temperaturas estudadas, no entanto, a 20% de umidade a produção apresentou um aumento significativo apenas para a temperatura de 120°C. As temperaturas tiveram efeitos variados na produção a 17% de umidade.

O teor de umidade inicial das amostras, por sua vez, influenciou a produção dos extrudados para todas as temperaturas testadas. A medida que aumentou o teor de umidade, houve aumento significativo da produção, com exceção da temperatura de 160°C, onde a maior produção ocorreu com umidade a 17%, como pode ser observado na Figura 4.

Conforme Anexo 1 e Figura 4, pode-se observar que o tratamento adicional a umidade 20% e temperatura 180°C (88,93 g/min.), demonstrou um comportamento semelhante aos demais fatores estudados (média geral - 90,95 g/min.) em relação a produção de extrudado.

4.2.1.2. Comparação dos extrudados da mistura e do milho

Os resultados da Tabela 5 mostram os dados de produção dos extrudados da mistura e do milho em função da temperatura. A análise de variância, apresentada no Anexo 2, mostrou que a temperatura e a interação entre temperatura x mistura x milho foram altamente significativas, enquanto que o tipo de componentes não

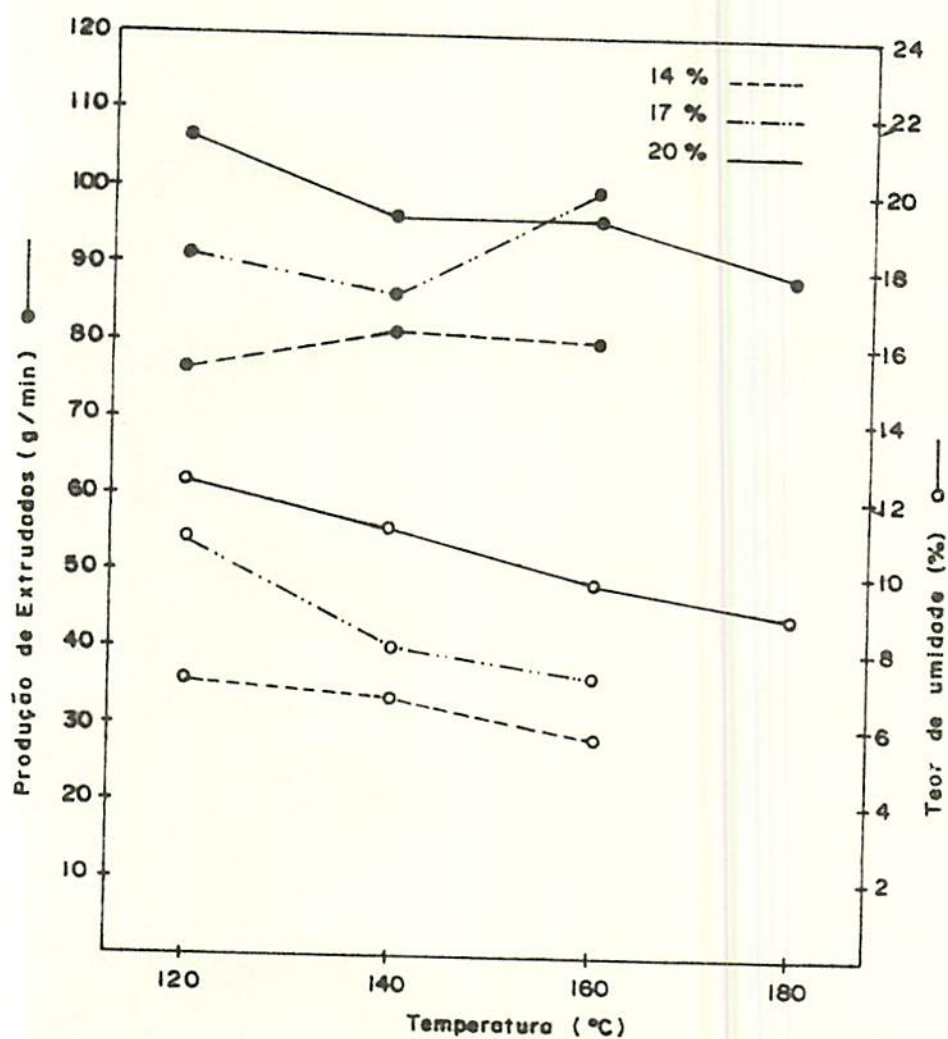


Figura 4. Efeito da temperatura e umidade na produção e teor de umidade após a extrusão da mistura

afetou significativamente a produção.

Tabela 5. Comparações entre as médias na produção (g/min.) de extrudados da mistura e do milho em função da temperatura a 20% de umidade

Componentes	Temperatura (°C)			Média
	140	160	180	
Mistura	96,13 a	96,33 a	88,93 b	93,31
Milho	80,07 b	101,06 a	102,82 a	94,65

Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os resultados mostraram que a produção dos extrudados da mistura tendeu a diminuir com o aumento da temperatura, porém, uma relação inversa ocorreu com o milho, a produção aumentou com aumento da temperatura (Figura 5 e Tabela 5). Em trabalho realizado por HARMANN & HARPER (22), durante a extrusão de grits de milho desengordurado, a temperatura (138; 154 e 171°C) não influenciou a produção de extrudados. MAURICE & STANLEY (39) também verificaram em extrusão de farinha de soja desengordurada, que a influência da temperatura não foi significativa.

A diminuição da produção de extrudados da mistura a 180°C, pode ser devido a natureza heterogênea (milho, soja e tri

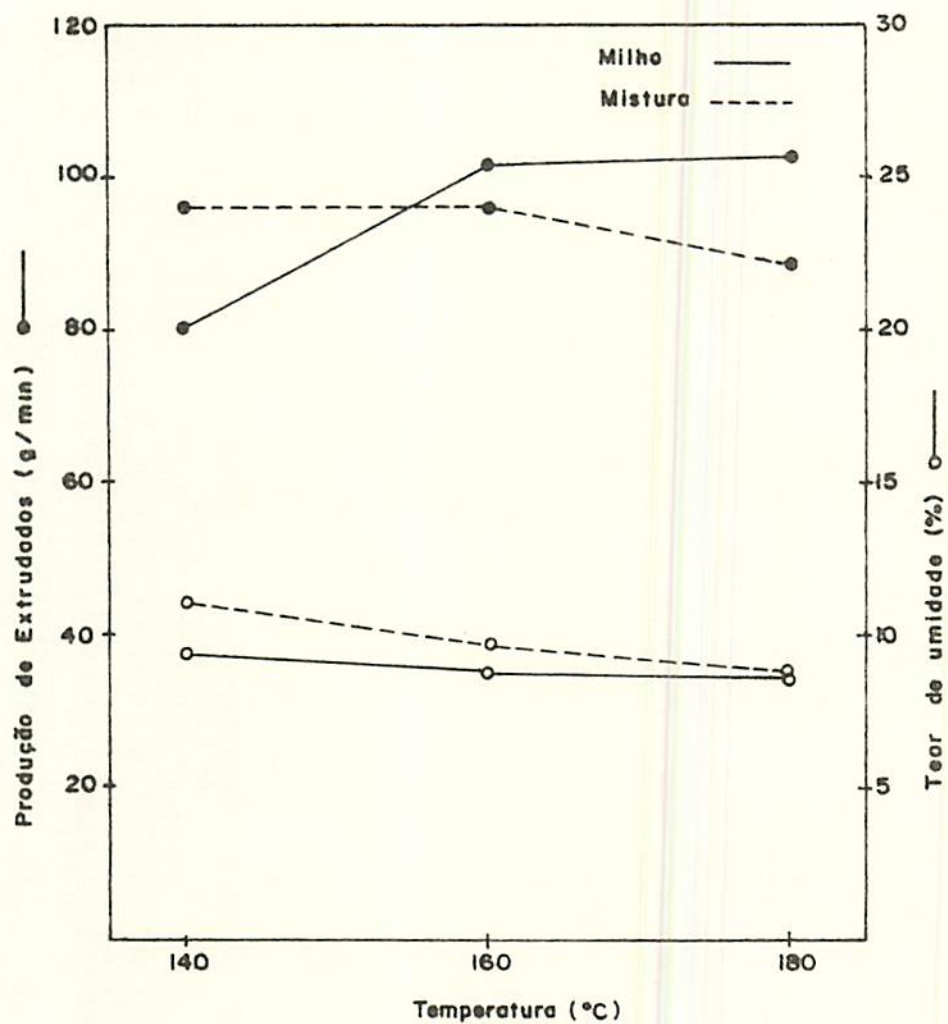


Figura 5. Efeito da temperatura de extrusão na produção e umidade dos extrudados de milho e da mistura

go) do material e problemas de fluxo a esta temperatura.

Diversos fatores podem ter influenciado o aumento da produção de extrudados de milho com aumento da temperatura: natureza homogênea do material, farinha com teor predominante de amido e baixo teor de gordura.

4.2.2. Teor de umidade dos extrudados

4.2.2.1. Mistura

Os valores do teor de umidade dos produtos extrudados após a extrusão, em função do teor de umidade inicial e temperatura são mostrados na Tabela 6.

Tabela 6. Comparações entre as médias do teor de umidade (%) dos extrudados da mistura após a extrusão em função do teor de umidade inicial e temperatura

Teor de umidade (%)	Temperatura (°C)		
	120	140	160
14	7,18 aC	6,70 bC	5,76 cC
17	10,83 aB	8,07 bB	7,36 cB
20	12,33 aA	11,00 bA	9,65 cA

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na mesma linha e maiúscula na mesma coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A análise de variância, no Anexo 3, mostrou que a temperatura, umidade e a interação entre estes fatores foram altamente significativos para o teor de umidade após a extrusão.

Os resultados mostraram que as maiores temperaturas de extrusão levaram a menores teores de umidade do produto extrudado, o que pode ser atribuído a maior perda de vapor do produto, assim que ele emerge da matriz. Esses resultados podem ser observados na Figura 4.

Na Figura 2, observa-se que a 14% de umidade, os produtos extrudados apresentaram uma superfície mais lisa, diferente das demais, principalmente a temperatura de 120 e 140°C. Esta característica pode ser explicada pela menor evaporação da água superaquecida provocando menor pressão na superfície dos produtos.

Conforme Anexo 3 e Figura 4, pode-se observar que o tratamento adicional a umidade 20% e temperatura 180°C (8,82%) demonstrou um comportamento semelhante aos demais fatores estudados (média geral - 8,69%) em relação ao teor de umidade após extrusão.

4.2.2.2. Comparação dos extrudados da mistura e do milho

Os valores do teor de umidade dos produtos extrudados da mistura e do milho em função da temperatura, são apresentados na Tabela 7. A análise de variância, no Anexo 4, mostrou que to

dos os fatores foram altamente significativos.

Tabela 7. Comparações entre as médias do teor de umidade (%) dos extrudados da mistura e do milho após a extrusão em função da temperatura a 20% de umidade

Componentes	Temperatura (°C)			Média
	140	160	180	
Mistura	11,00 a	9,65 b	8,82 c	9,80 A
Milho	9,33 a	8,89 ab	8,63 b	8,95 B

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na mesma linha e maiúscula na mesma coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey, e pelo teste F respectivamente.

Os resultados mostraram que o teor de umidade após a extrusão, tanto da mistura como do milho, diminuiu ligeiramente com o aumento da temperatura, conforme Tabela 7 e Figura 5. Este comportamento foi o mesmo encontrado por MAGA & LORENZ (37) e ALBUQUERQUE (1) durante a extrusão de milho/soja e farinha de milho, respectivamente.

Observa-se ainda, que a perda do teor de umidade após a extrusão foi menor para a mistura, talvez pelo fato de ser um material heterogêneo (com maiores teores de fibras e proteínas), o que acarretaria uma menor vaporização de umidade quando o pro-

duto expande ao deixar a matriz, principalmente a 140 e 160°C.

4.2.3. Expansão dos extrudados

4.2.3.1. Mistura

Os resultados referentes a expansão dos extrudados em função do teor de umidade e temperatura encontram-se na Tabela 8. A análise de variância, no Anexo 5, mostrou que todos os fatores foram altamente significativos.

Tabela 8. Comparações entre as médias na expansão do extrudado da mistura em função do teor de umidade inicial e temperatura

Teor de umidade (%)	Temperatura (°C)		
	120	140	160
14	2,32 aB	2,18 bAB	2,20 bA
17	2,58 aA	2,28 bA	2,14 cA
20	2,30 aB	2,10 bB	1,82 cB

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na mesma linha e maiúscula na mesma coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Observa-se que a expansão dos extrudados diminuiu com o aumento da temperatura, para os três teores de umidade estuda-

dos, com um comportamento mais evidente nos processos a 20% de umidade. Porém, a 14% de umidade a expansão apresentou um leve acrêscimo a temperatura de 160°C, em relação a temperatura de 140°C. As Figuras 2 e 6, ilustram nitidamente estes efeitos.

Quando a massa em extrusão passa através da matriz a pressão é rapidamente liberada, e a água superaquecida evapora instantaneamente provocando expansão do produto. A alta temperatura causa uma evaporação violenta da umidade, criando um produto expandido e seco. Provavelmente, a redução da expansão com o aumento da temperatura ocorreu, devido a não resistência da estrutura do produto gelatinizado a temperaturas mais elevadas.

Em alguns trabalhos realizados, usando o processo de extrusão (25, 27, 34, 40), foi verificado que a umidade e a temperatura foram as variáveis que mais influenciaram a expansão.

No presente estudo foi verificado que o teor de umidade também influenciou a expansão dos extrudados em todas as temperaturas, com expansão menor a 20%. Esse comportamento era esperado pois, segundo MERCIER & FEILLET (40) e LAWTON et alii (33), há uma tendência de diminuição da expansão dos produtos com aumento do teor de umidade. Porém a 120 e 140°C, houve um aumento da expansão quando se aumentou a umidade inicial de 14 a 17%.

4.2.3.2. Comparação dos extrudados da mistura e do milho

Os resultados referentes a expansão dos extrudados da

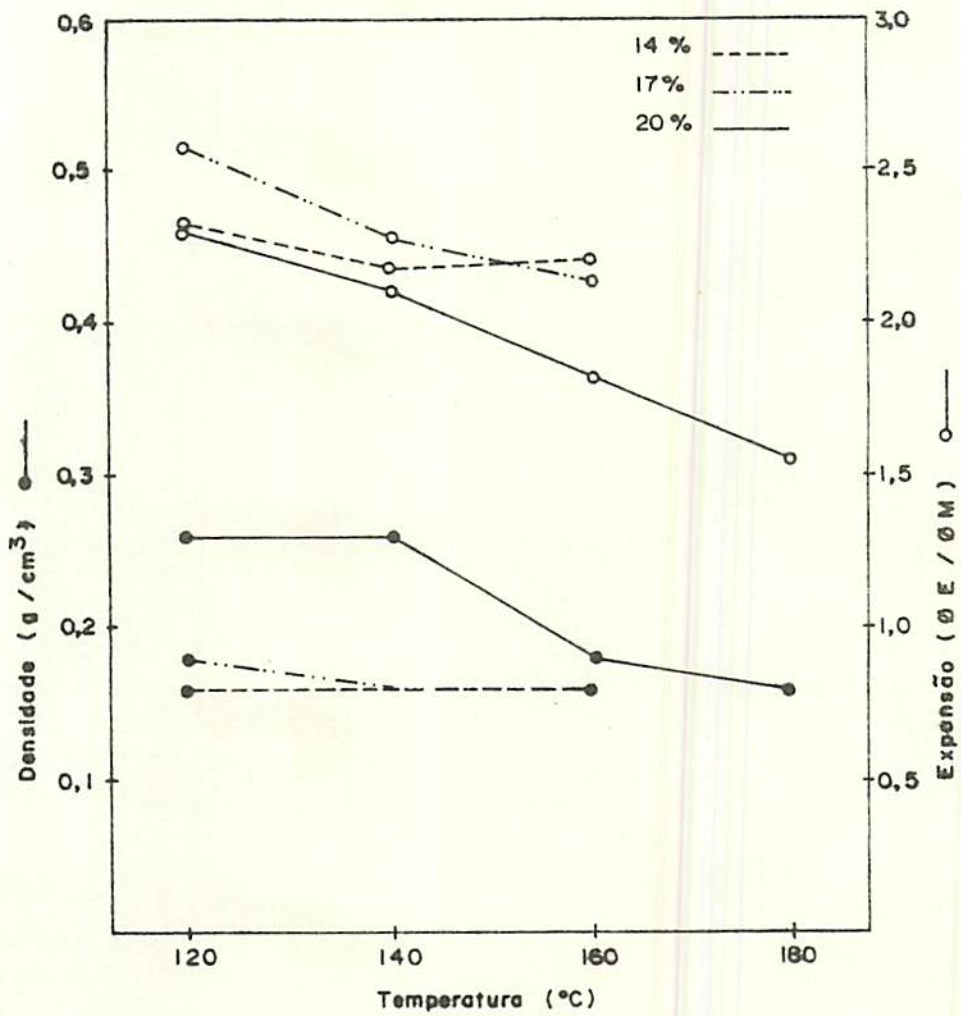


Figura 6. Efeito da temperatura e umidade na densidade e expansão dos extrudados da mistura

mistura e do milho em função da temperatura encontram-se na Tabela 9. A análise de variância, no Anexo 6, mostrou que apenas a temperatura e os componentes foram altamente significativos.

Tabela 9. Comparações entre as médias na expansão dos extrudados da mistura e milho em função da temperatura a 20% de umidade

Componentes	Temperatura (°C)			Média
	140	160	180	
Mistura	2,10	1,82	1,55	1,82 B
Milho	2,42	2,16	2,00	2,19 A

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na mesma linha e maiúscula na mesma coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey, e pelo teste F respectivamente.

Os resultados mostraram que a expansão dos extrudados da mistura e do milho apresentou uma diminuição com aumento da temperatura. Esta diminuição se justifica possivelmente, a não resistência da estrutura do produto a temperaturas mais elevadas, devido a maior gelatinização.

A expansão do produto ao sair do extrusor é um reflexo das características do gel e da taxa de evaporação da água ao sair da matriz. Em produtos com teor predominante de amido como em fa

rinhas amiláceas (milho) há uma forte tendência à expansão e porosidade. Em farinhas protéicas (como a de soja por exemplo), en tretanto, a proteína se orienta em fibras alongadas e adquire uma estrutura lamelar, mais densa e com pouca expansão, VILELA (52). Pelo exposto, observa-se nas Figuras 3 e 7, que a mistura apre - sentou menor expansão que o milho, o que foi provavelmente devi - do a tendência de formar estas estruturas simultaneamente. A pre sença de farelo na mistura, também pode ter tido influência na ex pansão. GUY (21) verificou que as razões para as diferenças no desempenho de farelo integral e farinha branca de trigo, no volu me e na forma do produto extrudado, podem residir nas etapas de desenvolvimento do extrusor ou nos estágios de expansão onde as células gasosas formam a estrutura do produto. Segundo este au - tor, é possível que grandes partículas de farelo que passaram pe lo extrusor tendam a romper as paredes das células gasosas duran te o estágio de expansão; por serem suficientemente grandes para limitar a extensibilidade das suas paredes celulares. CONWAY & ANDERSON (11) observaram que a adição de farinha de trigo e pro - dutos de soja à farinha de milho tendem a diminuir a expansão das misturas extrudadas. MANOHARKUMAR et alii (38) também verifica - ram que a adição de farinha de feijão a semolina de milho na pro porção de 1:9 reduziu em 1/3 o índice de expansão dos estrudados.

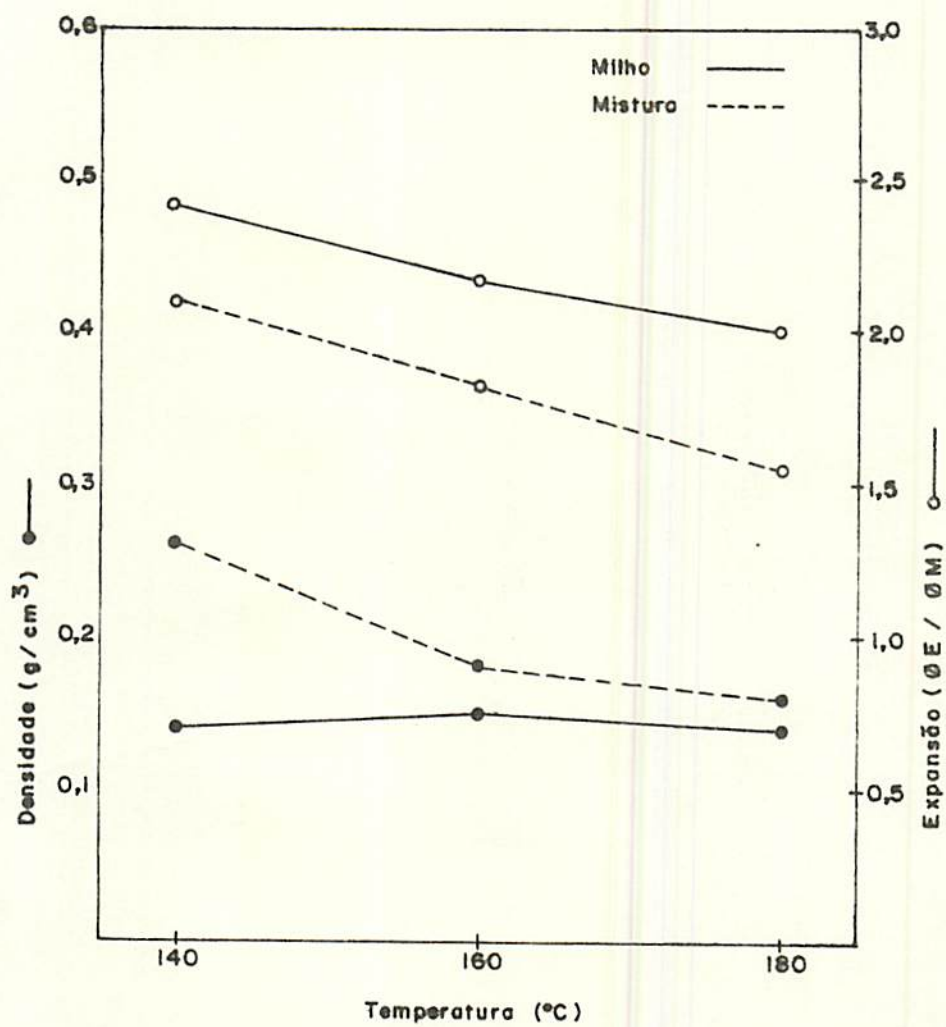


Figura 7. Efeito da temperatura de extrusão na densidade e expansão dos extrudados de milho e da mistura

4.2.4. Densidade dos extrudados

4.2.4.1. Mistura

O efeito combinado do teor de umidade e temperatura na densidade dos extrudados é mostrado na Tabela 10. A análise de variância, apresentada no Anexo 5, mostrou que todos os fatores foram significativos.

Tabela 10. Comparações entre as médias na densidade (g/cm^3) dos extrudados da mistura em função do teor de umidade inicial e temperatura

Teor de umidade (%)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)		
	120	140	160
14	0,16 aB	0,16 aB	0,16 aA
17	0,18 aB	0,16 aB	0,16 aA
20	0,26 aA	0,26 aA	0,18 bA

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na mesma linha e maiúscula na mesma coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade; pelo teste de Tukey.

Os resultados mostraram que a 14 e 17% de umidade, a densidade dos extrudados não apresentou diferenças significativas para as temperaturas estudadas, no entanto, a 20% de umidade a densidade apresentou uma diminuição significativa apenas para a

temperatura de 160°C.

O teor de umidade inicial, por sua vez, influenciou a densidade dos extrudados para temperaturas de 120 e 140°C, onde a maior densidade ocorreu com umidade a 20%, obtendo o mesmo valor para as duas temperaturas. Porém, os resultados obtidos para a temperatura de 160°C não apresentaram diferenças significativas para as umidades estudadas.

MOLINA et alii (41) durante a extrusão de milho/soja, observaram que o teor de umidade do material a ser processado teve uma relação direta com a densidade.

Pode-se observar na Figura 6, que a densidade dos extrudados diminuiu com o aumento da temperatura de 140 a 180°C, para 20% de umidade. Segundo VILELA (52) o aumento da temperatura diminui a viscosidade do gel dentro do extrusor e aumenta a velocidade de evaporação na saída. Estes dois fenômenos fazem com que o produto extrudado tenha uma porosidade maior e portanto menor densidade.

4.2.4.2. Comparação dos extrudados da mistura e do milho

Os dados obtidos para a densidade dos extrudados da mistura e do milho em função da temperatura são mostrados na Tabela 11. A análise de variância, apresentada no Anexo 6, mostrou que todos os fatores foram altamente significativos.

Tabela 11. Comparações entre as médias na densidade (g/cm^3) dos extrudados da mistura e do milho em função da temperatura a 20% de umidade

Componentes	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)			Média
	140	160	180	
Mistura	0,26 a	0,18 b	0,16 c	0,20 A
Milho	0,14 a	0,15 a	0,14 a	0,14 B

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na mesma linha e maiúscula na mesma coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey, e pelo teste F respectivamente.

Os resultados mostraram que a densidade dos extrudados de milho não apresentou diferenças significativas nas temperaturas estudadas. Porém, a densidade diminuiu com aumento da temperatura para os extrudados da mistura (Figura 7), devido provavelmente a diminuição da viscosidade a partir do aumento da temperatura permitindo a massa expandir mais facilmente. Além disso o aumento da pressão de vapor a medida que a temperatura aumenta, pode também ter causado o aumento da expansão da massa da mistura na saída da matriz.

Observa-se também, que a mistura apresentou produtos mais densos em relação ao milho, nas mesmas condições de extrusão. ANDERSON et alii (4) observaram que a proporção entre ami-

do e fibra teve grande influência na densidade do produto. Produtos mais expandidos e com baixa densidade foram obtidos com misturas contendo maior proporção de amido e menor proporção de farelo. BREEN et alii (7) mantendo constante o nível de farelo em 15% determinaram o efeito da variação a diferentes proporções de semolina e amido de trigo na expansão dos produtos extrudados. Foi verificado que as misturas contendo níveis mais altos de semolina tiveram maiores valores de expansão e menores de densidade. Trabalhando com sub-produtos do trigo e farinha de milho estes autores também observaram que a densidade aumentou quando se elevaram os teores de sub-produtos de trigo na mistura.

4.2.5. Teor de proteína solúvel

Na Tabela 12 pode-se observar os valores de proteína solúvel após a extrusão em função do teor de umidade e temperatura. Os dados da análise de variância no Anexo 5, mostraram que todos os fatores foram altamente significativos.

A mistura não processada possuiu 5,60% de proteína solúvel em água para um total de 14,54% de proteína. Durante a extrusão a proteína se desnatura com o calor. Os valores de proteína solúvel após a extrusão, variaram de 1,75 a 2,54% nas farinhas mistas extrudadas, com 55 a 69% de insolubilização. MUSTAKAS et alii (42) e CUMMING et alii (13), afirmam que a extrusão desnatura a proteína da soja e a insolubiliza.

Observa-se na Tabela 12 e Figura 8, que com exceção da

umidade de 14%, a proteína solúvel aumentou a 160 e 180°C (20% de umidade). O aumento da proteína solúvel pode ser devido a formação de componentes mais solúveis (peptídeos, aminoácidos) a temperaturas mais altas.

Tabela 12. Comparações entre as médias no teor de proteína solúvel (% , bu) das farinhas mistas extrudadas em função do teor de umidade inicial e temperatura

Teor de umidade (%)	Temperatura (°C)		
	120	140	160
14	1,75 aB	1,82 aA	1,84 aB
17	2,01 bA	1,82 bA	2,54 aA
20	1,76 bB	1,75 bA	2,01 aB

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na mesma linha e maiúscula na mesma coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

O teor de umidade, por sua vez, influenciou o teor de proteína solúvel nas temperaturas de 120 e 160°C. Entretanto, a 140°C, a proteína solúvel não apresentou diferenças significativas para os teores de umidade estudados. Observa-se ainda que, o maior valor da proteína solúvel (2,62%) encontra-se na faixa de maior temperatura (180°C) e maior teor de umidade (20%). Os menores valores (1,75 - 1,76%) estão no mínimo de temperaturas (120°C) e extremos de umidade (14 e 20%).

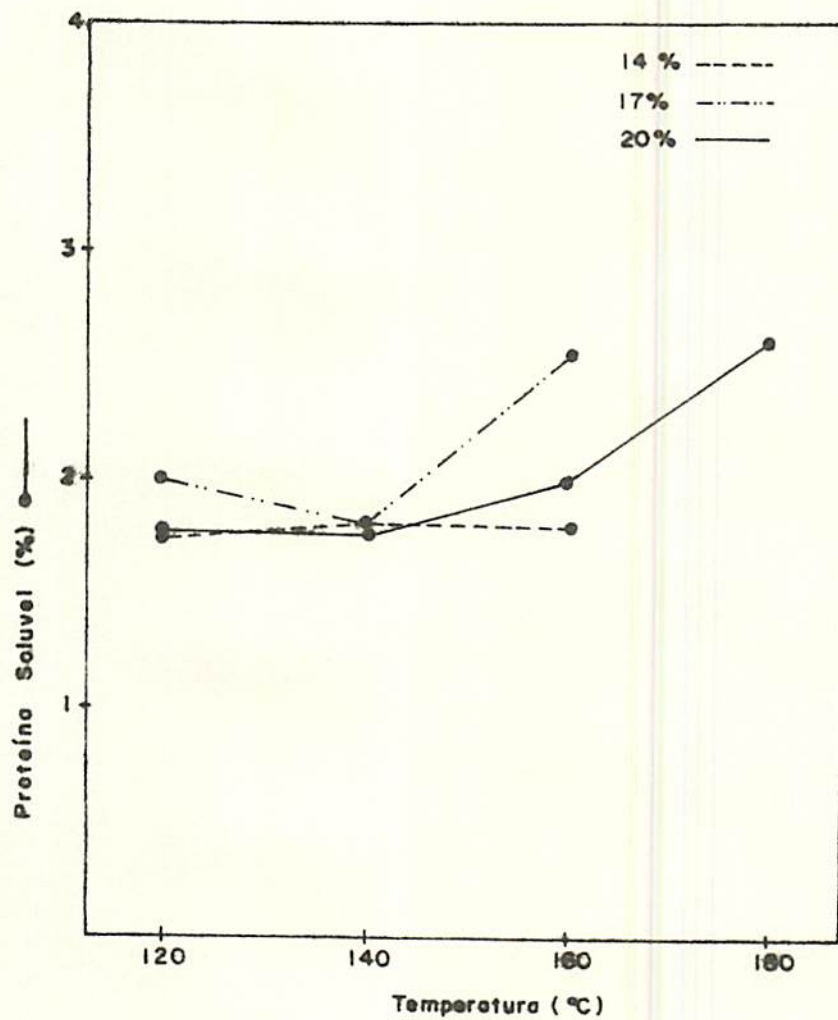


Figura 8. Efeito da temperatura e umidade no teor de proteína solúvel das farinhas mistas extrudadas

A discussão dos resultados torna-se difícil devido ao fato de não ter sido encontrado na literatura, trabalhos relativos aos efeitos das variáveis, temperatura e teor de umidade no teor de proteína solúvel, durante a extrusão de misturas.

4.2.6. Índice de absorção de água

4.2.6.1. Mistura

Os resultados dos índices de absorção de água das farinhas mistas são mostrados na Tabela 13. A análise de variância, apresentada no Anexo 7, mostrou que todos os fatores foram significativos.

Tabela 13. Comparações entre as médias no índice de absorção de água (g gel/g ms) das farinhas mistas extrudadas em função do teor de umidade inicial e temperatura

Teor de umidade (%)	Temperatura (°C)		
	120	140	160
14	6,93 aC	6,79 a C	6,86 aB
17	8,14 aA	7,51 b B	6,40 cB
20	7,61 bB	7,98 abA	8,20 aA

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na mesma linha e maiúscula na mesma coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os índices de absorção de água obtidos para as farinhas mistas extrudadas, variaram de 6,40 a 8,20 (g gel/g ms), o que representa de 1,8 a 2,3 vezes maior que a mistura crua (3,56 g.gel/g.ms).

Os resultados mostraram que o índice de absorção de água tendeu a aumentar com aumento da temperatura, para os produtos processados com 20% de umidade (Tabela 13 e Figura 9). Este aumento no índice de absorção é decorrente de uma maior gelatinização e manutenção das estruturas dos grânulos de amido com aumento da temperatura. A umidades mais baixas como 14 e 17%, entretanto, não houve aumento do índice de absorção com aumento de temperatura, devido, talvez, a uma maior desestruturação dos grânulos, ocorrendo inclusive uma diminuição a 17%. CONWAY et alii (12) observaram que o índice de absorção de água aumentou com o aumento da temperatura até 177°C, quando processou farinha de milho degerminado, decrescendo então com posterior aumento de temperatura até 218°C. MERCIER & FEILLET (40), citam que a absorção de água aumenta com a temperatura entre 180 a 200°C, para a farinha de milho extrudada, e começa a decrescer com posterior aumento de temperatura acima de 200°C.

O índice de absorção de água das farinhas mistas extrudadas foi menor nas amostras processadas com menor teor de umidade. O mesmo efeito foi observado em alguns trabalhos (3, 20, 40) de extrusão de farinha integral de milho pois, a medida que aumentaram o teor de umidade da farinha, os produtos extrudados tiveram maior capacidade de absorção de água.

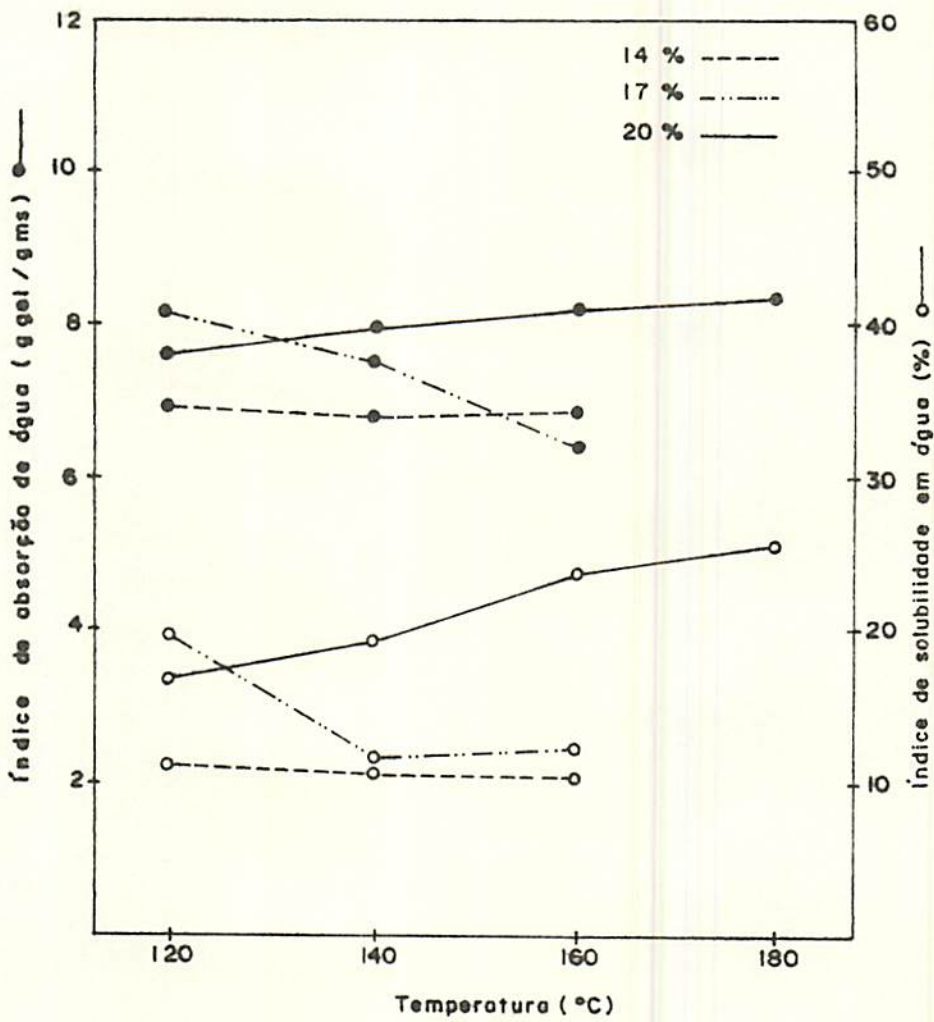


Figura 9. Efeito da temperatura e umidade nos índices de absorção e solubilidade das farinhas mistas extrudadas

4.2.6.2. Comparação dos extrudados da mistura e do milho

Os resultados dos índices de absorção de água da farinha de milho e farinhas mistas são mostrados na Tabela 14. A análise de variância, apresentada no Anexo 8, mostrou que todos os fatores foram altamente significativos.

Tabela 14. Comparações entre as médias no índice de absorção de água (g gel/g ms) da farinha mista e farinha de milho extrudadas em função da temperatura a 20% de umidade

Componentes	Temperatura (°C)			Média
	140	160	180	
Mistura	7,98 a	8,20 a	8,37 a	8,18 B
Milho	8,18 c	9,70 b	10,11 a	9,33 A

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na mesma linha e maiúscula na mesma coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey, e pelo teste F respectivamente.

O efeito da temperatura no índice de absorção de água da farinha de milho extrudada e da mistura é observado também na Figura 10, que apresentou um aumento desse valor com aumento da temperatura. Tal comportamento foi similar ao encontrado por ALBUQUERQUE (1) durante a extrusão de milho. O aumento do índice de

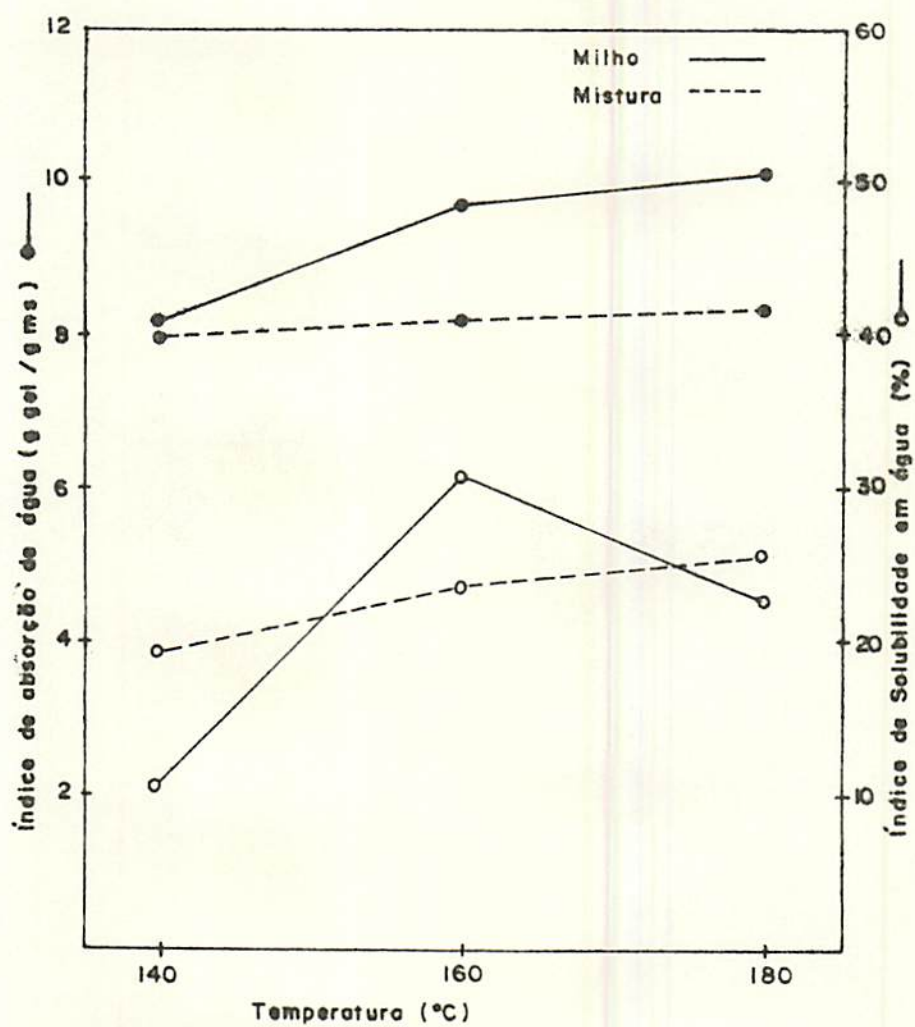


Figura 10. Efeito da temperatura de extrusão nos índices de absorção e solubilidade em água dos extrudados de milho e da mistura

absorção é provavelmente decorrente da maior gelatinização e menor rompimento das estruturas dos grânulos de amido com aumento da temperatura.

Observa-se ainda, que o índice de absorção de água das farinhas mistas não apresentou diferenças significativas para todas as temperaturas estudadas. Este comportamento diferente da mistura em relação ao milho, pode ser devido a substituição parcial do amido por proteínas e fibras.

Conforme mostrado na Tabela 14, o índice de absorção de água das farinhas mistas apresentou valores menores quando comparado ao da farinha de milho. A presença de proteínas desnaturadas na mistura e de fibra, ocasionaram diminuição no índice de absorção de água. É provável que a fibra tenha efeito, pois é composta principalmente de componentes hidro-insolúveis. CONWAY & ANDERSON (11) observaram que durante a extrusão de mistura composta de 1 ou 2 cereais e 1 fonte protéica, em diversas proporções, o índice de absorção em água diminuiu com aumento na quantidade de proteína adicionada.

4.2.7. Índice de solubilidade em água

4.2.7.1. Mistura

Os valores do índice de solubilidade em água das farinhas mistas são mostrados na Tabela 15. A análise de variância mostrou que todos os fatores foram altamente significativos, con

forme Anexo 7.

Tabela 15. Comparações entre as médias no índice de solubilidade em água (%) das farinhas mistas extrudadas em função do teor de umidade inicial e temperatura

Teor de umidade (%)	Temperatura (°C)		
	120	140	160
14	11,11 aC	10,61 aC	10,50 aC
17	19,60 aA	11,61 bB	12,37 bB
20	16,76 cB	19,27 bA	23,63 aA

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na mesma linha e maiúscula na mesma coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os índices de solubilidade em água obtidos para as farinhas mistas extrudadas, variaram de 10,50 a 23,63%, o que representa de 1,0 a 2,3 vezes maior que a mistura crua (10,25%).

Os resultados mostraram que somente a 20% de umidade, houve um aumento do índice de solubilidade com o aumento da temperatura (Tabela 15 e Figura 9). O aumento do índice de solubilidade é decorrente de uma maior solubilização do amido em temperaturas mais elevadas, em consequência da gelatinização e rompimento dos grânulos.

Quanto a 14% de umidade, o índice de solubilidade não

apresentou diferenças significativas em todas as temperaturas estudadas. A 17% de umidade, o índice de solubilidade diminuiu na faixa de temperatura de 120 a 140°C e após, teve um leve acréscimo até a temperatura de 160°C. Segundo alguns trabalhos realizados (3, 12, 40), foi verificado que a medida que aumentou-se a temperatura e diminuiu-se o teor de umidade, o índice de solubilidade nas farinhas extrudadas de milho aumentou. Porém, neste trabalho parece que o índice de solubilidade foi influenciado pela insolubilização da proteína contrária a solubilização do amido.

4.2.7.2. Comparação dos extrudados da mistura e do milho

Os valores obtidos para o índice de solubilidade em água das farinhas mistas e farinha de milho são mostrados na Tabela 16. A análise de variância mostrou que todos os fatores foram altamente significativos, conforme Anexo 9.

Pode-se observar que ocorreu um aumento do índice de solubilidade das farinhas mistas extrudadas com aumento da temperatura. Como já foi comentado anteriormente, o aumento do índice de solubilidade é decorrente de uma maior solubilidade do amido em temperaturas mais elevadas, em consequência da gelatinização e rompimento dos grânulos. Segundo BJÖRCK & ASP (6), o processo de extrusão causa certas mudanças no amido, ocorrendo uma fragmentação parcial e solubilização. Observaram também, que o rompimen-

to e homogeneização das partículas do farelo pelo intenso tratamento mecânico durante a extrusão, pode portanto, aumentar a quantidade de fibras hidro-solúveis.

Tabela 16. Comparações entre as médias no Índice de solubilidade em água (%) da farinha mista e farinha de milho em função da temperatura a 20% de umidade

Componentes	Temperatura (°C)			Média
	140	160	180	
Mistura	19,27 c	23,63 b	25,74 a	22,88 A
Milho	10,50 c	30,61 a	22,68 b	21,09 B

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na mesma linha e maiúscula na mesma coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey, e pelo teste F respectivamente.

Na Figura 10, observa-se que o índice de solubilidade da farinha de milho aumentou significativamente com aumento da temperatura de 140 a 160°C, após esta temperatura ocorreu um decréscimo do índice de solubilidade. É possível que a esta temperatura o amido já tenha sido solubilizado ocorrendo dextrinização. Entretanto em trabalhos realizados por ANDERSON et alii (3) e CONWAY et alii (12), o índice de solubilidade em água continuou aumentando com o aumento da temperatura acima de 160°C.

4.2.8. Viscosidade

4.2.8.1. Mistura

Os valores obtidos para as viscosidades a 25, 95 e 50°C são mostrados na Tabela 17. A análise de variância, realizada a uma repetição, mostrou que o teor de umidade e a temperatura, não afetaram significativamente as viscosidades a 25, 95 e 50°C, conforme Anexo 10.

Tabela 17. Viscosidade das farinhas mistas extrudadas (U.A.) em função do teor de umidade inicial e temperatura

Teor de umidade (%)	Temperatura (°C)	Viscosidade (U.A.)		
		a 25°C	a 95°C	a 50°C
14	120	280	110	110
	140	260	100	100
	160	250	120	135
17	120	200	75	115
	140	255	85	100
	160	210	90	120
20	120	280	100	130
	140	350	80	120
	160	225	70	110

Pode-se observar nas Figuras 11, 12 e 13 que os fatores testados não influenciaram o comportamento da viscosidade, que a apresentou amilogramas típicos de materiais cozidos. Este fato é demonstrado pelo aumento da viscosidade a 25°C e diminuição das viscosidades a 95 e 50°C, quando comparadas às da mistura crua (Figura 1) e pela ausência de pico durante o ciclo de aquecimento, revelando que não existe grânulo de amido intacto presente nos extrudados.

É geralmente aceito que a viscosidade é uma função da composição do produto, BHATTACHARYA & HANNA (5). Segundo as pequisas realizadas estes autores verificaram que constituintes individuais diferentes, por exemplo, tipo de proteína, também afetam significativamente a viscosidade e que, durante a extrusão, duas importantes reações na pasta podem afetar a viscosidade, são: a desnaturação da proteína e formação de gel polissacarídeo.

4.2.8.2. Comparação dos extrudados da mistura e do milho

Os valores obtidos para as viscosidades a 25, 95 e 50°C das farinhas extrudadas em função da temperatura estão na Tabela 18.

Os amilogramas das farinhas extrudadas, nos ciclos de aquecimento e resfriamento no Viscoamilógrafo Brabender, são mostrados nas Figuras 14 e 15. Observa-se que as farinhas mistas a

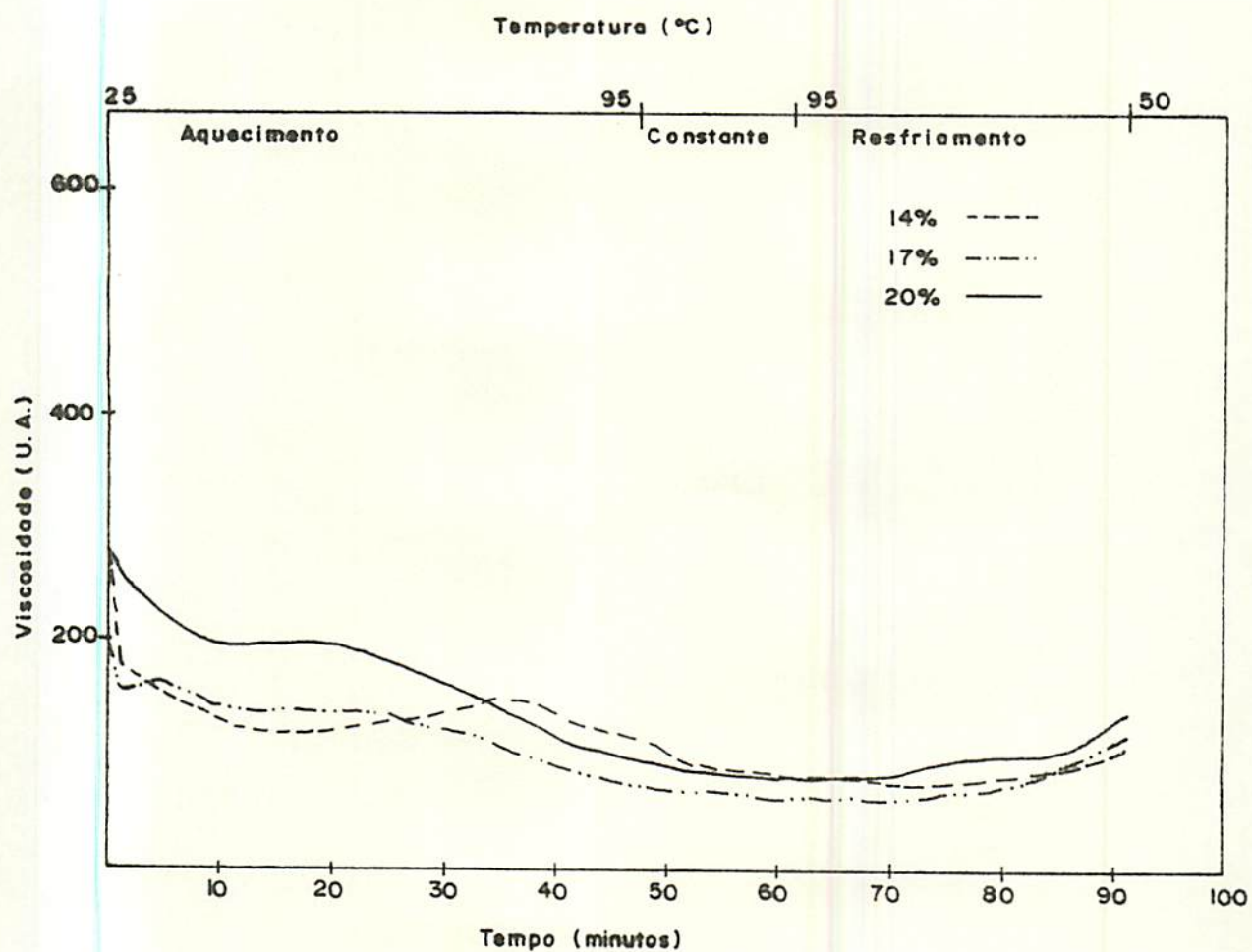


Figura 11. Efeito do teor de umidade inicial na viscosidade das misturas extrudadas à temperatura de 120°C

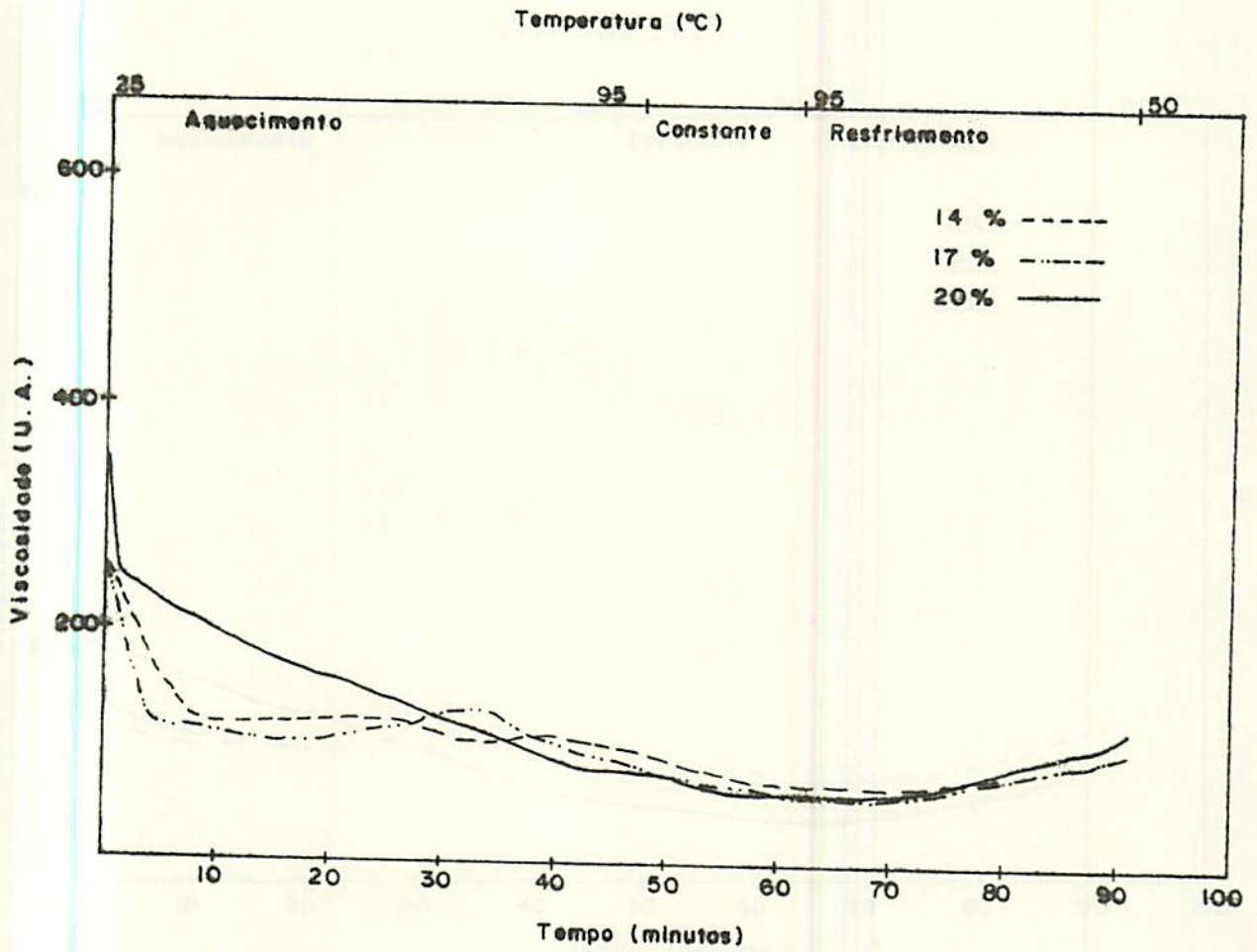


Figura 12. Efeito do teor de umidade inicial na viscosidade das misturas extrudadas à temperatura de 140°C

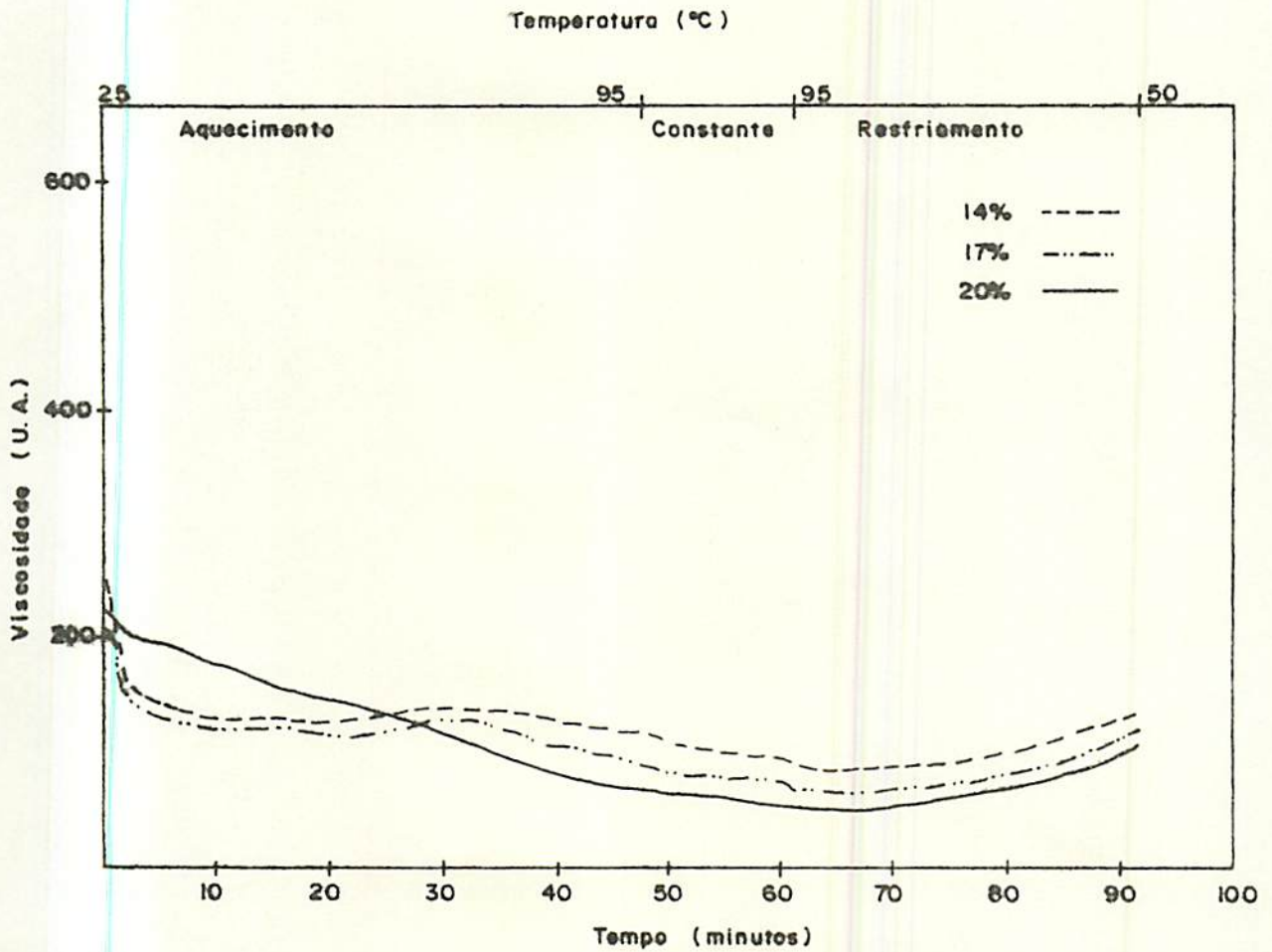


Figura 13. Efeito do teor de umidade inicial na viscosidade das misturas extrudadas à temperatura de 160°C

presentaram viscosidades inferiores as das farinhas de milho. Isto pode ser devido ao maior teor protéico e de outros carboidratos exceto amido, provenientes tanto da soja como da mistura, causando um efeito de diluição do amido e decréscimo na viscosidade daquelas farinhas.

Tabela 18. Viscosidade das farinhas de milho e farinhas mistas extrudadas (U.A.) em função da temperatura a 20% de umidade

Componentes	Temperatura (°C)	Viscosidade (U.A.)		
		a 25°C	a 95°C	a 50°C
Mistura	140	350	80	120
	160	225	70	110
	180	300	70	110
Milho	140	490	185	205
	160	460	170	290
	180	1.500	230	330

A farinha de milho processada a 180°C, apresentou uma viscosidade inicial maior que a processada a 140 e 160°C. Era de se esperar, contudo, que quanto maior a temperatura de extrusão menor a viscosidade inicial da farinha extrudada, ocorrendo uma degradação térmica mais severa do amido com aumento da temperatura, o que não aconteceu.

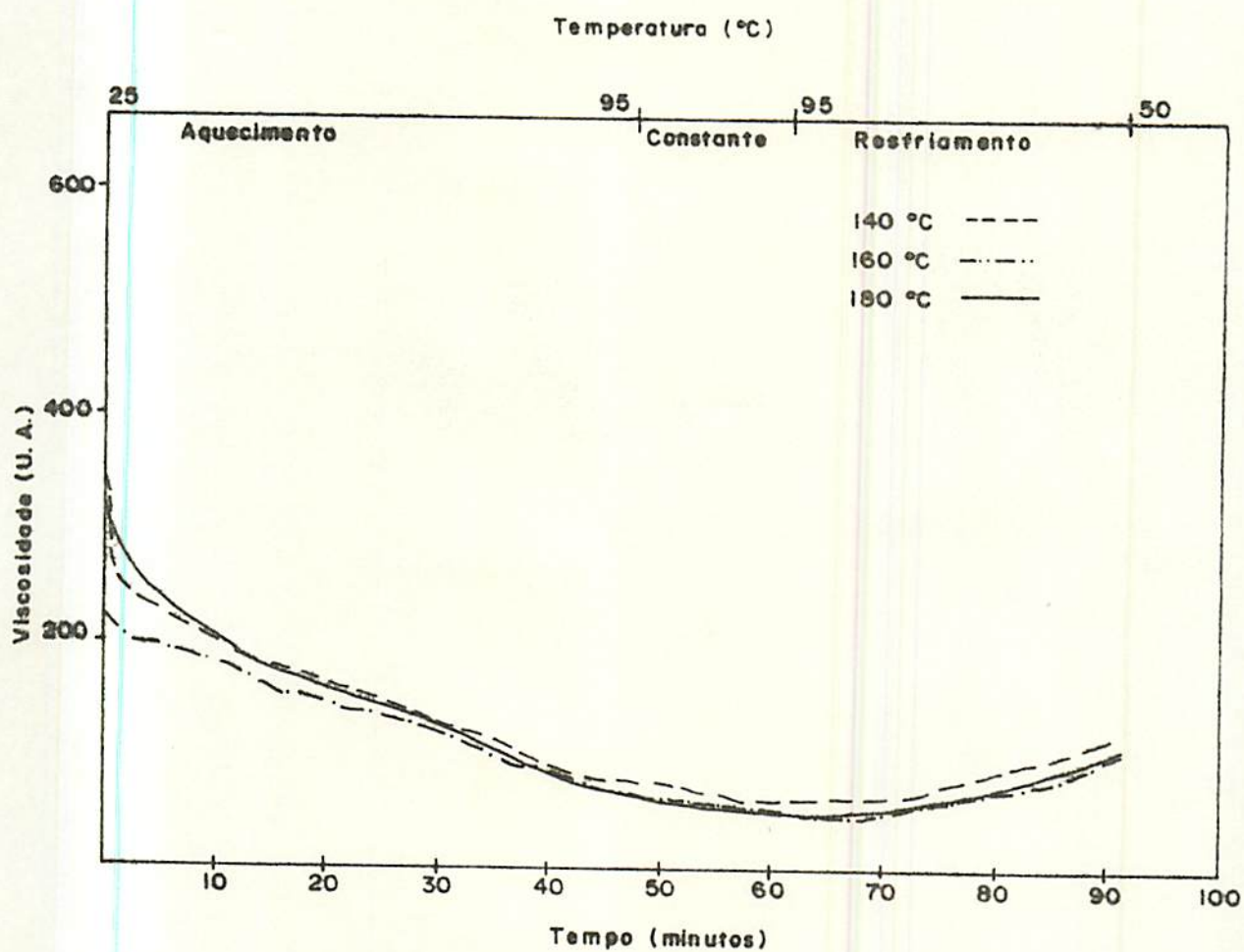


Figura 14. Efeito da temperatura de extrusão na viscosidade das farinhas mistas extrudadas a 20% de umidade

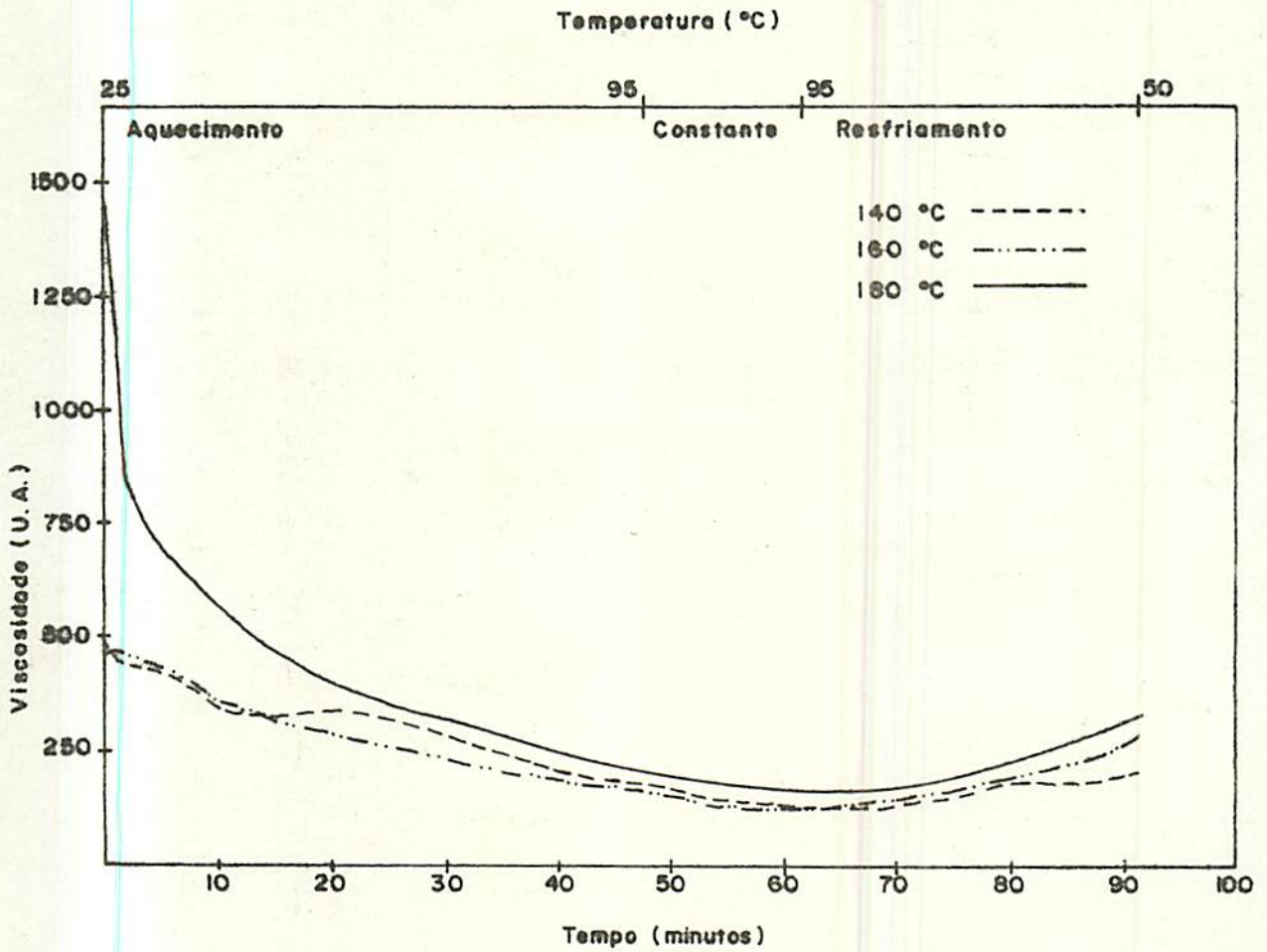


Figura 15. Efeito da temperatura de extrusão na viscosidade das farinhas de milho extrudadas a 20% de umidade

5. CONCLUSÕES

A análise de variância mostrou uma interação altamente significativa entre a temperatura e o teor de umidade inicial na produção de extrudados, umidade após extrusão, densidade, expansão, proteína solúvel e índice de absorção e solubilidade em água dos produtos extrudados.

O tratamento adicional (umidade 20% e temperatura 180°C) não apresentou comportamento diferente dos demais tratamentos na produção e umidade após extrusão, porém foi significativo para densidade, expansão, proteína solúvel e índices de absorção e solubilidade em água dos produtos extrudados.

Os amilogramas das farinhas mistas extrudadas apresentaram características de materiais cozidos, indicando gelatinização e quebra dos grânulos de amido durante a extrusão, não se verificando diferenças de viscosidade nos vários tratamentos.

A análise de variância mostrou também uma interação altamente significativa entre a mistura x milho e a temperatura nas características produção, umidade após extrusão, densidade e ín-

dices de absorção e solubilidade em água dos produtos extrudados, entretanto, não foi significativa para a expansão.

A diferença de produção de extrudados da mistura e do milho não foi significativa. O milho apresentou melhor expansão e índice de absorção de água, enquanto que a mistura obteve maiores valores para a umidade após extrusão, densidade e índice de solubilidade em água.

Tanto os amilogramas da farinha de milho quanto da farinha mista, apresentaram características de materiais cozidos, porém, as farinhas mistas apresentaram viscosidades inferiores às das farinhas de milho, devido a natureza heterogênea do material e ao menor teor de amido.

Verificou-se um desempenho satisfatório do extrusor no processamento da mistura utilizada, embora tenham sido constatados problemas de alimentação e fluxo de alguns processamentos.

6. RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES

- Desenvolver pesquisas com estas mesmas misturas, utilizando microscopia eletrônica para melhor elucidar os efeitos entre as variáveis do processo de extrusão e as mudanças físicas, físico-químicas e reológicas que ocorreram na mistura durante os processamentos.
- Realizar estudos de avaliação nutricional, sensorial e organolépticas destas misturas com o propósito de avaliar seu potencial na utilização de formulações infantis, como por exemplo, na merenda escolar em forma de sopa ou mingau.
- Realizar mais pesquisas utilizando farelo de trigo em produtos extrudados para consumo humano.
- Algumas modificações devem ser feitas no equipamento, visando uma melhor eficiência operacional como:
 - a) modificações no alimentador;
 - b) registradores de pressão e temperatura; e
 - c) instalação de um medidor de torque.

7. RESUMO

Uma mistura contendo 70% de fubá mimoso, 15% de farinha de soja desengordurada e 15% de farelo de trigo foi processada em um extrusor experimental nacional de rosca única, estudando-se o efeito das variáveis temperatura e teor de umidade inicial, nas características físicas e físico-químicas dos produtos extrudados.

Os processamentos foram realizados com temperatura de 120, 140, 160 e 180°C; teores de umidade inicial de 14, 17 e 20%; taxa de compressão de 1:2; diâmetro da matriz de 3,9 mm; rotação da rosca de 200 rpm e rotação do alimentador de 50 rpm. Foram realizados três ensaios com farinha de milho, para efeito de comparação.

A produção, umidade após extrusão, densidade, expansão, proteína solúvel, índice de absorção de água e índice de solubilidade em água das misturas extrudadas foram afetados significativamente pela temperatura e teor de umidade inicial. Os amilogramas das farinhas mistas extrudadas, apresentaram características de materiais cozidos, não se verificando diferenças de viscosidade.

sidade nos vários tratamentos.

Comparando-se a mistura com farinha de milho processadas nas mesmas condições (umidade 20% e temperaturas de 140, 160 e 180°C), verificou-se que a produção não foi significativa para os extrudados da mistura e do milho. O milho apresentou extrudados com melhor expansão e índice de absorção de água, enquanto que a mistura obteve maiores valores para a umidade após extrusão, densidade e índice de solubilidade em água. O amilograma da farinha mista comparado com o da farinha de milho, também apresentou característica de material bastante gelatinizado.

8. SUMMARY

EFFECT OF TEMPERATURE AND MOISTURE CONTENT ON PHYSICAL AND PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF EXTRUDED PRODUCTS OBTAINED FROM A CORN, SOY, WHEAT BRAN FLOUR MISTURE

A mixture made of 70% of degerminated corn flour, 15% of defatted soy flour and 15% of wheat bran was processed on a Brazilian experimental extruder of single screw and the temperature and moisture content effects on physical and physico-chemical characteristics of products were evaluated.

Processings were made at 120, 140, 160 and 180°C and 14, 17 and 20% of initial moisture content at 1:2 of compression ratio; die diameter of 3.9 mm; screw rotation of 200 rpm and feeder rotation of 50 rpm. Additionally three corn flour processing were made for comparing effect with mixture used.

Production, moisture after processing density, expansion, soluble protein, water absorption and solubility indexes of extruded mixtures were significantly modified by temperature and initial moisture content. Composite extruded flour amilographs

presented the characteristics of cooked foods, without changes their viscosities.

Comparing composite and corn flours at same conditions (20% of moisture at 140, 160 and 180°C) it was verified that production was not significant for composite and corn flours, Corn flour presented extruded products with better expansion and higher index of water absorption, while composite flour had higher values for moisture after expansion, density and water solubility index. Amilograph of composite flour compared with that of corn flour also presented characteristics of well gelatinized product.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALBUQUERQUE, C.A.N. de. Desempenho de um extrusor nacional com base na caracterização física e físico-química de produtos extrudados de milho. Lavras, ESAL, 1985. 131p. (Tese MS).
2. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. Washington, 1976. 2v.
3. ANDERSON, R.A.; CONWAY, H.F.; PFEIFER, V.F. & GRIFFIN JÚNIOR, E.L. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion-cooking. Cereal Science Today, St. Paul, 14(1):4-7, 11-2, Jan. 1969.
4. ANDERSON, Y.; HEDLUND, B.; JONSSON, L. & SVENSSON, S.S. Extrusion cooking of a high-fiber cereal product with crispbread character. Cereal Chemistry, St. Paul, 58(5):370-4, Sept./Oct. 1981.

5. BHATTACHARYA, M. & HANNA, M.A. Viscosity modelling of dough in extrusion. Journal of Food Technology, Oxford, 21(2): 167-74, Apr. 1986.
6. BJÖRCK, I. & ASP, N.G. The effects of extrusion cooking on nutritional value - a literature review. Journal of Food Engineering, Oxford, 2:281-308, 1983.
7. BREEN, M.D.; SEYAM, A.A. & BANASIK, O.J. The effect of mill by-products and soy protein on the physical characteristics of expanded snack foods. Cereal Chemistry, St. Paul, 54(4):728-36, July/Aug. 1977.
8. BRESSANI, R.; BRAHAM, J.E.; ELIAS, L.G.; CUEVAS, R. & MOLINA, M.R. Protein quality of a whole corn/whole soybean mixture processed by a simple extrusion cooker. Journal of Food Science, Chicago, 43(5):1563-5, Sept./Oct. 1978.
9. CERNING, J. & GUILBOT, A. Carbohydrate composition of wheat. In: INGLETT, G.E., ed. Wheat: production and utilization. Westport, AVI, 1974. cap.9, p.146-85.
10. CHIANG, B.Y. & JOHNSON, J.A. Gelatinization of starch in extruded products. Cereal Chemistry, St. Paul, 54(3):436-43, May/June 1977.
11. CONWAY, H.F. & ANDERSON, R.A. Protein-fortified extruded food products. Cereal Science Today, St. Paul, 18(4):94-7, Apr. 1973.

12. CONWAY, H.F.; LANCASTER, E.B. & BOOKWALTER, G.N. How extrusion cooking varies products properties. Food Engineering, Radnor, 40(11):102-4, Nov. 1986.
13. CUMMING, D.B.; STANLEY, D.W. & De MAN, J.M. Fate of water soluble soy protein during thermoplastic extrusion. Journal of Food Science, Chicago, 38(2):320-3, Feb. 1973.
14. D'APPOLONIA, B.L.; GILLES, K.A.; OSMAN, E.M. & POMERANZ, Y. Carbohydrates. In: POMERANZ, Y. Wheat; chemistry and technology. St. Paul, American Association of Cereal Chemistry, 1971. cap.7, p.301-92.
15. DIXON, J.M. Extrusion cooking: a "hot" technology. Food Engineering Internacional, Radnor, 8(7):34-8, July/Aug. 1983.
16. EL-DASH, A.A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y. & MUNCH, L., eds. Cereals a renewable resource: theory and practice. Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1982. 728p.
17. FAPOJUWO, O. & MAGA, J.A. Butylated hydroxyanisole retention during the extrusion of corn. Journal of Agricultural and Food Chemistry, Washington, 27(4):822-4, July/Aug. 1979.
18. FELL, J. Extrusion: a revolution in food manufacture. Food Manufacture, London, 62(1):27-9, 1987.

19. FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.
Tabelas de composição de alimentos. Rio de Janeiro, 1981.
213p.
20. GOMEZ, M.H. & AGUILERA, J.M. Changes in the starch fraction during extrusion - cooking of corn. Journal of Food Science, Chicago, 48(2):378-81, Jan./Feb. 1983.
21. GUY, R.C.E. The extrusion revolution. Food Manufacture, London, 60(1):26-9, Jan. 1985.
22. HARMANN, D.V. & HARPER, J.M. Effect of extruder geometry on torque and flow. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 16(6):1175-8, Nov./Dec. 1973.
23. HARPER, J.M. Extrusion processing of food. Food Technology, Chicago, 32(7):67-72, July 1978.
24. _____. Food extrusion. CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition, Boca Raton, 11(2):155-215, 1979.
25. HAUCK, B.W. Control of process variables in extrusion cooking. Cereal Foods World, St. Paul, 26(4):170-3, Apr. 1981.
26. _____. Marketing opportunities for extrusion cooked products. Cereal Foods World, St. Paul, 25(9):594-5, Sept. 1980.

27. HOLAY, S.H. & HARPER, J.M. Influence of the extrusion shear environment on plant protein texturization. Journal of Food Science, Chicago, 47(6):1869-74, Nov./Dec. 1982.
28. HORWITZ, W., ed. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 12.ed. Washington, AOAC, 1975. 1094p.
29. INGLETT, G.E. & ANDERSON, R.A. Flour milling. In: Wheat: production and utilization. Westport, AVI, 1974. cap.9, p.186-98.
30. JANSEN, G.R. & HARPER, J.M. Application of low-cost extrusion cooking to weaning foods in feeding programmes. Part 1. Food and Nutrition, Alexandria, 6(1):2-9, Jan. 1980.
31. _____ & _____. Application of low-cost extrusion cooking to weaning foods in feeding programmes. Part 2. Food and Nutrition, Alexandria, 6(2):15-23, Feb. 1980.
32. KIMBER, A. The extruder in action. Food Manufacture, London, 60(1):31, Jan. 1985.
33. LAWTON, J.W.; DAVIS, A.B. & BEHNKE, K.C. High-temperature, short-time extrusion of wheat gluten and a bran-like fraction. Cereal Chemistry, St. Paul, 62(4):267-71, July/Aug. 1985.

34. LAWTON, B.T.; HENDERSON, G.A. & DERLATKA, E.J. The effects of extruder variables on the gelatinization of corn starch. The Canadian Journal of Chemical Engineering, Ottawa, 50 (4):168-72, Apr. 1972.
35. LIMA, U. de M. Industrialização do milho. In: FANCELLI, A. L. & LIMA, U. de A. Milho; produção, pré-processamento e transformação agroindustrial. São Paulo, Governo do Estado de São Paulo, ed. pt.c, p.78-112.
36. LOW-COST extrusion cooking. Food Engineering International, Radnor, 2(9):42-3, Sept. 1977.
37. MAGA, J.A. & LORENZ, K. Sensory and functional properties of extruded corn-soy blends. Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie, Zurich, 11(4):185-7, 1978.
38. MANOHARKUMAR, B.; SEILER, K. & GERSTENKORN, P. Pressure extrusion of Indian maize and maize-legume composite flours. Journal of Food Science and Technology, Mysore, 15(5):173-6, Sept./Oct. 1978.
39. MAURICE, T.J. & STANLEY, D.W. Texture-structure relationships in texturized soy protein. IV. Influence of process variables on extrusion texturization. Canadian Institute of Food Science and Technology Journal, Ottawa, 11(1):1-5, Jan. 1978.

40. MERCIER, C. & FEILLET, P. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. Cereal Chemistry, St. Paul, 52(3):283-97, May/June 1975.
41. MOLINA, M.R.; BRESSANI, R.; CUEVAS, R.; GUDIEL, H. & CHAUVIN, V. Effects of processing variables on some physicochemical characteristics and nutritive quality of high protein foods. AIChE Symposium Series, New York, 74(172):153-7, 1978.
42. MUSTAKAS, G.C.; ALBRECHT, W.J.; BOOKWALTER, G.N.; SOHNS, V. E. & GRIFFIN Jr., E.L. New process for low-cost, high-protein beverage base. Food Technology, Chicago, 25(5):80-6, May 1971.
43. NELSON, N.A. A photometric adaptation of Somogyi method for the determination of glucose. Journal of Biological Chemistry, Baltimore, 153:375-80, 1944.
44. RAKOSKY JR., J. & SIPOS, E.F. Food uses of soy protein in products. In: SMITH, L.L.W. & MINOR, L.J., eds. Food Service Science. Westport, AVI, 1974. Cap. 383-408.
45. ROSSEN, J.L. & MILLER, R.C. Food extrusion. Food Technology, Chicago, 27(8):46-53, Aug. 1973.
46. SAHAGUN, J.F. & HARPER, J.M. Effects of screw restriction on the performance of an autogenous extruder. Journal of Food Process Engineering, Westport, 3(4):199-216, Dec. 1980.

47. SMITH, O.B. History and status of specific protein - rich foods extrusion-processed cereal foods. In: THE AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Protein enriched cereal foods for world needs. St. Paul, 1969. V.1, pt.4, p.140-53.
48. . Textures by extrusion processing. In: INGLETT, G. E., ed. Fabricated Foods. Westport, AVI, 1975. Cap.9, p.89-108.
49. . Why extrusion cooking? Cereal Foods World, St. Paul, 21(1):4-6, 8, Jan. 1976.
50. SNEDECOR, G.W. & COCHRAN, W.G. Statistical methods. Sixth edition, Iowa, USA, 1978. 593p.
51. VANDE, J.H. & GINKEL, L. van. Rapid determination of crude fiber in cereals. Cereal Chemistry, St. Paul, 29(4):239-51, July/Aug. 1952.
52. VILELA, E.R. Produção, caracterização e extrusão de farinha de guandu. Campinas, UNICAMP-FEAA, 1983. 149p. (Tese Doutorado).

APÊNDICE

Anexo 1. Resumo da análise de variância na produção dos extrudados da mistura, variando-se a temperatura (T) e a umidade (U)

Fontes de variação	G.L.	Quadrados médios
T	2	72,1201**
U	2	849,1890**
T x U	4	101,1352**
TU x Ad.	1	10,9749
Erro	19	4,6042
C.V. (%)		2,4

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Anexo 2. Resumo da análise de variância na produção dos extrudados da mistura e do milho (MISMIL) a temperatura (T) de 140, 160 e 180°C com 20% de umidade

Fontes de variação	G.L.	Quadrados médios
T	2	276,4841**
MISMIL	1	9,7942
T x MISMIL	2	428,1306**
Erro	16	10,8962
C.V. (%)		3,5

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Anexo 3. Resumo da análise de variância da umidade após a extrusão dos extrudados da mistura, variando-se a temperatura (T) e a umidade (U)

Fontes de variação	G.L.	Quadrados médios
T	2	15,2394**
U	2	41,9415**
T x U	4	0,9152**
TU x Ad.	1	0,0395
Erro	18	0,0463
C.V. (%)		2,5

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Anexo 4. Resumo da análise de variância da umidade após extrusão dos extrudados da mistura e do milho (MISMIL) a temperatura (T) de 140, 160 e 180°C com 20% de umidade

Fontes de variação	G.L.	Quadrados médios
T	2	2,0930**
MISMIL	1	2,8789**
T x MISMIL	2	0,7142**
Erro	10	0,0526
C.V. (%)		2,5

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Anexo 5. Resumo das análises de variância do diâmetro, densidade, expansão e proteína solúvel dos extrudados da mistura, variando-se a temperatura (T) e a umidade (U)

Fontes de variação	G.L.	Quadrados médios			
		Diâmetro	Densidade	Expansão	Proteína solúvel
T	2	2,7487**	0,0018**	0,1809**	0,1921**
U	2	1,6755**	0,0087**	0,1085**	0,1824**
T x U	4	0,3702**	0,0012**	0,0242**	0,0644**
TU x Ad.	1	11,9553**	0,0008*	0,7880**	0,8904**
Erro	10	0,0202	0,0000	0,0013	0,0059
C.V. (%)		1,70	4,86	1,66	3,86

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Anexo 6. Resumo das análises de variância do diâmetro, densidade e expansão dos extrudados da mistura e do milho (MISMIL) a 20% de umidade e temperatura (T) de 140, 160 e 180°C

Fontes de variação	G.L.	Quadrados médios		
		Diâmetro	Densidade	Expansão
T	2	3,5035**	0,0024**	0,2314**
MISMIL	1	6,5727**	0,0091**	0,4256**
T x MISMIL	2	0,0685	0,0023**	0,0048
Erro	6	0,0228	0,0000	0,0015
C.V. (%)		1,93	2,90	1,93

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Anexo 7. Resumo das análises de variância do índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA) das misturas extrudadas, variando-se a temperatura (T) e a unidade (U)

Fontes de variação		G.L.		Quadrados médios		C.V. (%)	
T		2	0,1826*	11,2982**		2	2,4
U		2	2,5518**	187,9652**		2	
T x U		4	1,0212**	31,8177**		4	
TU x Ad.		1	2,6956**	308,7164**		1	
Erro		17	0,0369	0,1480		17	
			2,6				

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.
 ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Anexo 8. Resumo da análise de variância do índice de absorção de água (IAA) das misturas extrudadas e do milho (MISMIL) a temperatura (T) de 140, 160 e 180°C com 20% de umidade de

Fontes de variação		G.L.		Quadrados médios		C.V. (%)	
T		2	2,1770**			2	2,01
MISMIL		1	5,9053**			1	
T x MISMIL		2	1,0358**			2	
Erro		12	0,0311			12	

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Anexo 9. Resumo da análise de variância do índice de solubilidade em água (ISA) das misturas extrudadas e do milho (MISMIL) a temperatura (T) de 140, 160 e 180°C com 20% de umidade

Fontes de variação	G.L.	Quadrados médios
T	2	246,4239**
MISMIL	1	13,6272**
T x MISMIL	2	93,0550**
Erro	11	0,4105
C.V. (%)		2,9

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Anexo 10. Resumo das análises de variância nas viscosidades dos extrudados da mistura, variando-se a temperatura (T) e a umidade (U)

Fontes de variação	G.L.	Viscosidade a 25°C		Viscosidade a 95°C		Viscosidade a 50°C	
		Q.M. ¹	N.S. ²	Q.M.	N.S.	Q.M.	N.S.
T	2	2.386,1111	22,8359	58,3333	73,1252	155,1111	49,9021
U	2	3.080,1111	18,8817	730,3333	10,2662	40,4444	81,4018
Erro	4	1.183,4444		172,1667		186,6111	
C.V. (%)		13,41		13,41		11,86	

¹ - Quadrado médio.

² - Nível de significância (%).