

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

EFEITO DAS VARIÁVEIS DE EXTRUSÃO NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DE PRODUTOS INTERMEDIÁRIOS (HALF-PRODUCTS).

Parceiro

José Luis Ramirez Ascheri
Engº de Alimentos

Este exemplar corresponde a redação final da tese defendida por José Luis Ramirez Ascheri e aprovada pela Comissão julgadora em 12.09.94.



Prof. Dr. César F. Ciacco
Orientador

Prof. Dr. Edmund W. Lusas
Co-orientador

Tese apresentada à FEA-UNICAMP para obtenção do título de DOUTOR em Tecnologia de Alimentos

CAMPINAS, Setembro, 1994



BANCA EXAM INADORA



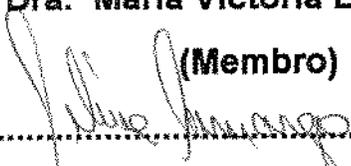
Prof. Dr. César Francisco Ciacco

(Orientador)



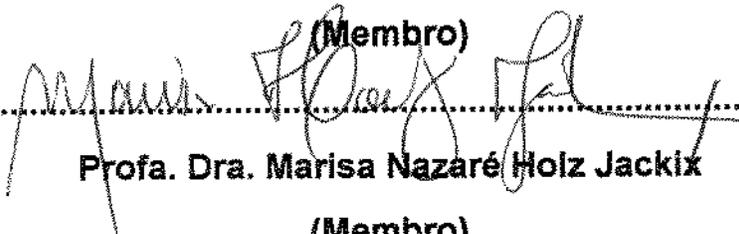
Profa. Dra. Maria Victória Eiras Grossmann

(Membro)



Profa. Dra. Celina Raquel de Oliveira Camargo

(Membro)



Profa. Dra. Marisa Nazaré Holz Jackix

(Membro)

Prof. Dr. Evódio Ribeiro Vilela

(Membro)

Prof. Dr. Roberto Hermínio Moretti

(Membro)



Prof. Dr. Yoon Kil Chang

(Membro)

AGRADECIMENTOS

O autor deseja expressar sua profunda gratidão aos professores, Dr. César F. Ciacco e Edmund W. Lusas pela dedicação e profissionalismo demonstrados durante a orientação deste trabalho.

Agradece também:

Ao Centro Nacional de Pesquisa de Tecnologia Agroindustrial de Alimentos (CTAA) - EMBRAPA pela bolsa concedida para a realização do presente trabalho.

Ao Food Protein Research and Development Center, (FPR&D) Texas A & M University (TAMU) EE.UU., pelo apoio na realização da parte experimental.

Ao Dr. Mian N. Riaz (FPR&D); Dr. J. Gates e M. Sc. , D. Lancon (Dep. Estatística, TAMU); M. Sc. Regina Della Modesta e M. Sc. Vera de Toledo Benassi (CTAA); M. Sc. Ivana M. Pereira e Ana Koon (FEA-UNICAMP) por toda colaboração prestada.

RESUMO

Foi estudado o efeito das variáveis de extrusão nas características física e químicas de produtos intermediários "half-products" ("snacks" de terceira geração), obtidos com misturas de fécula de mandioca, farinha de milho e amido de milho.

O método de superfície de resposta foi utilizado para verificar o efeito da interação das diferentes variáveis propostas. O desenho experimental foi elaborado para verificar o efeito de 4 formulações (FI, FII, FIII e FIV), 4 níveis de umidade de processamento (20, 25, 30 e 35%), e três condições de aquecimento nas zonas do extrusor (60-105-115-125-65-65°C; 60-115-125-135-65-65°C e 60-125-135-145-65-65°C). O esquema "aleatorizado" "Split-split-plot" foi utilizado para a combinação das variáveis independentes incluindo uma repetição, originando 96 experimentos.

A densidade aparente mostrou ser dependente das variáveis fórmula e temperatura. Enquanto o índice de absorção de água (IAA) mostrou ser dependente da variável umidade, indicando que a umidade de processamento é diretamente proporcional ao valor do IAA. Para o índice de solubilidade em água (ISA) as variáveis fórmula e temperatura foram as mais importantes, verificando-se que a temperaturas elevadas resultaram em valores altos de ISA.

A textura no Instron, mostrou ser dependente da variável fórmula, indicando que a energia de quebra aumentava quando as fórmulas continham altas porcentagens de fécula de mandioca.

A susceptibilidade enzimática não apresentou dependência de nenhuma das variáveis estudadas.

O estudo mostrou que a viscosidade máxima a 95°C, variou com a umidade e temperatura. Quantidades elevadas de farinha de milho na formulação resultaram em valores altos de viscosidade máxima. Por outro lado, a viscosidade máxima apresentou uma relação direta com a umidade e temperatura de processamento: quanto maior a umidade e temperatura de processamento, maior foi o valor da viscosidade.

A análise sensorial dos "pellets" mostrou que a fórmula III, (45% de fécula de mandioca, 40% de farinha de milho, 13,5% de amido de milho, 1% de sal e 0,5% de Myvaplex -momoglicerídeo-) a 35% de umidade e temperatura nas zonas do extrusor de 60-115-125-135-65-65°C, foi a que apresentou maior aceitabilidade e preferência pelos provadores.

SUMMARY

Physical and chemical characteristics on extrusion variables of half-products (3rd. generation snacks) were studied from blends of cassava starch, corn flour and corn starch.

Surface methodology was used to verify the interaction between variables. The experimental design was made to verify the effect of the 4 formulations (FI, FII, FIII and FIV), 4 levels of feed moisture (20, 25, 30 e 35%) and 3 temperature levels in the extruder zones (60-105-115-125-65-65°C; 60-115-125-135-65-65°C and 60-125-135-145-65-65°C).

The randomized scheme split-split plot was used for the combination of the independent variables, including a replicate resulting in 96 runs.

The bulk density was dependent on the formula and temperature variables. However, the water absorption index (WAI) was dependent on the feed moisture variable. Indicating that the feed moisture was directly proportional to the WAI value. For water solubility index (WSI) the variables formula and temperature where the most important. It was shown that higher temperatures resulted in higher values of WSI.

Texture-Instron, was dependent on the formula variable, indicating that the break point energy increased when the formulas had higher percentages of corn starch.

The enzymatic susceptibility did not shown any dependence on the variables studied.

This study showed the maximum viscosity at 95°C, varying with feed moisture and temperature variables. Higher quantities of corn flour in the formulation resulted in higher values of maximum viscosity. Otherwise, the maximum viscosity showed a direct relationship with feed moisture and temperature: the higher the feed moisture and temperature process, the higher the viscosity.

The sensory analysis of the pellets showed that formula III, (45% tapioca starch, 40% corn flour, 13.5% corn starch, 1% of salt and 0.5% of myvaplex -monoglyceride) processed at 35% feed moisture and temperature of extruder zones at 60-115-125-135-65-65°C gave the highest values for preference and acceptability.

ÍNDICE

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Extrusão	3
2.1.1. Tipos de extrusores	3
2.2. Os "snacks de terceira geração	6
2.2.1. Evolução dos "snacks"	6
2.3. Processamento e fatores que influenciam a expansão de produtos extrudados	7
2.3.1. Efeito da composição da matéria-prima	11
2.3.2. Efeito das variáveis de extrusão	14
2.3.3. Influência de alguns compostos na gelatinização do amido	17
2.3.3.1. Lipídeos	17
2.3.3.2. Proteína	18
2.3.3.3. Outros componentes	20
2.4. Processos para obtenção de produtos intermediários	21

	Página
3. MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1. Material	24
3.1.1. Matéria-prima	24
3.1.2. Equipamento	24
3.2. Métodos	27
3.2.1. Métodos analíticos para os "pellets" e/ou produto final expandido	27
3.2.1.1. Composição centesimal	27
3.2.1.2. Granulometria	27
3.2.1.3. Determinação da densidade aparente	27
3.2.1.4. Índices de Absorção de água (IAA) e de solubilidade em água (ISA)	28
3.2.1.5. Textura	29
3.2.1.6. Susceptibilidade à ação enzimática	29
3.2.1.7. Viscosidade de pasta dos produtos extrusados	31
3.2.2. Processamento	33
3.2.2.1. Preparo das amostras	33
3.2.2.2. Desenho experimental	33
3.2.2.3. Processo de extrusão	37
3.2.2.3.1. Processo de secagem	38
3.2.2.3.2. Processo de expansão por fritura	39
3.2.3. Análise estatística	42
3.2.3.1. Análise de variância	42
3.2.3.2. Metodologia de superfície de resposta	43
3.2.4. Análise sensorial	44

	Página
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1. Composição centesimal da matéria prima	46
4.2. Granulometria da farinha de milho	46
4.3. Composição centesimal do produto "snack"	49
4.4. Efeito da formulação, umidade de processamento e temperatura de extrusão nas características tecnológicas dos produtos intermediários	51
4.4.1. Densidade aparente (DENS)	51
4.4.2. Índice de absorção de água (IAA)	61
4.4.3. Índice de solubilidade em água (ISA)	70
4.4.4. Textura (TEXT)	78
4.4.5. Susceptibilidade à ação enzimática (SE)	87
4.4.6. Viscosidade máxima	94
4.4.7. Parâmetros de secagem dos "pellets"	106
4.4.8. Parâmetros de fritura dos "pellets"	106
4.4.9. Análise sensorial	107
4.4.9.1. Teste de preferência	107
4.4.9.2. Teste de aceitabilidade	109
5. CONCLUSÕES	113
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
7. ANEXO	124

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
TABELA 1. Percentagens de amidos e farinhas usados na elaboração de "half-products"	34
TABELA 2. Níveis de umidade durante a extrusão de "half-products"	35
TABELA 3. Temperaturas usadas nas diferentes zonas do extrusor	36
TABELA 4. Diferentes condições de tempo e temperatura na secagem dos "pellets" após extrusão	40
TABELA 5. Ensaios de tempo e temperatura na expansão por fritura dos "pellets"	41
TABELA 6. Composição centesimal da matéria-prima usada na preparação das fórmulações	47
TABELA 7. Granulometria da farinha de milho usada na formulação	48
TABELA 8. Composição centesimal dos "snacks"	50

TABELA 9. Análise de variância para a variável resposta densidade aparente (DENS)	54
TABELA 10. Análise de variância para a variável resposta índice de absorção de água (IAA)	63
TABELA 11. Análise de variância para a variável resposta índice de solubilidade em água (ISA)	71
TABELA 12. Análise de variância para a variável resposta textura (TEXT)	79
TABELA 13. Análise de variância para a variável resposta susceptibilidade à ação enzimática (SE)	89
TABELA 14. Análise de variância para a variável resposta viscosidade (RVA)	96
TABELA 15. Valores médios (10 repetições) para textura, sabor e preferência geral dos "snacks"	108

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Desenho esquemático do extrusor Wenger TX-52	5
FIGURA 2. Fluxograma típico de produção de "snacks" de terceira geração	8
FIGURA 3. Configuração dos parafusos usados no experimento	26
FIGURA 4. Diagrama de superfície de resposta mostrando o efeito da temperatura e formulação na densidade	53
FIGURA 5. Efeito da umidade e temperatura na densidade aparente dos "pellets" expadidos, na fórmula I	57
FIGURA 6. Efeito da umidade e temperatura na densidade aparente dos "pellets" expadidos, na fórmula II	58
FIGURA 7. Efeito da umidade e temperatura na densidade aparente dos "pellets" expadidos, na fórmula III	59
FIGURA 8. Efeito da umidade e temperatura na densidade aparente dos "pellets" expadidos, na fórmula IV	60

FIGURA 9. Efeito da umidade de processamento no índice de absorção de água	62
FIGURA 10. Efeito da umidade e temperatura de processamento no índice de absorção de água nos "pellets", fórmula I	65
FIGURA 11. Efeito da umidade e temperatura de processamento no índice de absorção de água nos "pellets", fórmula II	66
FIGURA 12. Efeito da umidade e temperatura de processamento no índice de absorção de água nos "pellets", fórmula III	67
FIGURA 13. Efeito da umidade e temperatura de processamento no índice de absorção de água nos "pellets", fórmula IV	68
FIGURA 14. Diagrama de superfície de resposta mostrando o efeito da temperatura e formulação no índice de solubilidade em água	72

FIGURA 15. Efeito da umidade e temperatura de processamento no índice de solubilidade em água nos "pellets", fórmula I	74
FIGURA 16. Efeito da umidade e temperatura de processamento no índice de solubilidade em água nos "pellets", fórmula II	75
FIGURA 17. Efeito da umidade e temperatura de processamento no índice de solubilidade em água nos "pellets", fórmula III	76
FIGURA 18. Efeito da umidade e temperatura de processamento no índice de solubilidade em água nos "pellets", fórmula IV	77
FIGURA 19. Efeito da formulação na textura no Instron dos "pellets" expandidos	80
FIGURA 20. Efeito da umidade e temperatura de processamento na textura dos "pellets" expandidos, fórmula I	82
FIGURA 21. Efeito da umidade e temperatura de processamento na textura dos "pellets" expandidos, fórmula II	83

	Página
FIGURA 22. Efeito da umidade e temperatura de processamento na textura dos "pellets" expandidos, fórmula III	84
FIGURA 23. Efeito da umidade e temperatura de processamento na textura dos "pellets" expandidos, fórmula IV	85
FIGURA 24. Teste Quantis para susceptibilidade à ação enzimática	88
FIGURA 25. Efeito da umidade e temperatura de processamento na susceptibilidade à ação enzimática dos "pellets", fórmula I	90
FIGURA 26. Efeito da umidade e temperatura de processamento na susceptibilidade à ação enzimática dos "pellets", fórmula II	91
FIGURA 27. Efeito da umidade e temperatura de processamento na susceptibilidade à ação enzimática dos "pellets", fórmula III	92
FIGURA 28. Efeito da umidade e temperatura de processamento na susceptibilidade à ação enzimática dos "pellets", fórmula IV	93

FIGURA 29. Diagrama de superfície de resposta mostrando o efeito da temperatura e umidade de processamento na viscosidade dos "pellets", fórmula I	97
FIGURA 30. Diagrama de superfície de resposta mostrando o efeito da temperatura e umidade de processamento na viscosidade dos "pellets", fórmula II	98
FIGURA 31. Diagrama de superfície de resposta mostrando o efeito da temperatura e umidade de processamento na viscosidade dos "pellets", fórmula III	99
FIGURA 32. Diagrama de superfície de resposta mostrando o efeito da temperatura e umidade de processamento na viscosidade dos "pellets", fórmula IV	100
FIGURA 33. Visco-amilogramas representativos da fórmula I obtidos de "pellets" com diferentes umidades de processamento	102
FIGURA 34. Visco-amilogramas representativos da fórmula II obtidos de "pellets" com diferentes umidades de processamento	103

FIGURA 35. Visco-amilogramas representativos da fórmula III obtidos de "pellets" com diferentes unidades de processamento	104
FIGURA 36. Visco-amilogramas representativos da fórmula IV obtidos de "pellets" com diferentes unidades de processamento	105
FIGURA 37. Teste sensorial de aceitabilidade dos "snacks" referente a sabor	110
FIGURA 38. Teste sensorial de aceitabilidade dos "snacks" referente à crocância	111
FIGURA 39. Teste sensorial de aceitabilidade dos "snacks" referente à pergunta se compraria ou não o produto	112

INTRODUÇÃO

Os produtos denominados "snacks" de terceira geração ou "pellets" são também conhecidos como produtos intermediários (half-products). Após o cozimento por extrusão com a forma da matriz o produto é submetido a uma cuidadosa etapa de secagem. Os "pellets" estarão prontos para serem consumidos após sofrerem expansão, que pode ocorrer através de um processo rápido de fritura em óleo, por aquecimento com ar quente ou forno de microondas.

Estes "pellets" podem ser preparados por uma sub-unidade central de processamento e transportados, até os centros urbanos de consumo. Esse produto intermediário possui características vantajosas para o transporte pois é três vezes menor em volume do que o produto final expandido, além disso a umidade dos "pellets" situa-se entre 9- 12%, permitindo longos períodos de estocagem. Nestas condições, o produto intermediário não exige maiores cuidados na embalagem, pois a sua distribuição, nesse estágio, é apenas para o grupo comercializador.

Após o processo de expansão são adicionados ingredientes como sal ou aditivos que dão ao produto sabor e aroma característicos , de queijo, cebola, etc.

A elaboração dos "snacks" de terceira geração pode ser feito com misturas de diferentes ingredientes, entre os quais se incluem farinhas de cereais, de tubérculos, amidos, especiarias, óleos e condicionadores de massa, entre outros, segundo necessidades específicas.

Nos últimos anos, diversas pesquisas têm sido conduzidas no sentido de se verificar o efeito das variáveis do processo de extrusão nas

características dos produtos extrusados, porém poucos estudos foram publicados sobre produtos extrusados não expandidos ou "pellets". O propósito desta pesquisa é estudar os efeitos da formulação, temperatura e umidade de condicionamento nas propriedades físicas, reológicas e de textura de misturas de farinha de milho, amido de milho e fécula de mandioca na elaboração de produtos intermediários (half-products) por extrusão termoplástica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Extrusão

Os consumidores de hoje exigem cada vez mais uma maior variedade de alimentos com qualidade, sabor e flexibilidade no preparo. O processo de extrusão permite a manufatura de uma série de produtos e, na atualidade, tem revolucionado os métodos convencionais no preparo de cereais matinais, "snacks", amidos e farinhas pré-gelatinizadas, rações para animais, etc .

Os extrusores oferecem significativas vantagens como a minimização do tempo, da energia e dos custos, produção contínua em larga escala, alta capacidade de produção por unidade de área e a ausência de efluentes (STANLEY, 1986.)

2.1.1. Tipos de extrusores

Os extrusores para a preparação de alimentos ou "snacks" estão geralmente divididos em duas categorias: 1) extrusores de uma , 2) extrusores de duplo parafuso. Os de um parafuso estão sub-divididos em quatro categorias: 1) extrusores de baixo cisalhamento, ou formadores; 2) extrusores para cocção de baixo cisalhamento; 3) extrusores para cocção de médio cisalhamento; e 4) extrusores para cocção de alto cisalhamento. Os extrusores de duplo parafuso podem ser divididos em várias sub-categorias: 1) extrusores cujos parafusos são co-rotatórios entrelaçados,

ou seja, aqueles em que os parafusos giram no mesmo sentido e estão em contato entre si; 2) extrusores co-rotatórios não entrelaçados, quando os parafusos giram no mesmo sentido, mas não estão em contato; 3) extrusores contra-rotatórios entrelaçados, onde os parafusos giram em sentido contrário e estão em contato entre si; 4) extrusores contra-rotatórios não entrelaçados, nos quais os parafusos giram em sentido contrário e não estão em contato; e 5) extrusores de parafusos cônicos entrelaçados, (HARPER, 1979; HUBER e ROKEY, 1989).

Os extrusores, dentro das suas categorias, possuem variadas formas de desenho, com alternativas de mudanças na configuração dos parafusos e/ou dos cilindros. A figura 1 ilustra o extrusor da Wenger Manufacturing Inc., modelo TX-52, com o qual se realizou esta pesquisa. O canhão deste extrusor é segmentado em partes (cabeças) para permitir maior versatilidade dos processos. Os componentes e o comprimento do canhão podem ser selecionados, baseando-se na melhor configuração para cada produto específico. Estas cabeças podem ser separadas tanto vertical como horizontalmente, para configurações específicas ou para manutenção e limpeza. Um dos segmentos que compõe o canhão possui uma abertura para facilitar a exaustão do vapor, permitindo o controle da pressão e temperatura para produtos que requerem determinada densidade. Os parafusos são também segmentados e podem ser intercambiados segundo as necessidades.

Extrusor de dupla rosca
TX-52.

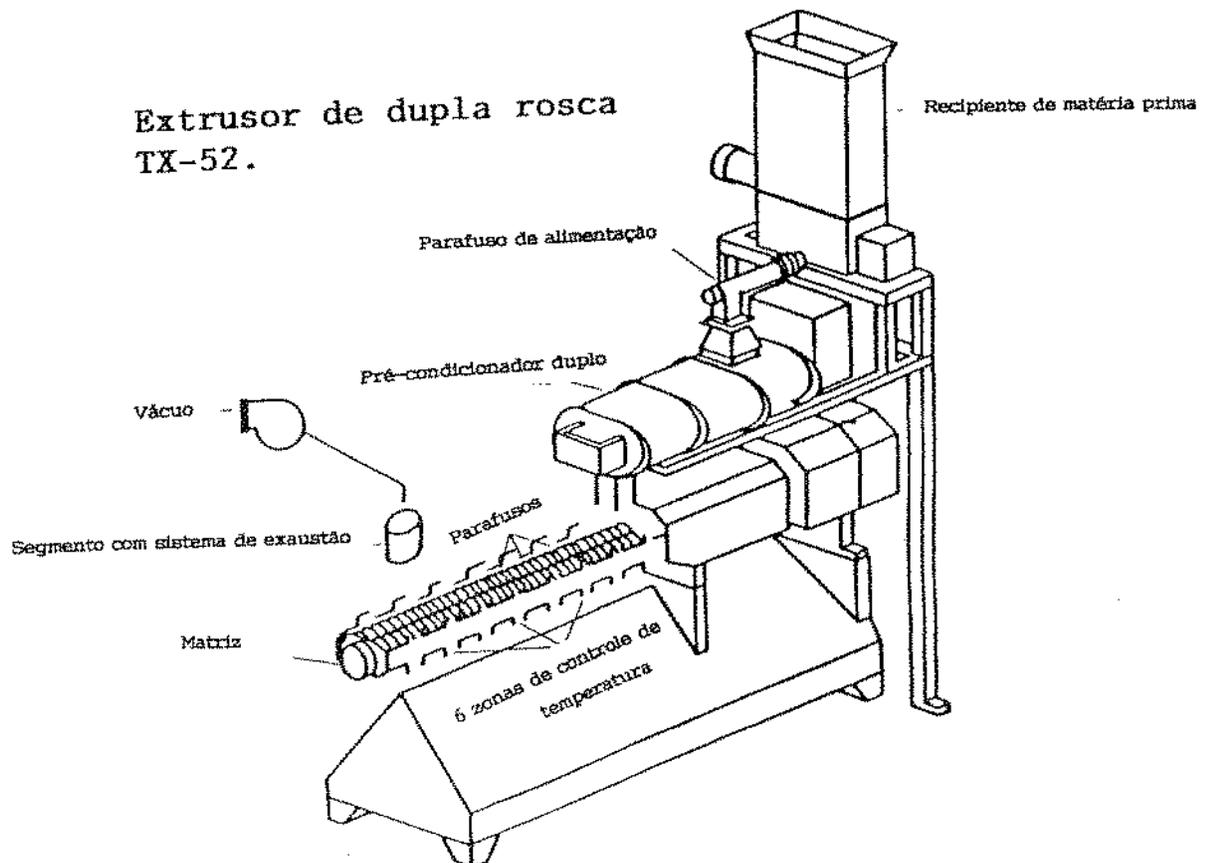


Fig. 1. Desenho esquemático do extrusor Wenger TX-52.

2.2. Os "snacks" de terceira geração

2.2.1. Evolução dos "snacks"

Históricamente, os produtos alimentícios em estágio intermediário foram primeiramente preparados em países orientais, utilizando féculas de raízes, particularmente mandioca. Estes produtos intermediários obtiveram boa aceitação porque podiam ser estocados à temperatura ambiente e por períodos relativamente longos. Em épocas mais recentes, a tecnologia usada pelos orientais foi se popularizando na preparação de produtos intermediários - "half-products"-utilizando amido ou farinha de batata (WILKINSON e SHORT, 1989.)

Os produtos prontos para o consumo humano como cereais matinais e "snacks", em geral, tiveram grande evolução em curto espaço de tempo, tendo ocorrido em três gerações. Na primeira geração, a matéria-prima era processada na forma de grãos inteiros, usando combinações de umidade, temperatura de cozimento, redução de tamanho e secagem. Nos chamados "snacks" de segunda geração, os cereais são trabalhados na forma de uma massa, produzida com diferentes farinhas e/ou amidos de cereais e/ou tubérculos. A massa é formada em pequenas peças, usando um extrusor simples ou de duplo parafuso, seguindo-se a secagem e o armazenamento. Estes "snacks" geralmente são expandidos e prontos para o consumo (HARPER, 1981; HUBER e ROKEY, 1989.)

Os "snacks" de terceira geração, denominados também "half-products", ou "pellets" são feitos em condições similares dos de segunda geração, com a diferença de que os "pellets" não são expandidos. Ao

saírem do extrusor, as peças elaboradas possuem forma de acordo com as características da matriz, e seguem um controlado processo de secagem (GUY e HORNE, 1988.) A expansão destes produtos ocorre posteriormente, através da fritura, aquecimento com ar quente ou por microondas.

2.3. Processamento e fatores que influenciam a expansão de produtos extrusados

O processo de extrusão combina diferentes operações unitárias, como alimentação, mistura, extrusão e formatação. A extrusão de alimentos tem sido descrita como sendo a transformação em um reator de fluxo contínuo, na qual ocorrem mudanças nos biopolímeros e misturas de ingredientes a temperaturas e pressão relativamente altas, com forças de cisalhamento e umidade relativamente baixas (HARPER, 1989.)

Um fluxograma típico para produção de "snacks" de terceira geração está representado na figura 2. No preparo destes "snacks", além das farinhas e/ou amidos de cereais e/ou tubérculos, são incluídos ingredientes como sal, especiarias, óleo, condicionadores de massa, corantes e aromatizantes, etc. O cozimento da massa pode ser feito num extrusor e a formatação dos "pellets" num segundo extrusor. Se farinhas ou amidos pré-gelatinizados são usados na formulação, a etapa do cozimento pode ser eliminada, passando apenas por um extrusor para formar os "pellets", o qual opera a temperaturas abaixo do ponto de ebulição da água. Outra forma de elaborar estes "snacks" consiste em usar um extrusor com um canhão relativamente comprido, de modo que o

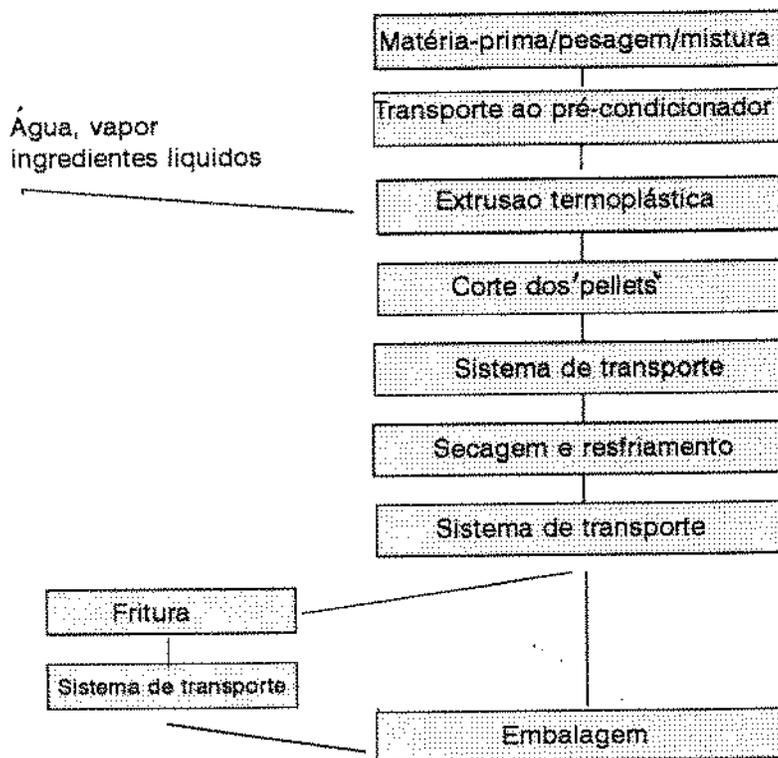


Fig. 2. Fluxograma típico de produção de "snacks" de terceira geração.

contendo 50% de amilose apresentaram maior expansão a 140°C e 14% umidade. Por outro lado, BHUIYAN e BLANSHARD (1988) reportaram que misturas de farinha de milho e amido de milho contendo 35% de amilose possuíam melhores índices expansão. Porém, em contraste com este resultado, CHINNASWAMY e HANNA (1988) encontraram que amido de milho ceroso teria melhor expansão do que o amido normal. ALVAREZ-MARTINEZ et alli (1988), num estudo sobre a expansão dos produtos extrusados, tentaram explicar o que ocorre nas duas formas de expansão radial e longitudinal. Para explicar os resultados, estes autores postularam que a energia armazenada na estrutura do amido, favorece uma expansão radial, devido à tensão de cisalhamento às expensas da expansão longitudinal. Também foi confirmado uma relação inversa entre expansão radial e longitudinal.

Numa patente, WILKINSON e SHORT (1989) descrevem um método para a elaboração de um alimento tipo "snacks " na forma de "pellet". A formulação é, principalmente, à base de farinha de milho, obtida da parte mais dura do grão, tendo pequena quantidade da farinha derivada das partes mais moles do grão, germe e farelo, que inibem a expansão.

Os produtos extrusados feitos à base de amidos e farinhas podem ter a sua expansão afetada por uma série de variáveis. O grau de expansão da matéria-prima resulta de uma complexa interação desses fatores envolvidos no processo, na qual podem ser incluídos: configuração do parafuso, desenho da matriz e da abertura, vazão de alimentação da matéria-prima, velocidade do parafuso, quantidade de água adicionada, taxa de compressão, matéria-prima utilizada, temperatura do canhão e do produto e pressão na matriz. Dentro de um determinado processo, os

fatores relacionados à matéria-prima que exercem marcada influência são os seguintes: conteúdo de umidade, proporção de amilose e amilopectina (FAUBION et alii, 1982), conteúdo de proteína, lipídio e fibra, fonte de amido utilizada, tamanho de partícula, entre outros (CHINNASWAMY e HANNA, 1988; MERCIER e FEILLET, 1975; ALVAREZ-MARTINEZ, KONDURY e HARPER, 1988; GOMEZ, et alii, 1988; ONWULATA, et alii, 1992).

2.3.1. Efeito da composição da matéria prima

Entre os componentes da matéria prima, o amido é possivelmente o composto mais diretamente relacionado com as propriedades reológicas dos produtos extrusados. Pode-se dizer que a expansão destes produtos dependem das modificações do amido e das condições do processo de extrusão.

Os grânulos de amido representam uma estrutura micelar formado por rede de moléculas lineares (amilose) e ramificadas (amilopectina), cuja força depende o seu grau de associação molecular, sendo este o fator que controla o comportamento dos grânulos na água. Com a combinação de certa quantidade água e aquecimento, as pontes de hidrogênio que ligam as moléculas na estrutura micelar são quebradas e a hidratação da rede é facilitada, iniciando um processo irreversível de entumescimento. A temperatura crítica na qual começa este processo é conhecida como temperatura de gelatinização. O grau de gelatinização está em função da origem do grânulo de amido. A fécula de mandioca tem a sua faixa de gelatinização entre 58,5-70,0°C; amido de milho 62,0-

70,0°C; fécula de batata 56,0-66,0°C (WHISTLER e PASCHALL, 1967; LEACH et alii, 1959.) Por outro lado, a temperatura e/ou faixa de gelatinização está, também, influenciada pela homogeneidade ou heterogeneidade dos grânulos de amido, devido à variação que se observa nos diâmetros dos grânulos de diferentes fontes (EVANS e HAISMAN, 1979). Outro aspecto a ser considerado na gelatinização foi explicado por DONOVAN e MAPES (1980), que propõe que as regiões cristalinas (e a sua orientação) e as amorfas, sendo diferentes para cada fonte de amido, deveriam sofrer um processo de inchamento também diferente; isto foi demonstrado usando um calorímetro de varredura (Differential Scanning Calorimetric).

Contudo, nas condições industriais, particularmente na extrusão em condições de alta temperatura e curto tempo, a gelatinização acontece muito rapidamente, já que o material é aquecido em condições adiabáticas e submetido a tensões de cisalhamento que, com a combinação de tipos de amido, umidade, temperatura e pressão, além de outros fatores intrínsecos do extrusor, propiciam, entre outras mudanças, a obtenção de um produto final com típicas características de textura, densidade, expansão, (CAMIRE, CAMIRE e KRUMHAR, 1990).

Na produção de "snacks" de expansão direta, com farinha de milho degerminado, a distribuição granulométrica mais comumente encontrada pelos pesquisadores ROKEY e HUBER, (1987), foi: 16,1% da amostra ficou retida na peneira de malha nº 16 (16 mesh); na 20, 50,5%; na 30, 22,4%; na 35, 7,2 na 40, 2.1%; na 50, 1,3 e 0,4 na base.

Por outro lado, Burros et alii. (1987) estudaram a cinética de gelatinização de grits de milho usando um calorímetro (differential scanning calorimetry -Perkin-Elmer DSC-4-). Com a equação de Arrhenius

estabeleceram um modelo matemático que permitiu verificar os efeitos da dependência da temperatura de gelatinização, numa equação de primeira ordem, da seguinte forma:

$$\ln \frac{UG_t - UG_f}{UG_i - UG_f} = kt$$

O resultado obtido da expressão de Arrhenius, com as constantes foi, descrita da seguinte forma:

$$K = 1.47 \times 10^{(exp)} \left[\frac{-86.41 \text{ kJ g-mol}^{-1}}{RT \text{ min}^{-1}} \right]$$

Onde K= constante, kj = Kilo joules, R= Constante gasoso, T= Temperatura (°K) e g= gramas. Dados de energia de ativação para gelatinização, E_a , reportados por outros autores, foram relativamente similares num outro trabalho, em que a E_a para a gelatinização isotérmica do amido de arroz foram de aproximadamente 14 kcal/mol a 25 kcal/mol (KUBOTA, et alli., 1979).

BHATTACHARYA e HANNA (1987) avaliaram a gelatinização ocorrida no extrusor em amido ceroso e amido sacarino de milho. Níveis de umidade e temperatura variaram em proporções constantes para determinação da melhor razão. Aplicaram então, para descrever as mudanças num determinado parâmetro de qualidade "C" como:

$$dc/dt = - K C^n$$

Onde C= qualidade, t= tempo, n= ordem da reação e k= razão constante.

A ordem da equação foi determinada a partir da inclinação da curva do Log dC/dt vs. log C, considerando-se como sendo ordem zero. A proporção constante apresentou incremento com o aumento da temperatura, mas não seguiu o modelo de Arrhenius, o que pode ser atribuído ao método empregado na variação do conteúdo de umidade do grãos usado nos experimentos com o calorímetro de varredura (Differential Scanning Calorimetry).

CAMIRE et alli, (1990) concluíram que a comparação entre estudos em extrusão de alta temperatura e curto tempo, nem sempre será possível, devido à diversidade de fatores que teriam que coincidir para se obter resultados semelhantes.

2.3.2. Efeito das variáveis de extrusão

No trabalho de CHINNASWAMY e HANNA, (1988) pode-se verificar que a taxa de expansão do amido de milho extrusado varia segundo a velocidade do parafuso, isto é, considerando temperatura e umidade

constantes, a taxa de expansão cresce com o aumento da velocidade do parafuso, até um máximo, e então declina. Por outro lado, também foi observado que à temperatura e umidade constantes, a taxa da expansão cresce com o decréscimo da taxa de alimentação, até um máximo, e então diminui drasticamente. Foi observado um incremento na expansão quando a temperatura do cilindro foi até 140 °C, decrescendo a partir daí. Por outro lado a expansão aumentou quando o conteúdo de umidade de processamento decresceu de 30% para 14%.

MERCIER e FEILLET (1975) estudaram os efeitos de temperatura (70-225°C), teor de umidade (10,5-28.5%) e razão amilose/amilopectina nos produtos obtidos por extrusão de amidos de milho, trigo e arroz, utilizando um extrusor Creusot-Loire BC45. Estes autores verificaram que o aumento da temperatura provocou aumento da fração de carboidratos solúveis em água, sendo que este efeito foi mais acentuado quanto menor era o teor de amilose. O Índice de absorção de água (IAA) também aumentou com a temperatura, quando o teor de amilose era de 25%, mas permaneceu praticamente constante quando esse teor era mais elevado. Observaram, ainda, que a elevação da umidade provocou um aumento da viscosidade final e do IAA, enquanto que o Índice de solubilidade em água (ISA) e a expansão diminuíram. Amidos de diferentes fontes (milho, arroz ou trigo), tratados nas mesmas condições, apresentaram respostas diferentes para as propriedades estudadas, indicando que a estrutura física do amido tem influência nestas propriedades. Analisando as frações solúveis em água e álcool, concluíram que a extrusão provocou apenas liberação de polímeros de alto peso molecular, sem formação de dextrinas.

MERCIER (1977), trabalhando com fécula de batata e usando um extrusor, Creusot-Loire BC45 de duplo parafuso, verificou que as temperaturas de processamento entre 75-190°C, provocaram aumentos na expansão e no ISA, enquanto que a viscosidade a 50°C, e o IAA diminuíram. Estes resultados foram explicados pela ruptura dos grânulos de amido. Já nos amidos de cereais foi verificada a formação de oligossacarídeos, com cadeia linear e peso molecular inferior a 2.000, sendo que o teor destes oligossacarídeos aumentou com o aumento da temperatura do processo.

Num outro trabalho, MERCIER et alli (1980) extrusaram fécula de mandioca comercial nas mesmas condições da pesquisa citada anteriormente, com 22% de umidade, e constataram que as propriedades deste produto assemelhavam-se às da fécula de batata, sendo que, com a elevação da temperatura, a expansão e o ISA aumentavam, e o IAA e a viscosidade a frio após cozimento diminuíam.

CASE et alli, (1992) trabalhando com farinha e amido de trigo e farinha e amido de milho na elaboração de "snacks" de terceira geração, num extrusor Werner & Pfleiderer de duplo parafuso, verificaram que os "pellets", após expansão por fritura, apresentaram maior volume quando a gelatinização dos grânulos de amido era maior. As amostras com baixa gelatinização apresentaram muito pouca expansão após fritura. Concluíram, assim, que a densidade decrescia quando a gelatinização do amido aumentava, observando-se, então uma relação direta entre grau de gelatinização e expansão.

SAN MARTIN (1990) estudou o efeito da adição de monoglicérides no processo de extrusão de amido de milho e verificou que a formação de complexos amido-monoglicérides, o efeito lubrificante e a dextrinização

do amido estariam intimamente correlacionadas às condições operacionais do processo tais como: a concentração de monoglicerídeos, temperatura de extrusão e umidade de condicionamento.

2.3.3. Influência de alguns compostos na gelatinização do amido

2.3.3.1. Lipídeos

A influência de lipídeos polares nas características de pasta é bastante conhecida. Quando ácidos graxos ou álcoois de alto peso molecular são adicionados a soluções diluídas de amilose, ocorre a formação de complexos insolúveis. Nestes complexos, a parte hidrofóbica do composto orgânico está inserida no interior da hélice da amilose. A formação destes complexos provoca enrijecimento e compactação da hélice, alterando o comportamento da amilose em solução (CIACCO e CRUZ, 1982).

Em dispersões de amido granular, a presença de lipídeos, principalmente monoglicerídeos, causa modificações no comportamento reológico da dispersão. Estas modificações são decorrentes de uma absorção de lipídeos que neutralizam as forças de atração ou repulsão que existem entre os grânulos (CIACCO e CRUZ, 1982).

No entanto, CAMIRE *et alii.*, (1990), afirmaram que o uso de lipídeos polares em extrusão parece ter um grande potencial na melhora da textura dos produtos expandidos na elaboração de "snacks" dentro de condições controladas de processamento. O efeito dos lipídeos na gelatinização do amido está relacionado com o tamanho da cadeia do

lipídeo polar. Quanto mais curta a cadeia, maior a gelatinização. Compostos com cadeias longas e intermediárias inibem o inchamento dos grânulos e a capacidade de absorção.

Normalmente, produtos extrusados com características sensoriais desejáveis possuem alta solubilidade de cerca de 80 a 90%. Quando foi adicionado 2% de ácido oléico, na fécula de mandioca extrusada, a solubilidade diminuiu a 25%, quando comparado com a amostra sem o ácido oléico (90%) (MERCIER e FEILLET, 1975). Reduções na solubilidade também foram observados quando os experimentos foram feitos com monoglicerídeos de cadeias de 16 e 18 carbonos.

De la GUERIVIERE et alli., (1985) mostraram que a adição de lipídeos a níveis de 1 a 3% lubrifica o material no canhão do extrusor e a expansão longitudinal aumenta de forma linear, porém conteúdos de lipídeos iguais ou superiores a 6 % reduziram a expansão.

2.3.3.2. Proteínas

A gelatinização do amido pode ser influenciada pela presença de proteína. Em trabalhos com sorgo, CHANDRASHEKAR e KIRLEIS (1988) encontraram que a absorção de água a 70 e 80°C foi reduzida, e a gelatinização diminuída, quando a fração de "kafirina" foi aumentada de 46 a 70% do total do conteúdo de proteína. A "kafirina" é uma prolamina solúvel em álcool, que envolve os grânulos de amido do sorgo e diminui a rápida gelatinização dentro de condições normais de cozimento. Outras prolaminas, como a zeína do milho, estão também associadas com a dureza do grão do cereal e poderiam influenciar também na gelatinização dos grânulos de amido.

FAUBION et alli. (1982), usando isolado protéico de soja e glúten de trigo, encontraram que estas proteínas, quando extrusadas, possuem efeitos opostos na expansão. O isolado protéico adicionado a 7,5% no amido de trigo causou um aumento de 25% na expansão. Por outro lado, nas mesmas condições, a adição do glúten causou 14% de redução na expansão. Estes efeitos poderiam ser explicados devido às diferenças nas propriedades químicas das duas proteínas, que possuem efeitos diferentes na hidratação e gelatinização do amido.

Durante a extrusão, a reação de Maillard é favorecida pelas condições de alta temperatura ($>180^{\circ}\text{C}$) e cisalhamento (<100 rpm), em combinação com baixas umidades ($<15\%$) (CHEFTEL, 1986). No entanto, PHAM e del ROSARIO (1986), trabalhando com farinha de leguminosas reportaram perdas altas de lisina disponível, apenas elevando os níveis de umidade de processamento e mantendo constante a temperatura de extrusão. Por outro lado, a lisina disponível foi alta quando foi aumentada a velocidade do parafuso, visto que o tempo de residência foi diminuído.

NOGUCHI e colaboradores (1982) mostraram que a velocidade do parafuso não seria o fator responsável pela retenção da lisina disponível em biscoitos enriquecidos com proteínas. Neste produto, foi perdido valores superiores a 40% da lisina disponível presente na mistura durante o processo de extrusão a 170 a 210°C de temperatura de massa e 13% de umidade. A perda da lisina decresceu quando a umidade de processamento foi aumentada a 18%, apesar do aumento da temperatura do canhão. Para explicar o efeito protetor da água, foi sugerido que a cinética, assim como a ocorrência das reações, estariam afetadas devido à baixa viscosidade na matriz do alimento dentro do extrusor; além disso, a água é um sub-produto da reação de Maillard.

As proteínas na forma nativa, ao serem extrusadas, estão expostas à perda da lisina disponível. Maior quantidade de lisina foi perdida em proteínas de origem animal, visto que estas contêm maiores teores de lisina do que as de origem vegetal (YEN et alli. 1988). Porém, sendo a lisina um aminoácido limitante da qualidade da proteína, nos cereais e algumas leguminosas, a perda da lisina disponível destas proteínas é, portanto, motivo de severos cuidados durante o processamento.

O cozimento por extrusão usando extrusores de duplo parafuso oferece a possibilidade de misturar proteínas de fontes fisicamente diferentes, obtendo como resultado uma proteína de qualidade superior. Misturas de proteínas animais e vegetais de menor custo são o alvo de recentes projetos (BHATTACHARYA, et alli, 1986, PERI, et alli, 1983).

2.3.3.3. Outros componentes

Açúcar e outras substâncias não iônicas podem inibir a gelatinização. Por outro lado, espécies iônicas, dependendo do tipo de eletrólito, têm um efeito oposto. O trabalho de EVANS e HAISMAN, (1982) mostrou uma relação entre atividade de água e efeito do soluto. Por exemplo, cloreto de sódio produz um aumento na temperatura de gelatinização em concentrações acima de 1.5 M, a qual é seguida pela redução da temperatura de gelatinização a altas concentrações. Concentrações de cloreto de sódio acima de 3M causam aumento na temperatura inicial de gelatinização, ocorrendo o inverso para concentrações de menor valor. Nestas condições, formulações que contenham altos níveis de cloreto de sódio poderam observar variações

significativas de temperatura de gelatinização durante o processo de extrusão.

2.4. Processos para obtenção de produtos intermediários

Considerável número de patentes relacionadas com processos para obtenção de produtos intermediários tem sido registrado nos principais países desenvolvidos. As patentes Norte-americanas, Inglesas e Canadenses são as mais comuns no que se refere aos "snacks" de terceira geração.

SHACHAT (1990) patenteou um singular processo de elaboração de "snacks" feito à base de fécula de mandioca, amido de milho e queijo desidratado. A fórmula incluiu 3 partes de fécula de mandioca, 3 partes de fécula de batata e 3 partes de farinha de milho e especiarias para caracterizar o sabor. Os ingredientes foram misturados e umedecidos para formar uma massa, que foi colocada a seguir em um extrusor de baixo cisalhamento com uma matriz cilíndrica de 30 cm aproximadamente. A matriz, contendo o produto formatado dentro do tubo, é submetido a cozimento através de jatos de vapor por uma hora até que a massa tenha uma aparência translúcida. O produto foi então resfriado por 3-4 dias a 8°C, e congelado em congelador por 1 dia. As peças cilíndricas foram, a seguir, cortadas em pedaços de 2,5 cm e colocadas em microondas por 1-2 minutos, onde o produto foi expandido para o consumo.

A patente de um processo para obtenção de "half-product" de baixa densidade e baixa caloria foi apresentada por SINGER et alli (1970). Ele inclui na formulação os seguintes materiais por peso: 57,05% de farinha de batata, gel de myverol (monoestearato de glicerol) 9,4%, aromatizante

1,25%, sacarose 0,3% e água 32,0%. O processo registrado na patente utilizou um extrusor de laboratório marca Bonnot, com matriz recoberta de teflon. A temperatura na matriz foi de 55 a 65 °C e a temperatura no canhão foi mantida a 46 °C. A massa obtida foi translúcida e cortada em peças de aproximadamente 0,45 mm de formato hexagonal que, após secagem, apresentaram uma umidade de 7-8%. A expansão das peças foi feita num forno de radiação infra-vermelha com as placas superior e inferior aquecidas à temperaturas de 760 e 1030°C, respectivamente. Uma esteira giratória colocada entre as placas aquecidas, com velocidade de aproximadamente 60 cm/seg, foi usada como leito de expansão. Os "pellets" atingiram a expansão à temperatura de 110° C em 5 a 10 segundos.

VILLARD (1988), patenteu um processo de produção de "snack" sem o uso de extrusor, usando farinhas parcialmente gelatinizadas. O processo de preparo da massa foi feito usando equipamento para fazer "tortillas" e as peças, quando expandidas após fritura, atingiram tamanhos de 1,4 a 2,5 vezes o tamanho original. O preparo, a nível de laboratório, descrito na patente, inclui grãos inteiros de milho 47,4%, farinha pré-gelatinizada 17,1%, fécula de mandioca 15,2%, grãos de trigo quebrados 10%, amido de milho 8,3,% sal 2,0%. O preparo da massa foi feito com 300 gramas de material da fórmula descrita, 200 gramas de água e misturados em uma batedeira Hobart A-50, durante 3 minutos. A massa obtida foi laminada (1,0 mm) numa laminadora Rondo Modelo 1-500, de operação manual. A massa laminada foi cortada em peças retangulares de 2 X 6 cm e fritos por aproximadamente 60 segundos a 175°C.

O Werner & Pfleiderer, de duplo parafuso, foi usado por LAZARUS (1990) na elaboração do "snack" 3G. A fórmula usada inclui 75 partes

(por peso) de fécula de batata, 6 partes de fécula de mandioca, 3 partes de maltodextrina, 2,5 partes de amido ceroso de milho, 0,8 partes de cloreto de sódio, 10 partes de compostos com sabor e 2 partes de queijo em pó. A mistura foi feita em uma misturadora de alta velocidade durante 3 minutos. Após a mistura, o produto foi extrusado a temperaturas de 34, 101, 41 e 92°C nas zonas 1, 2, 3 e 4 respectivamente. Os "pellets" foram secos a temperaturas entre 20 e 23°C até 12 e 14% de umidade final. Em seguida, 30 gramas de "pellets" foram colocados em embalagens especiais para uso em forno de microondas. Os "pellets" expandidos no microondas tiveram uma densidade de 80 g/l.

Outra patente de "half-product" foi apresentada por GERKENS (1973), elaborado integralmente de batatas, previamente descascadas moídas e tratadas com bissulfito de sódio (50 ppm). O material foi então seco e peneirado. A fórmula do "snack" inclui a adição de fécula gelatinizada de batata, em percentagens previamente estabelecidos. O preparo da massa estabeleceu percentagens de umidade entre 28 e 35 para o processo de extrusão. O "half-product" resultante pode ser frito a 180°C durante 15 segundos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. MATERIAL

3.1.1. Matéria-prima

-Fécula de mandioca obtido da National Starch and Chemical Company, 11% umidade, pH 6.

-Farinha de milho obtida da firma J.R. Short Milling Company. Nome comercial: Sunlite yellow reduction Corn flour, product #868.

-Amido de milho obtido da National Starch and Chemical Company, 11% umidade, pH 6,5.

-Aditivos: Myvaplex 600 (Monoglicerídio, concentrado), cuja formulação contém não menos do que 90% de monoglicerídeos e não mais do que 5% de diglicerídeos (ácido ascórbico e ácido cítrico adicionados como preservantes).

-Sal e aromatizantes (cebola em pó, pimenta vermelha em pó).

-Óleo vegetal de Canola parcialmente hidrogenado, com dimetilpolisiloxane adicionado como agente antifumegante.

3.1.2. Equipamento

- Batedeira semi-industrial Hobart

- Extrusor *Wenger TX-52* da Wenger Manufacturing, Sabetha, Kansas, USA, de duplo parafuso de configuração intercambiável. Relação comprimento/diâmetro de 647.7 mm/25.4 mm (25.5':1'), com de 9 zonas (heads), das quais 6 controladas por termopares. Jaquetas aquecidas por

fluido de óleo quente e sistema de resfriamento com água gelada. As jaquetas possuem válvulas para injeção de líquidos ou vapor no canhão. Os parafusos são co-rotativos de contato (entrelaçados), com terminação cônica, cuja configuração está representada na fig. 3.

- Matriz "plate maldari" Rotini 47304, com abertura em forma de "S" com 58 orifícios. Foram usados 26 orifícios correspondentes aos raios externos da matriz, para diminuir a vazão.

- Faca com 4 lâminas cortantes, sendo usada apenas uma delas, à velocidade de 70 rpm

- Extrusor com painel de controle para o monitoramento de: temperaturas nas zonas, velocidade do parafuso, velocidade do pré-condicionador, vazão de água e vapor em Kg/hora (controlada por rotâmetro) no pré-condicionador e no canhão.

- Secador Wenger Modelo 360 (com controlador de temperatura e umidade relativa)

- Fritadeira Hobart

- Sistema de embalagem Multivac

- Balança eletrônica Brainweigh-Ohaus Modelo MB 301

- Instron Modelo 4501

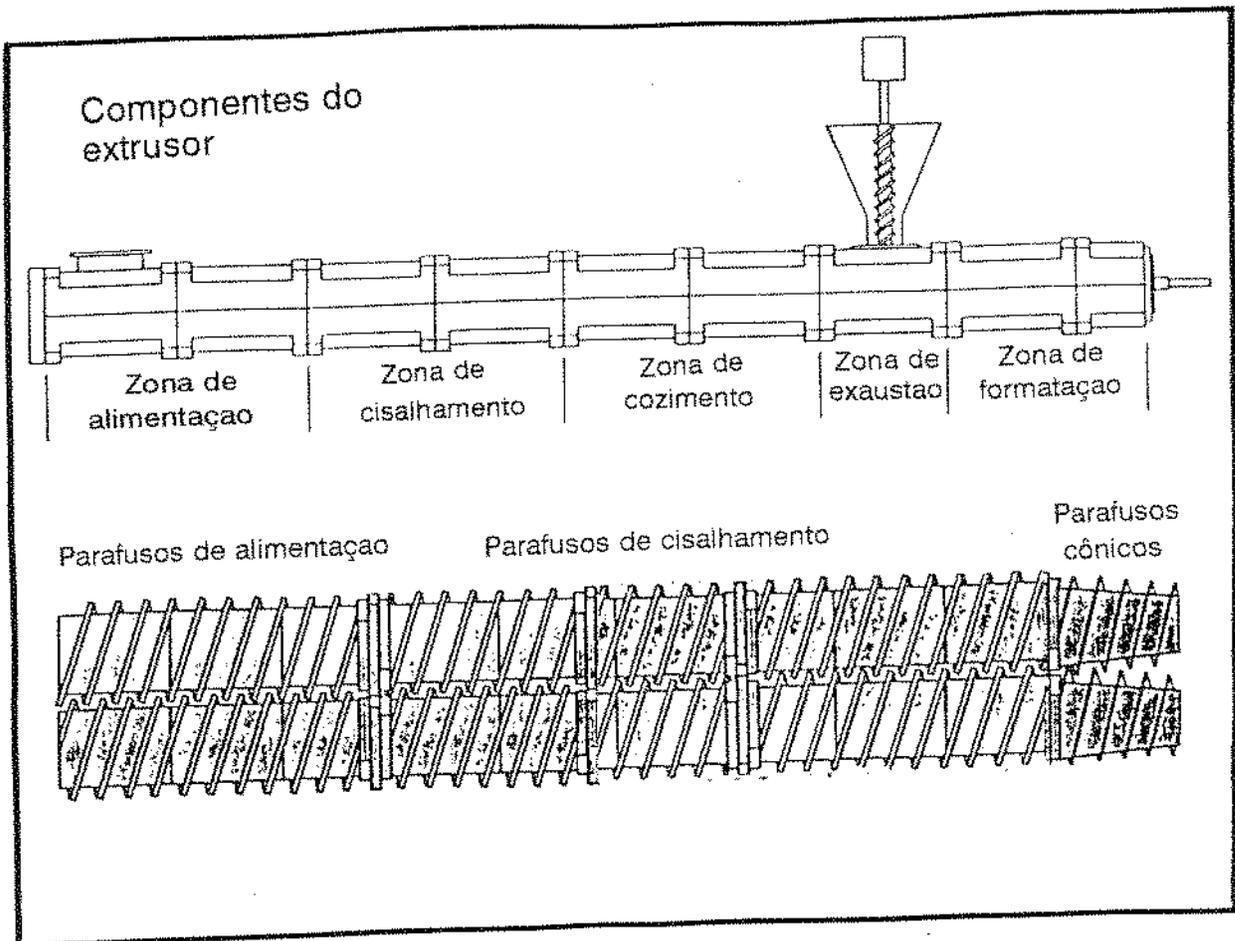


Fig. 3. Configuração dos parafusos usados no experimento

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Métodos analíticos para os "pellets" e/ou produto final expandido

3.2.1.1. Composição centesimal

Proteína, lipídeos, umidade, e cinzas foram determinados segundo métodos descritos pela AACC, métodos 46-13, 30-25, 44-01 e 08-01 respectivamente. Cada amostra foi seca imediatamente após terminado o processo de extrusão, determinando-se a porcentagem de umidade e prosseguindo-se com as demais análises. Percentagem de fibra foi feita segundo método descrito por VAN DE KAMER e VAN GINKEL, (1952).

3.2.1.2. Granulometria

Para a determinação do tamanho de partículas da farinha de milho usada nas formulações, usou-se um conjunto de peneiras de laboratório (malhas 30, 40, 60 e 100 mesh) e um vibrador para peneiragem. Foram usadas amostras de 100 g e um tempo de vibração de 10 minutos, na intensidade máxima de do aparelho.

3.2.1.3. Determinação da densidade aparente

A densidade dos "snacks" expandidos foi determinada pelo método do deslocamento da massa ocupada (semente de canola) e determinado

o seu volume numa proveta graduada. (A fórmula: $D = p/v$, onde D = densidade, p = peso, v = volume foi utilizada para o cálculo)

3.2.1.4. Índices de absorção de água (IAA) e de solubilidade em água (ISA)

A determinação dos índices de absorção e de solubilidade em água seguiu a metodologia de ANDERSON et alii, 1969. Em um tubo de centrífuga (com tampa), previamente tarado, foram colocados aproximadamente 2,5 g de amostra (com granulometria < 60 mesh) e 30 ml de água a 28°C. Os tubos foram agitados durante 30 minutos num agitador mecânico, à mesma temperatura de 28°C e, em seguida, foram centrifugados a 3.000 x g durante 10 minutos. O líquido sobrenadante foi escorrido cuidadosamente em placa de Petri previamente tarada. O gel remanescente foi pesado e o IAA calculado conforme a seguinte relação:

$$\text{IAA} = \frac{\text{Peso do resíduo da centrifugação}}{\text{Peso da amostra} - \text{peso do resíduo da evaporação}}$$

O índice de solubilidade em água (ISA) foi determinado a partir da evaporação do sobrenadante obtido no teste anterior. Para o cálculo do ISA foi utilizada a seguinte relação:

$$\text{ISA} = \frac{\text{Peso do resíduo da evaporação}}{\text{Peso da amostra}} \times 100$$

3.2.1.5. Textura

Foi usado o Instron-Universal Testing Instrument modelo 4501 com sistema computacional programável. O acessório Kramer Sher Cell modelo 2830-018, para simulação da mastigação, foi usado nos testes das amostras expandidas nas diferentes formulações e tratamentos. Foi usado o software Instron Séries IX para a programação e cálculos dos resultados em cada um dos testes (SHAMA e SHERMAN, 1973).

3.2.1.6. Susceptibilidade à ação enzimática

A quantidade de amido gelatinizado durante o processo de extrusão foi determinada usando a enzima alfa-amilase fúngica (Aspergillus oryzae) Diazyme L200 segundo método estabelecido pela Technicon Industrial Systems, Inc.,(s/d) Tarrytown, NY. Method # SF4-0064FA8. O teste determina a quantidade de amido gelatinizado presente na amostra. O princípio do método é baseado no fato de que o amido gelatinizado é atacado pela enzima, produzindo glucose livre. A exoquinase e a adenosina-5'-trifosfato (ATP) convertem a glucose a glucose-6-fosfato. Por outro lado, a nicotinamida adenina dinucleotídeo (NAD) e glucose-6-fosfato dehidrogenase reagem com a molécula de glucose-6-fosfato para formar 6-fosfoglucona-1-lactona reduzindo o NAD para NADH. A quantidade de NADH presente é diretamente proporcional à quantidade de glucose livre na amostra, determinada em autoanalisador. O procedimento é descrito em seguida:

a) Foram pesados 0.2 g da amostra (\pm 60 mesh) e colocados num tubo de digestão Kjeldahl de 75 ml. Cada amostra foi feita em triplicata. Para

cada grupo de 40 tubos foram preparados 3 amostras padrão, contendo amido de milho p.a., 0.075 g em cada tubo.

b) Foram adicionados 20 ml de água destilada a cada tubo e misturados num "vortex mixer", tomando o cuidado para que a amostra não ficasse aderida às paredes do tubo.

c) Foi previamente preparado um banho-maria a 60°C.

d) Colocaram-se os tubos contendo as amostras padrão numa autoclave (97°C) por uma hora, para gelatinizar todo o amido presente. Em seguida os tubos foram submetidos à agitação no "vortex mixer", com a finalidade de dispersar o material, tomando-se o cuidado para não deixar esfriar, pois poderia ocorrer retrogradação. Nestas condições, estes tubos foram colocados no banho-maria, até iniciar a digestão enzimática das amostras (farinhas).

e) A seguir foi adicionado a todos os tubos 25 ml de tampão acetato 1N (6,8 g de acetato de sódio x 3H₂O num litro de água) e agitados no "vortex mixer".

f) A adição de 1 ml da enzima alfa-amilase fúngica (Aspergillus oryzae), Diazyme L200, (pronta para o uso) foi feita a intervalos de 30 segundos entre um tubo e outro, de tal forma que cada um deles tivesse um tempo de digestão de 30 minutos. Após a adição da enzima, os tubos foram agitados no "vortex mixer" e colocados no banho-maria a 60°C, na mesma sequência.

g) Durante a digestão, os tubos foram agitados a cada 10 minutos.

h) Após 30 minutos de digestão, a cada tubo foi adicionado uma solução de 1 ml de ácido sulfúrico 10% e agitados no "vortex mixer".

i) As amostras foram, a seguir, resfriadas numa câmara de refrigeração e depois o volume completado a 75 ml, com água destilada e agitado com o

"vortex mixer". Cada tubo foi fechado com tampa de plástico e mantido na câmara de refrigeração até o momento de iniciar a determinação no autoanalisador, onde é determinado a quantidade de NADH presente na amostra. Como reagentes o aparelho utiliza : ATP, NAD, estabilizador, tampões e glicose.

A susceptibilidade à ação enzimática foi calculada como segue:

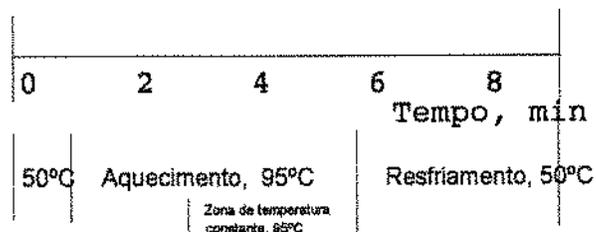
$$\text{mg AS/g amostra} = \frac{\text{ppm} \times 0,075 \times 0,91}{\text{Peso da amostra (g)}}$$

AS= Amido susceptível

3.2.1.7.Viscosidade dos produtos extrusados

A viscosidade máxima em Unidades Viscoamilográficas (U.V.A.) obtida durante o aquecimento à temperatura constante de 95°C, foi utilizada como parâmetro para avaliar as modificações do amido durante o processo de extrusão.

A viscosidade dos produtos extrusados foi determinada usando o Rapid Visco Analyzer (RVA), Newport Scientific Pty. Ltd., Sydney, Australia, provido de programa computadorizado. O tempo (min) e a temperatura (°C) utilizados como parâmetros nesta determinação foram distribuídos da seguinte forma:



O RVA foi desenhado para determinações de viscosidade de produtos amiláceos com pequenas quantidades de amostra (3-4 g) e tempo relativamente curto (18-20 minutos). A pasta foi preparada (água + amido/farinha) na quantidade de 28 g (WALKER *et alli*, 1988). As etapas de aquecimento, temperatura constante e resfriamento foram controladas automaticamente por computador.

Procedimento: 24 ml de água destilada e 4 g de amostra previamente peneirada (40 mesh) foram colocados num copo padrão. Após inserir a paleta no copo e colocá-lo no aparelho, o ciclo do teste foi iniciado. Automaticamente, o computador registrou os dados de tempo e temperatura durante os 18 minutos. Gráficos foram obtidos para a análise de resultados.

3.2.2. Processamento

3.2.2.1. Preparo das amostras

As misturas de fécula de mandioca e farinha de milho com quantidades constantes de amido de milho, sal e monoglicerídeo (Myvaplex 600) foram homogenizados numa batedeira industrial "Hobart" em bateladas de 150 kg para cada fórmula. Estas misturas foram a seguir guardadas em câmara com temperatura controlada de 4°C para utilização posterior (não superior a 12 horas).

Amostras de 25 kg destas misturas foram extrusadas em diferentes condições de umidade e temperatura. A composição das misturas, bem como as condições de umidade e temperatura estão expressas nas tabelas 1, 2 e 3.

3.2.2.2. Desenho experimental

O desenho experimental foi elaborado para verificar os seguintes efeitos:

- a) Efeito da formulação
- b) Efeito da umidade de condicionamento
- c) Efeito da temperatura de extrusão

Foram consideradas 4 formulações, 4 níveis de umidade e 3 condições de aquecimento. A tabela 1 do Anexo, apresenta o esquema "aleatorizado" **Split-split-plot** (COCHRAN e COX, 1957), considerando-se duas repetições. As quatro formulações e correspondentes duplicatas

TABELA 1. Percentagens de amidos e farinhas usados na
elaboração de "half-products"

Material	Fórmula I (%) Razão AM/FMA 1,8333	Fórmula II (%) Razão AM/FM 1,12500	Fórmula III (%) Razão AM/FM 0,41667	Fórmula IV (%) Razão AM/FM 0,6250
Fécula de mandioca	55,00	45,00	25,00	5,00
Farinha de milho	30,00	40,00	60,00	80,00
Amido de milho	13,50	13,50	13,50	13,50
Sal	1,00	1,00	1,00	1,00
Myvaplex 600*	0,50	0,50	0,50	0,50

* Monoestearato de glicerol; AM/FM = Fécula de mandioca/Farinha de milho

TABELA 2. Níveis de umidade durante a extrusão de
"half-products"

Umidade do material antes do processo (%)	Umidade no processo de extrusão (%)	Água adicionada (kg/min.)
12	20	0,108
12	25	0,187
12	30	0,287
12	35	0,383

Tabela 3. Temperaturas usadas nas diferentes zonas do extrusor.

Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6
Constante	Variável	Variável	Variável	Constante	Constante
60°C	105°C	115°C	125°C	65°C	65°C
60°C	115°C	125°C	135°C	65°C	65°C
60°C	125°C	135°C	145°C	65°C	65°C

foram numeradas e "aleatorizadas" originando 8 blocos com diferentes condições de umidade e temperatura. Como consequência, o número de amostras obtidas foi: $4 \times 4 \times 3 = 48$, incluindo as duplicatas : $48 \times 2 = 96$.

3.2.2.3. Processo de extrusão

Os tratamentos no processo de extrusão seguiu rigorosamente o esquema "aleatorizado" Split-split-plot, onde cada bloco teve como variáveis as quatro condições de umidade e os três condições de aquecimento. A fórmula preparada foi colocada no pré-condicionador em funcionamento, onde parte da água foi adicionada por injeção, em forma de vapor e líquida, seguindo-se o processo de extrusão propriamente dito, onde a água restante foi adicionada na forma de vapor ou líquido, permitindo a homogeneização da mistura entre a primeira e segunda zonas. Seis zonas foram controladas através de termopares e controladores digitais de temperatura.

Foram considerados como constantes os seguintes parâmetros:

Velocidade do alimentador:	12 rpm = 65 kg/h
Velocidade do pré-condicionador:	200 rpm
Velocidade dos parafusos:	170 rpm

A configuração, dos parafusos, também constante, seguiu a recomendação da Wenger Manufacturing Inc. para fabricação de pastas pré-cozidas. Na seção 7 foi colocado um tubo de duas polegadas (5.00 cm) para descarregar a pressão gerada nas zonas de maior cisalhamento e evitar a expansão na saída da matriz.

Após o processo de extrusão, os "pellets" foram secos num secador/resfriador contínuo Wenger modelo 360 .

3.2.2.3.1. Processo de secagem

Os parâmetros de secagem dos "pellets" foram testados a diferentes temperaturas e tempos de permanência dentro do secador (tabela 4). Previamente ao processo definitivo de secagem foram feitos testes preliminares utilizando parâmetros de temperatura, tempo e umidade relativa variados, porém próximos aos recomendados pela literatura, entre 1 a 3 horas à temperaturas entre 70 a 95°C (ROKEY e HUBER, 1987). Após ter conseguido parâmetros relativamente próximos ao desejado foram estabelecidas as condições apresentadas na tabela 6 para se verificar a combinação mais favorável de secagem.

Após a secagem e determinação da umidade, o produto foi imediatamente embalado em sacos de polietileno para futuras análises.

3.2.2.3.2. Processo de expansão por fritura

Foram feitos diversos ensaios preliminares de fritura em óleo vegetal para determinar as melhores condições de tempo e temperatura de imersão com relação a expansão (Tabela 5).

TABELA 4. Diferentes condições de tempo e temperatura na secagem dos "pellets" após extrusão (umidade relativa $30\% \pm 5$).

Temperatura , °C	Tempo, min.
65 ± 1	120
75 ± 1	90
85 ± 1	60

TABELA 5. Ensaios de tempo e temperatura na expansão
por fritura dos "pellets"

Temperatura , °C	Tempo, seg.
170 ± 2	30
180 ± 2	20
190 ± 2	10
200 ± 2	06

3.2.3. Análise estatística

3.2.3.1. Análise de Variância

Todas as análises foram feitas após determinar a média das variáveis respostas (média de três determinações). Foi utilizado o método de análise univariada, obtendo-se a análise descritiva dos dados: o número de dados, a média, o desvio padrão (médias de dispersão), a região que contém todos os dados (ponto máximo- ponto mínimo= range), a região central que contém 50% dos dados (Q3 - Q1) e o teste que indicou a existência ou não da normalidade dos dados (W: Normal), além do teste da igualdade das variâncias para os diferentes níveis das variáveis (Hartleys F. Max).

Dentro dos testes para verificar a normalidade dos dados foram utilizados: a) Gráfico de probabilidade normal (Normal probability plot) ou Quantis (Quantiles plot), para verificar se os dados obtidos estiveram normalmente distribuídos, indicando ou não a existência de valores aberrantes. Foram também utilizados na análises os "box plot" o que permitiu a observação da dispersão dos dados.

O modelo da Análise de Variância (ANOVA) foi:

$$Y = u + a + k + \beta + (a\beta) + (\beta k) + q + (aq) + (\beta q) + (a\beta q) + E$$

onde: Y = variável resposta;

u = média geral da resposta;

a = efeito do fator da razão das fórmulas (F);

β = efeito do fator da umidade (MOIS);

TABELA 5. Ensaio de tempo e temperatura na expansão por fritura dos "pellets"

Temperatura , °C	Tempo, seg.
170 ± 2	30
180 ± 2	20
190 ± 2	10
200 ± 2	06

3.2.3. Análise estatística

3.2.3.1. Análise de Variância

Todas as análises foram feitas após determinar a média das variáveis respostas (média de três determinações). Foi utilizado o método de análise univariada, obtendo-se a análise descritiva dos dados: o número de dados, a média, o desvio padrão (médias de dispersão), a região que contém todos os dados (ponto máximo- ponto mínimo= range), a região central que contém 50% dos dados (Q3 - Q1) e o teste que indicou a existência ou não da normalidade dos dados (W: Normal), além do teste da igualdade das variâncias para os diferentes níveis das variáveis (Hartleys F. Max).

Dentro dos testes para verificar a normalidade dos dados foram utilizados: a) Gráfico de probabilidade normal (Normal probability plot) ou Quantis (Quantiles plot), para verificar se os dados obtidos estiveram normalmente distribuídos, indicando ou não a existência de valores aberrantes. Foram também utilizados na análises os "box plot" o que permitiu a observação da dispersão dos dados.

O modelo da Análise de Variância (ANOVA) foi:

$$Y = u + a + k + \beta + (a\beta) + (\beta k) + q + (aq) + (\beta q) + (a\beta q) + E$$

onde: Y = variável resposta;

u = média geral da resposta;

a = efeito do fator da razão das fórmulas (F);

β = efeito do fator da umidade (MOIS);

q = efeito do fator temperatura (TEMP);
k e E = efeitos aleatórios que ocorrem no plano;
e os respectivos efeitos interativos.

3.2.3.2. Metodologia de Superfície de Resposta

Para o estudo do efeito de interação das variáveis respostas foi utilizado a metodologia de superfície de resposta descrita por COCHRAN e COX (1957), através do esquema aleatório **Split-split-plot**, usando o programa Estatístico SAS (Statistical Analysis System). Os níveis correspondentes da temperatura e da umidade foram determinados através de testes preliminares, razão pela qual foi utilizado o método **Split-split-plot** (COCHRAN e COX, 1957), que permitiu fazer os experimentos em 8 blocos aleatórios, correspondendo a 4 fórmulas e uma repetição. Cada bloco (equivalente a uma fórmula) foi processado nas condições das outras variáveis independentes, umidade e temperatura, como descrito nas tabelas 2 e 3.

As variáveis dependentes ou variáveis respostas foram:

Índice de absorção de água, g/g (IAA)

Índice de solubilidade em água, % (ISA)

Densidade aparente (g/cm^3) (DENS)

Textura-Instron, Energia no ponto de quebra, kg/mm (TEXT)

Susceptibilidade enzimática do amido, mg/g (SE)

Viscosidade no Rapid Visco-amilograph, unidades viscoamilográficas, (UVA).

O modelo quadrático de superfície de resposta foi:

$$E(Y) = \beta_0 + \beta_1 F_i + \beta_{11}(F_i)^2 + \beta_2 M_j + \beta_{22}(M_j)^2 + \beta_{12} F_i M_j + \beta_3 T_k + \beta_{33}(T_k)^2 + \beta_{13} F_i T_k + \beta_{23} M_j T_k$$

onde β são os coeficientes ajustados no modelo de regressão (são constantes), F_i representa o i -ésimo nível da formulação T_k -ésimo nível da temperatura e M_j -ésimo nível da umidade. É importante observar que os β_{11}, β_{22} e β_{33} são os coeficientes para os preditores da interação F^*F , $UMID^*UMID$ e $TEMP^*TEMP$, respectivamente.

A construção dos gráficos de superfície de resposta foi feita através do Modelo Linear Geral, método Canônico, uma técnica multivariada.

3.2.4. Análise Sensorial

Foi estudada a preferência sensorial quanto à textura, sabor e preferência geral do produto nos tratamentos que apresentaram melhores características de expansão entre as diferentes formulações. Os parâmetros considerados como importantes foram principalmente, o grau de expansão após fritura e a textura. Para a análise sensorial das 6 amostras previamente classificadas, foi utilizado o teste de preferência com escala hedônica de 7 pontos, onde 1= desgostei muito, 2= desgostei regularmente, 3= desgostei ligeiramente, 4= não gostei nem desgostei, 5= gostei ligeiramente, 6= gostei regularmente e 7= gostei muito. O produto a ser degustado no teste de preferência foi apresentado aos provadores sem nenhum sabor adicional.

O delineamento estatístico utilizado foi o de blocos incompletos balanceados (COCHRAN e COX, 1957) com $t= 6$, $k= 3$, $r= 10$, $b= 20$. Dos 20 provadores utilizados, metade era constituída de mulheres e a outra metade, de homens, ambos não treinados.

Os testes foram realizados no laboratório de Análise Sensorial do CTAA-EMBRAPA, provido de cabines individuais, sob iluminação branca, desde que não havia diferença significativa de cor. As amostras, previamente fritas em óleo de canola, foram servidas à temperatura ambiente, de forma monádica (uma amostra por vez), em pires de porcelana pretos codificados com números de três dígitos e acompanhadas de água destilada à temperatura ambiente, a fim de que os provadores limpassem o palato entre uma amostra e outra. Na ficha do teste (Figura 1 do anexo) foi pedido aos provadores que avaliassem em cada amostra, cada um dos atributos, quanto à preferência.

A análise estatística utilizada foi análise de variância (ao nível de 1%) para intra-blocos de um experimento do tipo I, no qual os blocos foram agrupados em repetições. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,01$).

Após a identificação da formulação que apresentou maior preferência, foi feito teste de aceitabilidade com 100 pessoas, 49 mulheres e 51 homens, os quais responderam o questionário apresentado na Figura 2 do anexo. Os "snacks" foram aromatizados com pimenta vermelha e cebola em pó.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Composição centesimal das matérias-primas

A tabela 6 mostra a composição centesimal da farinha de milho e dos amidos de milho e mandioca. De acordo com os dados apresentados na tabela 6, verifica-se que as composições das matérias-primas utilizadas na elaboração dos "pellets" não se encontram dentro dos padrões de qualidade do ponto de vista de expansão estabelecido por diversos fabricantes de "snacks". De acordo com ROKEY E HUBER (1987), a textura e/ou crocância dos "snacks" dependem da composição da matéria-prima e da própria metodologia de elaboração. Segundo estes pesquisadores, a composição da matéria-prima para produtos de expansão direta e "half-products" deveria variar entre: umidade 12-13%; cinzas 0,2-0,3%; proteína 7-8%; lipídios 0,7-0,8%, diferente portanto, dos materiais usados no presente estudo. Como se pretendia trabalhar com misturas de matérias-primas, apenas o teor de proteína não ficaria dentro da faixa recomendada.

4.2. Granulometria da farinha de milho

Em produtos intermediários o tamanho da partícula é um fator de grande influência na textura do produto final e, os resultados encontrados para a granulometria da farinha de milho utilizada nas formulações, está presente na Tabela 7.

TABELA 6. Composição centesimal da matéria-prima usada na
preparação das formulações

Compo- sição química	Farinha de milho	Amido de mandioca	Amido de Milho
Umidade	13,00	11,00	11,00
Lipídeos	1,50	0,00	0,45
Cinza	0,60	0,05	0,04
Proteína	5,50	0,00	0,42
Fibra crua	0,50	0,00	0,00
Carboi- dratos*	78,90	88,95	88,09

*por diferença

TABELA 7. Granulometria da farinha de milho usada na
formulação

Peneira Tyler, (mesh)	Equivalente em Micra	Porcentagem retida
30	600	0,0
40	425	0,3
60	250	5,0
100	150	40,0
Base	150	54,7

Estes dados indicam que a granulometria obtida para farinha de milho utilizada no presente estudo, foi muito menor do que aquela usada na produção de "snacks" de expansão direta. As especificações granulométricas para farinha de milho utilizada na elaboração de produtos intermediários e recomendadas pela J.R. SHORT MILLING Co (1991) indicam que entre 40 e 50% da farinha deverá passar na malha de 100 mesh, o que é compatível com os dados obtidos para a farinha de milho.

4.3. Composição centesimal do produto "snacks"

A composição centesimal dos "pellets" após fritura em óleo vegetal, classificada como de boa aceitação e preferência pela análise sensorial correspondente a fórmula III (0.41667= Razão Fécula de Mandioca/Farinha de Milho), 35% de umidade e temperaturas do processo de: 60-115-125-135-65-65°C., está apresentada na tabela 8.

A absorção de óleo durante a fritura proporcionou um notável aumento na porcentagem de lipídios (14,5%) em relação aos "pellets" antes da fritura. Embora este valor porcentual pareça relativamente elevado, amostras de outros "snacks" obtidas no mercado (já fritas) e analisadas tiveram conteúdos de lipídios da ordem de 23-26%. A quantidade de lipídios presente nos "snacks" fritos está relacionada com a própria composição da fórmula, ao tempo de exposição no óleo, temperatura e à qualidade do mesmo.

TABELA 8. Composição centesimal dos "snacks" (Fórmula III)

Composição centesimal	Porcentagem (b.s.)
Umidade	4,8
Lipídeos	14,5
Proteína	2,9
Fibra crúa	0,3
Carboidratos*	77,5

*Carboidratos por diferença

4.4. Efeito da formulação, umidade de processamento e temperatura de extrusão nas características tecnológicas dos produtos intermediários

Na tabela 2 do anexo apresentam-se os resultados, em valores médios, de cada uma das variáveis resposta, correspondentes às 4 formulações e suas replicatas, nos níveis de temperatura e umidade estudados.

Com a finalidade de se obter uma melhor representação das curvas, os dados relativos à proporcionalidade das fórmulas (fécula de mandioca/farinha de milho: FI=1,83333, FII=1,12500, FIII=0,41667 e FIV=0,06250) estão ilustrados nos gráficos de superfície de resposta com apenas dois algarismos, enquanto nos cortes transversais das figuras tridimensionais a proporcionalidade aparece em faixas aproximadas aos valores previamente fixados (valor mínimo de proporcionalidade FIV= 0.06 e valor máximo FI=1.83).

4.4.1. Densidade aparente (DENS)

Devido às características geométricas dos "pellets", que possuem diferentes formatos conforme a matriz usada (como peixes, estrelas, parafusos, entre outros desenhos), em muitos casos é muito difícil determinar o grau de expansão do material. No caso deste experimento, a matriz usada tinha forma de um "S".

De acordo com FALCONE e PHILLIPS (1988), a densidade aparente estaria relacionada indiretamente com a expansão. Quanto menos denso, maior o valor da expansão e vice-versa. Estes autores consideram ainda

que a taxa de expansão é o resultado da expansão longitudinal e perpendicular ao fluxo de extrusão, e, por outro lado, a densidade aparente implica na expansão em todas as direções. De acordo com CHIANG (1977), a expansão estaria relacionada com o grau de gelatinização ocorrido no processo e com a taxa de evaporação ("flashing") da água. Com base nestas informações é possível relacionar expansão com densidade aparente.

O menor valor ($0,3256 \text{ g/cm}^3$) corresponde à fórmula II), à temperatura de 125°C , independente da umidade de processamento. Na equação 1, apresenta-se o modelo quadrático correspondente à densidade aparente (DENS) a nível de 10% de probabilidade ($p=0,01353$ e $R^2= 0,1279$), visto que, ao nível de 5%, o modelo foi rejeitado. Devido ao baixo valor de R^2 o modelo serve apenas para estudar a tendência da resposta.

$$\text{DENS} = 0,6308 - 0,5103 F + 0,0844 F^2 - 0,0014 \text{ TEMP} + 0,0024 F \cdot \text{TEMP} \quad (\text{equação 1})$$

A Tabela 9 apresenta os valores da análise de variância da variável dependente (DENS). A construção dos gráficos de superfície de resposta foi feita através do Modelo Linear Geral, método Canônico, uma técnica multivariada. O modelo especifica a dependência das variáveis fórmula e temperatura.

As figuras 4 (a) e (b) ilustram o efeito da formulação e temperatura na densidade aparente dos "pellets" expandidos. A figura 4(a) mostra que a relação fécula de mandioca/farinha de milho igual a 1,24 apresentou os mais baixos valores de densidade. Por outro lado, de maneira geral, para uma mesma formulação a densidade aumentou com o acréscimo da

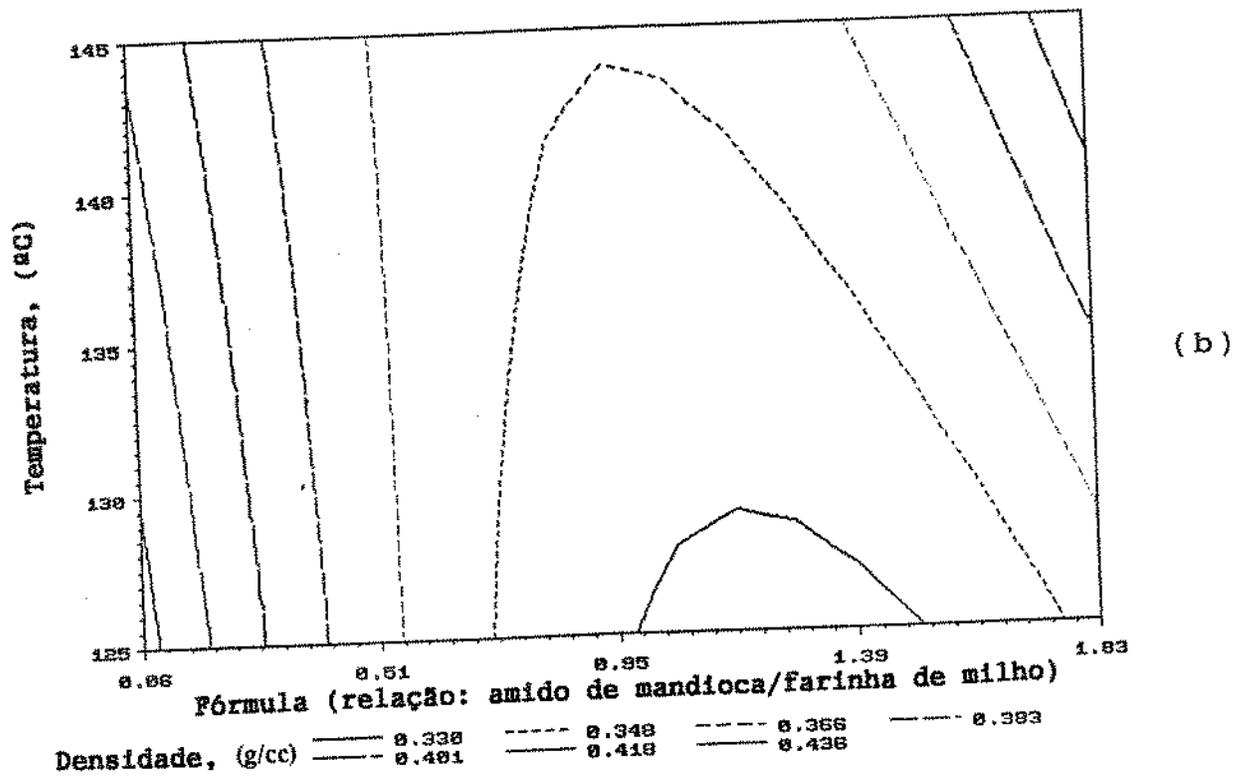
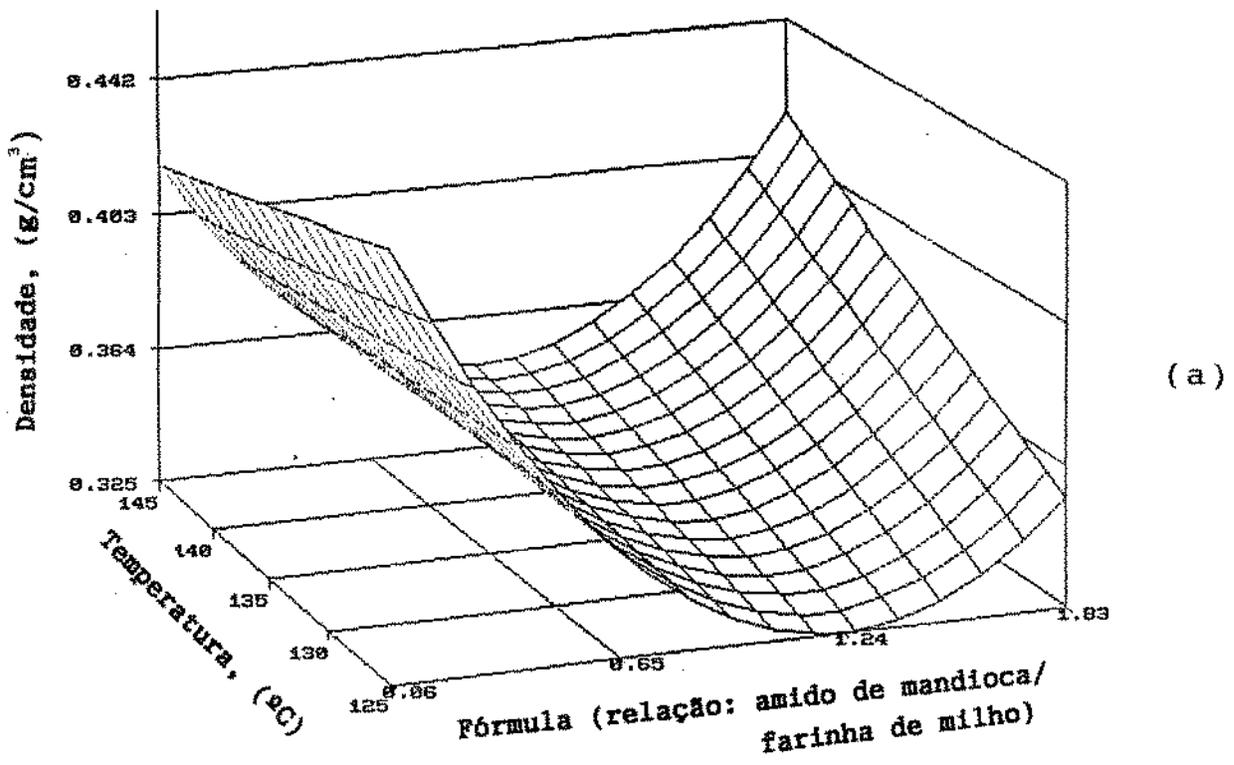


FIG. 4. Diagrama de superficie de resposta mostrando o efeito da temperatura e formulação na densidade

TABELA 9. Análise de variância para a variável resposta
densidade aparente (DENS)

Causa de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	prob > F
Regessão	4	0,1186	0,0296	3,34	0,0135
Resíduo	91	0,8092	0,0088		
Total	95	0,9279			
Variáveis		Estimativa do coeficiente			
Intercepto		0,6308			
F		-0,5103			
F ²		0,0844			
TEMP		-0,0014			
F*TEMP		0,0024			
Média das respostas		0,3828			
Desvio padrão		0,0943			
Coeficiente de variação		24,6626			
R ²		0,1279			

temperatura. Verifica-se ainda, na mesma figura, que as fórmulas com valores proporcionais extremos: fórmula I (1,83) e fórmula IV (0,06) apresentaram valores de densidade mais elevados. Assim, na Fig. 4(b), que é uma projeção da Fig 4(a), observa-se que a região de mais baixa densidade estaria entre as fórmulas II e III. O valor de 0,3526 g/cm³ da fórmula II foi o mais baixo valor previsto. Estes resultados mostram que tanto farinha de milho como fécula de mandioca, produziriam "pellets" muito densos, enquanto que a mistura destes componentes favoreceu a obtenção de produtos mais porosos.

Com relação às variáveis operacionais, vários autores (CHINNASWAMY e HANNA, 1988; GOMEZ e AGUILERA, 1984; KIRBY et alii, 1988) observaram que a expansão está diretamente relacionada à temperatura e indiretamente relacionada à umidade. Assim, se considerarmos que aumento na expansão implica no decréscimo da densidade aparente, os dados obtidos no presente trabalho indicariam que a expansão estaria indiretamente relacionado com a temperatura de extrusão. As diferenças entre os dados da literatura e os resultados do trabalho, poderiam ser devidos as altas umidades usadas no experimento.

Por outro lado, o comportamento da matéria-prima no condicionador é diferenciado para cada um dos materiais da mistura. Fécula de mandioca, farinha de milho e amido de milho, não teriam o mesmo comportamento de absorção de água no pré-condicionador. Portanto, a adição de porcentagens diferentes de umidade de processamento teria marcada influência nas características do produto final.

Vários autores (FAUBION e HOSENEY, 1982; HARPER, 1979) estudaram o efeito da umidade, em diferentes tipos de amidos e farinhas, sobre as características do produto final e verificaram que os amidos

possuem alta sensibilidade às diferenças de umidade. Assim misturas de ingredientes com elevadas umidades tendem a ser menos viscosos, portanto o diferencial de pressão antes e depois da matriz é menor, resultando em menor expansão .

Nas figuras 5, 6, 7 e 8, elaboradas a partir da tabela 2 do anexo, sem considerar a análise de variância, pode-se verificar o efeito da temperatura e umidade nas quatro formulações. Na fig. 5 verifica-se que a fórmula I, a 125°C e nos níveis de umidade estudados, os "pellets" não apresentaram variações significativas na densidade; no entanto, a 135 e 145°C houve significativo aumento na densidade quando a umidade de processamento foi de 25%, um decréscimo a 30% de umidade, e um subsequente aumento da densidade a 35%. Este comportamento mostra que a densidade, para a fórmula I, depende da umidade e temperatura.

Por outro lado, as figuras 6 e 7 que contêm quantidades intermediárias de farinha de milho, mostram perfis de densidade semelhantes em função da temperatura. Na fórmula II a densidade máxima ocorreu entre 25 e 30% de umidade enquanto para a fórmula III o máximo foi observado entre 20 e 25%. Ocorreu, assim, com o aumento do teor de farinha de milho um deslocamento do ponto máximo de densidade para umidades mais baixas. Para a fórmula IV, com a maior porcentagem de farinha de milho, a densidade apresentou pico máximo a 20% e mínimo a 35% de umidade respectivamente. Estes resultados mostram de forma inequívoca o efeito da formulação nos valores de densidade aparente.

Na fig. 6, a fórmula II (com 45% de fécula de mandioca e 40% de farinha de milho), mostra densidade relativamente baixa a 135°C e 35%, o que estaria em concordância com os modelos de extrusão de expansão direta, para farinha e amido de milho.

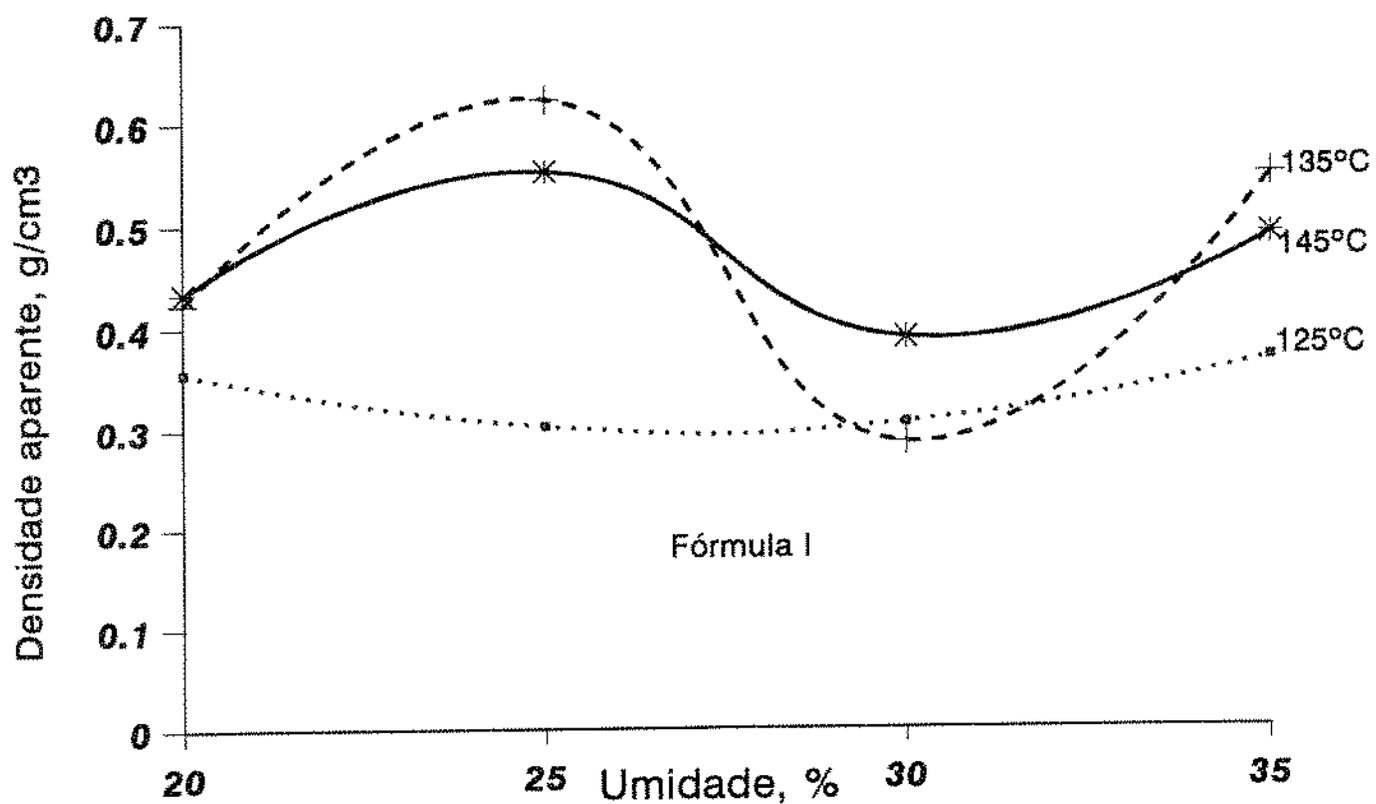


FIG. 5. Efeito da umidade e temperatura de processamento na densidade aparente dos "pellets" expandidos na fórmula I.

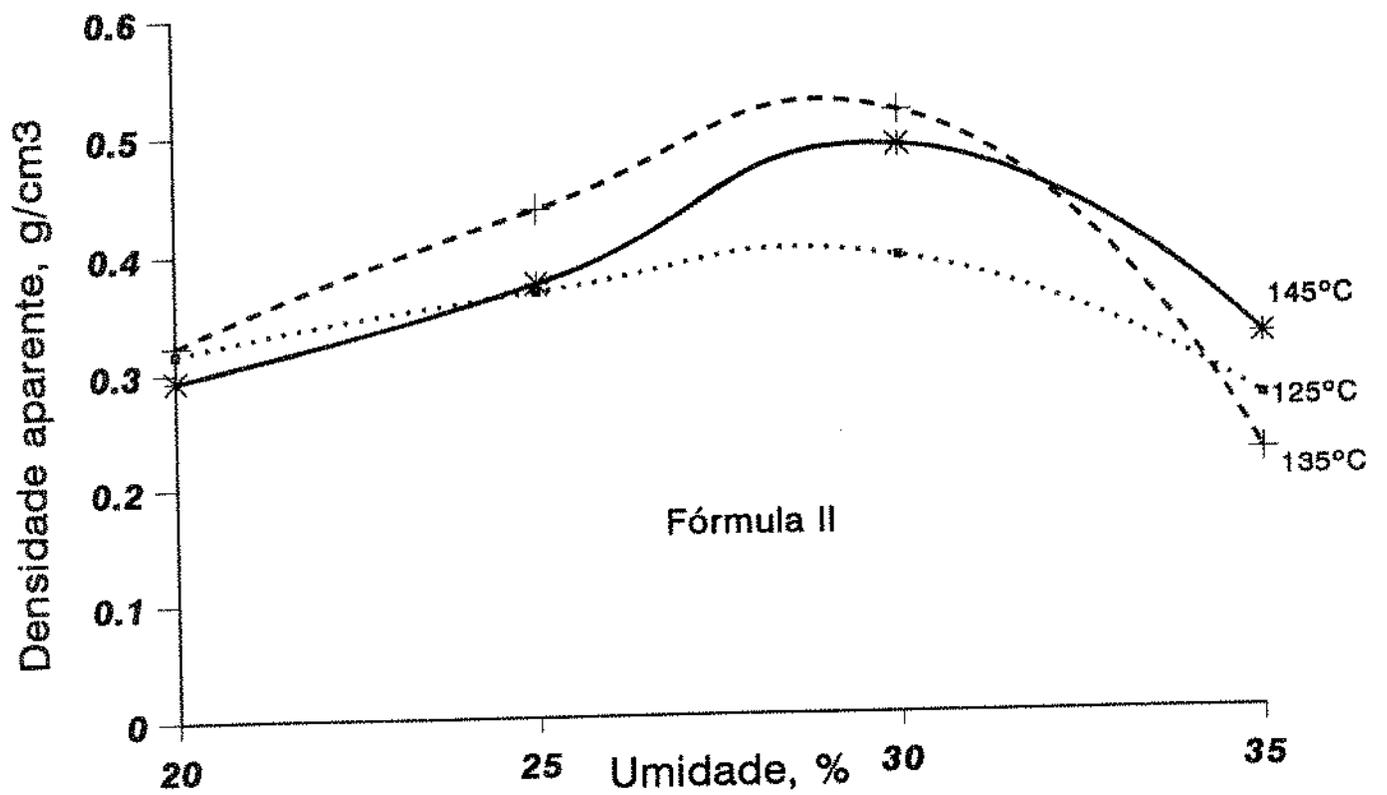


FIG. 6. Efeito da umidade e temperatura de processamento na densidade aparente dos "pellets" expandidos na fórmula II.

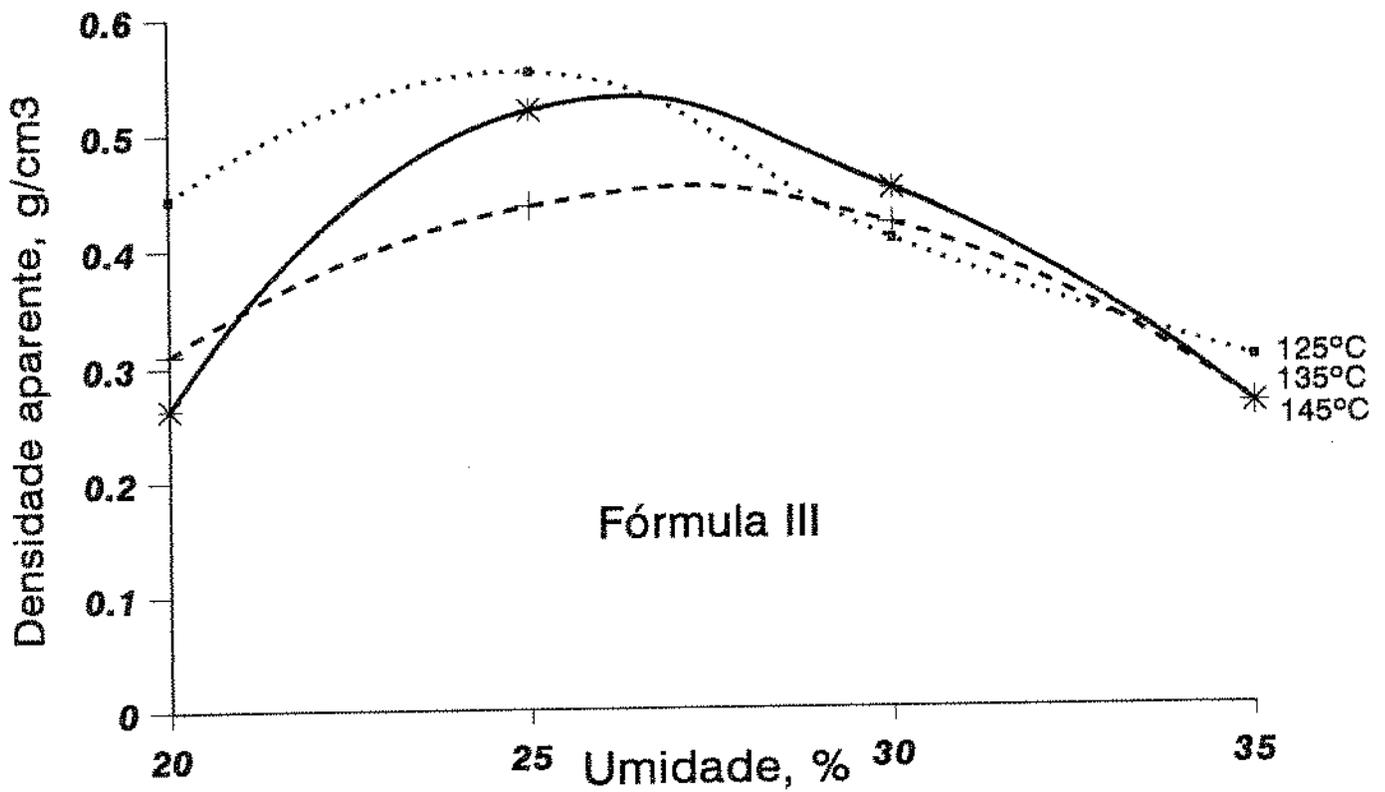


FIG. 7. Efeito da umidade e temperatura de processamento na densidade aparente dos "pellets" expandidos na fórmula III.

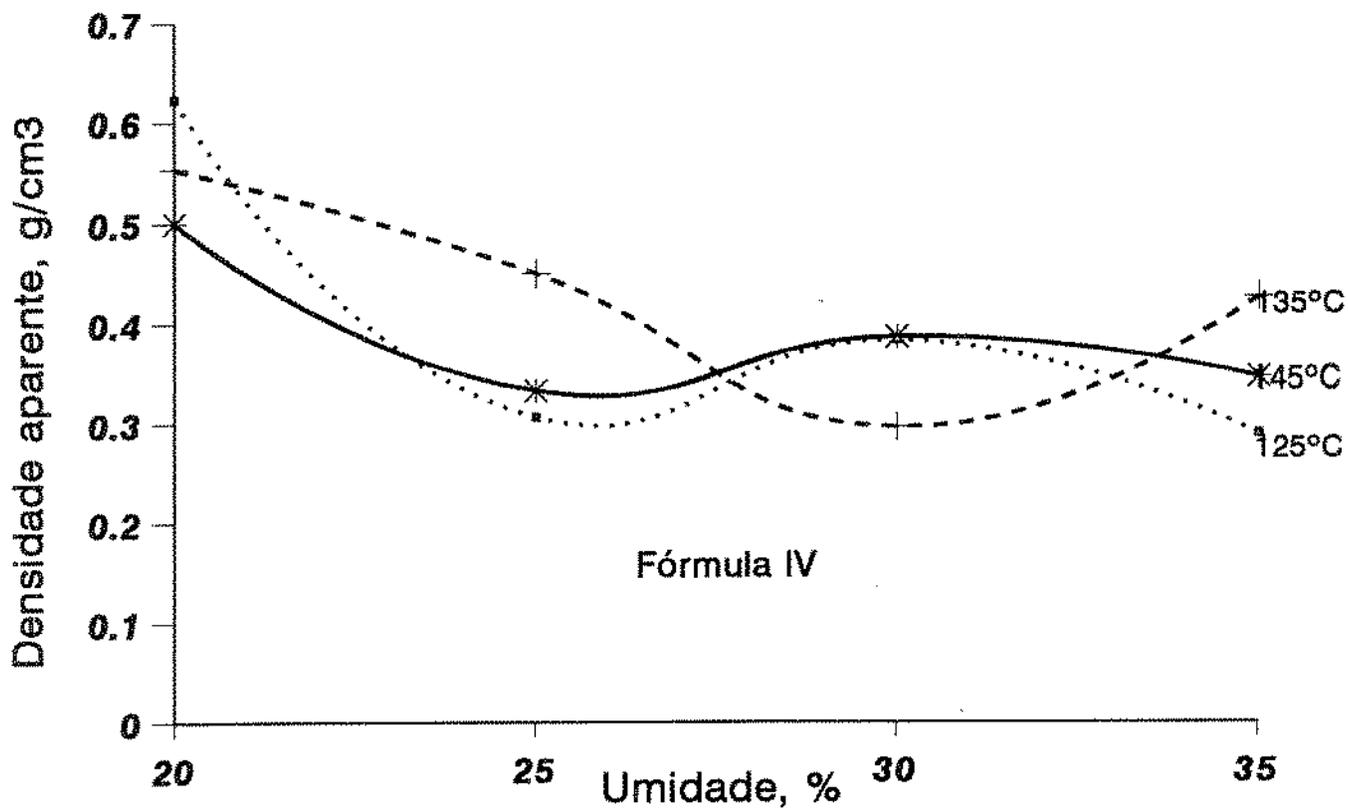


FIG. 8. Efeito da umidade e temperatura de processamento na densidade aparente dos "pellets" expandidos na fórmula IV.

Se considerarmos uma relação inversa entre densidade e expansão, (maior expansão, menor valor de densidade) os maiores níveis de expansão se situariam (fig. 7), dentro das condições de processamento deste estudo, na fórmula III (25% de fécula de mandioca, 60% de farinha de milho). Enquanto que a influência negativa sobre a expansão nas formulações seria mais evidente quando a proporção de fécula de mandioca foi de 5% e farinha de milho 80% da fórmula IV, (fig. 8) originando produtos de alta densidade.

Considerando-se que as formulações em estudo possuem uma combinação de amidos com características distintas, tanto na proporção de amilose e amilopectina como nas características de gelatinização diferentes, o resultado da interação de parâmetros de extrusão será de difícil interpretação.

4.4.2. Índice de absorção de água (IAA)

A tabela 10 mostra os dados correspondentes à Análise de Variância para a variável IAA, onde $p = 0,0001$ e $R^2 = 0,3714$ indica apenas 37% da variação é explicada pelo modelo, portanto, o modelo deve ser empregado com cautela, apenas para estudar a tendência da resposta. Foi estabelecido o modelo preditivo, obtendo-se a equação 2.

$$\text{IAA} = 8,3100 - 0,1034 \text{ UMID} \text{ (equação 2)}$$

A análise de variância mostrou que a umidade foi a única variável significativa. A fig. 9 apresenta o efeito da umidade no IAA. Observa-se que a umidade de processamento foi inversamente proporcional ao IAA, ou

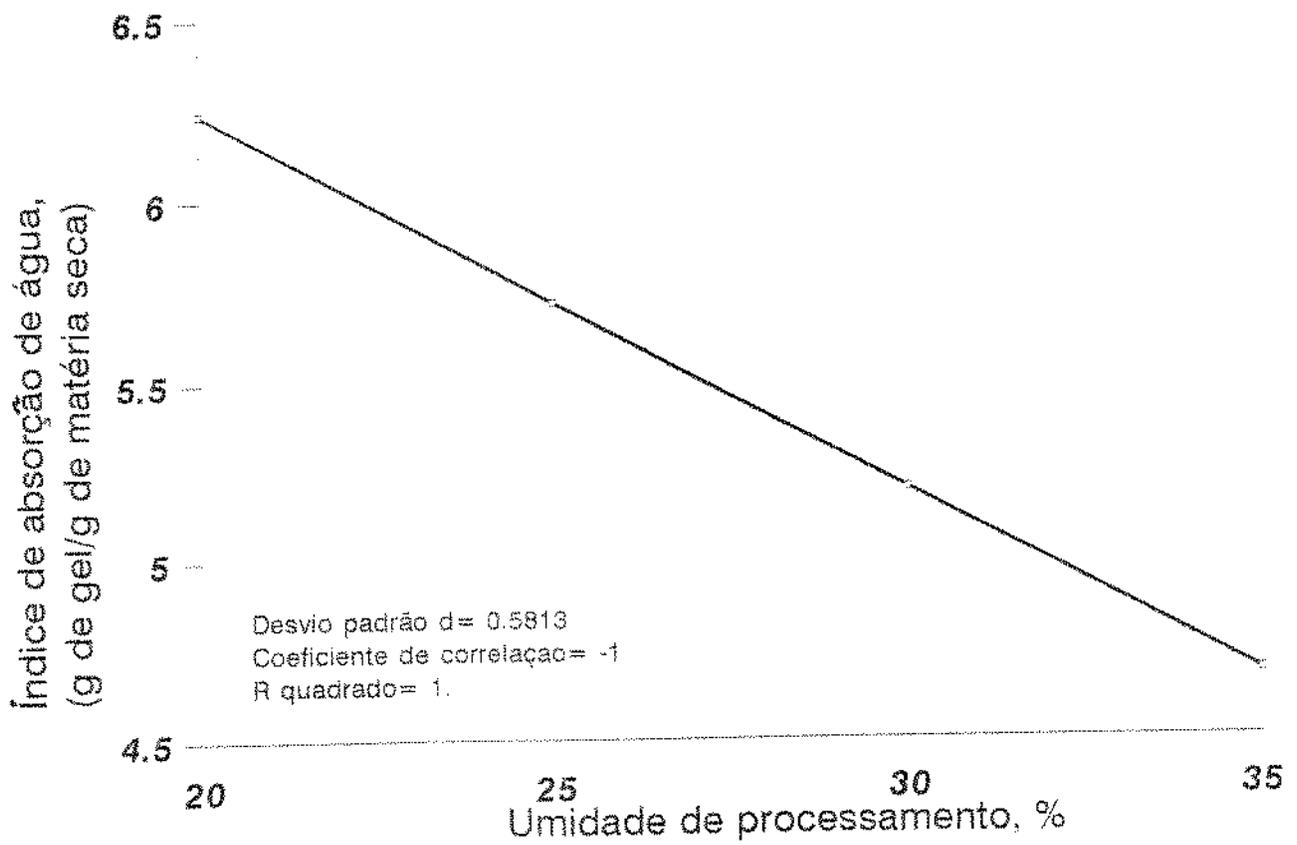


Fig. 9 . Efeito da umidade de processamento no índice de absorção de água

TABELA 10. Análise de variância para a variável resposta
índice de absorção de água (IIA)

Causa de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	prob > F
Regessão	1	32,0971	32,0971	55,54	0,0001
Resíduo	94	54,3232	0,5779		
Total	95	86,4203			
Variáveis		Estimativa do coeficiente			
Intercepto		8,3100			
UMID		-0,1034			
Média das respostas		5,4655			
Desvio padrão		0,7602			
Coeficiente de variação		13,9090			
R ²		0,3714			

seja, quanto maior a percentagem de umidade, menor o valor de IAA. O valor mais alto dado pela análise foi 6,24 g de gel/g matéria seca a 20% de umidade. O mais baixo foi 4,68 g de gel/g matéria seca a 35% de umidade. Os valores encontrados diferem dos reportados por vários autores (GOMEZ e AGUILERA, 1984; MERCIER e FEILLET, 1975), que trabalharam com amido e farinha de milho, respectivamente, encontrando uma relação direta com a umidade de processamento, isto é, quanto maior a percentagem de umidade de processamento, maior IAA.

Os resultados obtidos sugerem que, independente da formulação e temperatura, o inchamento dos grânulos de amido durante o processo de extrusão foi controlada pela umidade, pois o IAA indica a quantidade de água absorvida pelos grânulos inchados (ANDERSON et alii, 1969).

Por outro lado, considerando as características dos amidos de milho e mandioca e as diferenças na composição centesimal das várias fórmulas, principalmente o aumento de proteína com a elevação do nível de farinha de milho, deveriam também ter ocorrido variações no IAA em função da formulação e temperatura. É possível que a solubilização do grânulo de amido, devido à elevação da temperatura, tenha sido compensada pela desnaturação das proteínas. Assim, elevações na temperatura e no teor de proteína da farinha de milho, produziram, por um lado, aumento na solubilização do amido e, por outro, elevariam a quantidade de proteínas desnaturadas. Como a solubilização do amido provoca o decréscimo no IAA e a desnaturação das proteínas a elevação deste índice, a interação temperatura e formulação não seria observada.

Sem considerar a análise de variância, as figuras 10, 11, 12 e 13 permitem visualizar o comportamento da umidade e temperatura para cada uma das fórmulas estudadas, mostrando que as variações de parâmetros

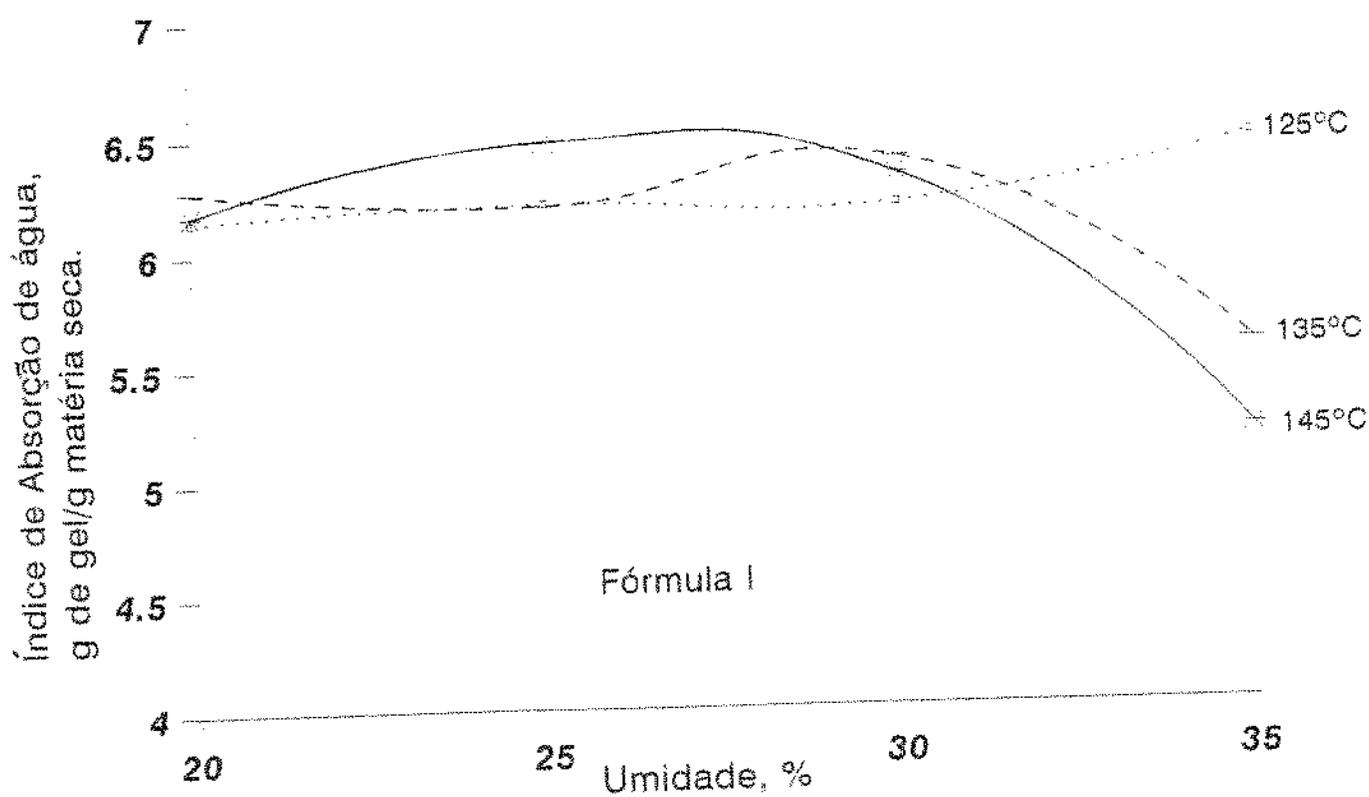


FIG. 10. Efeito da umidade e temperatura de processamento no índice de absorção de água nos "pellets" fórmula I.

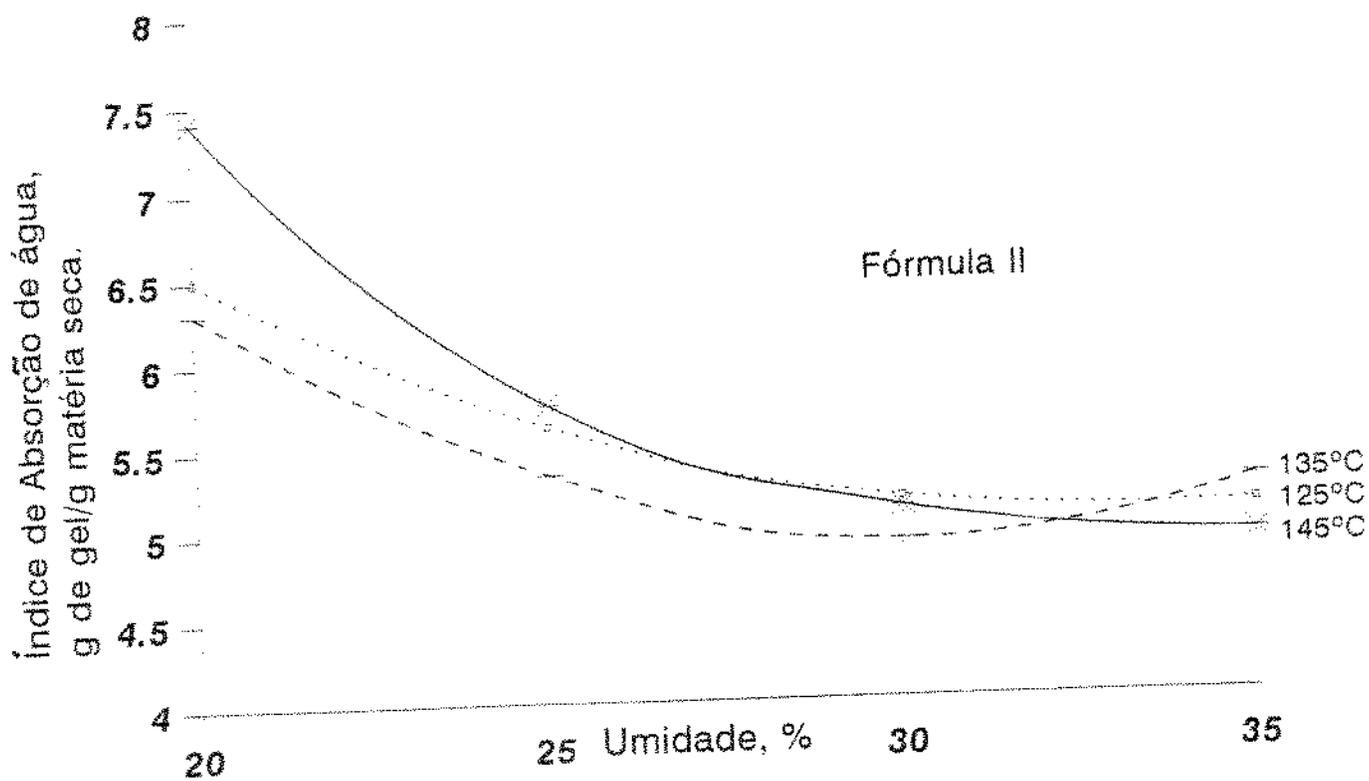


FIG. 11. Efeito da umidade e temperatura de processamento no índice de absorção de água nos pellets, fórmula II.

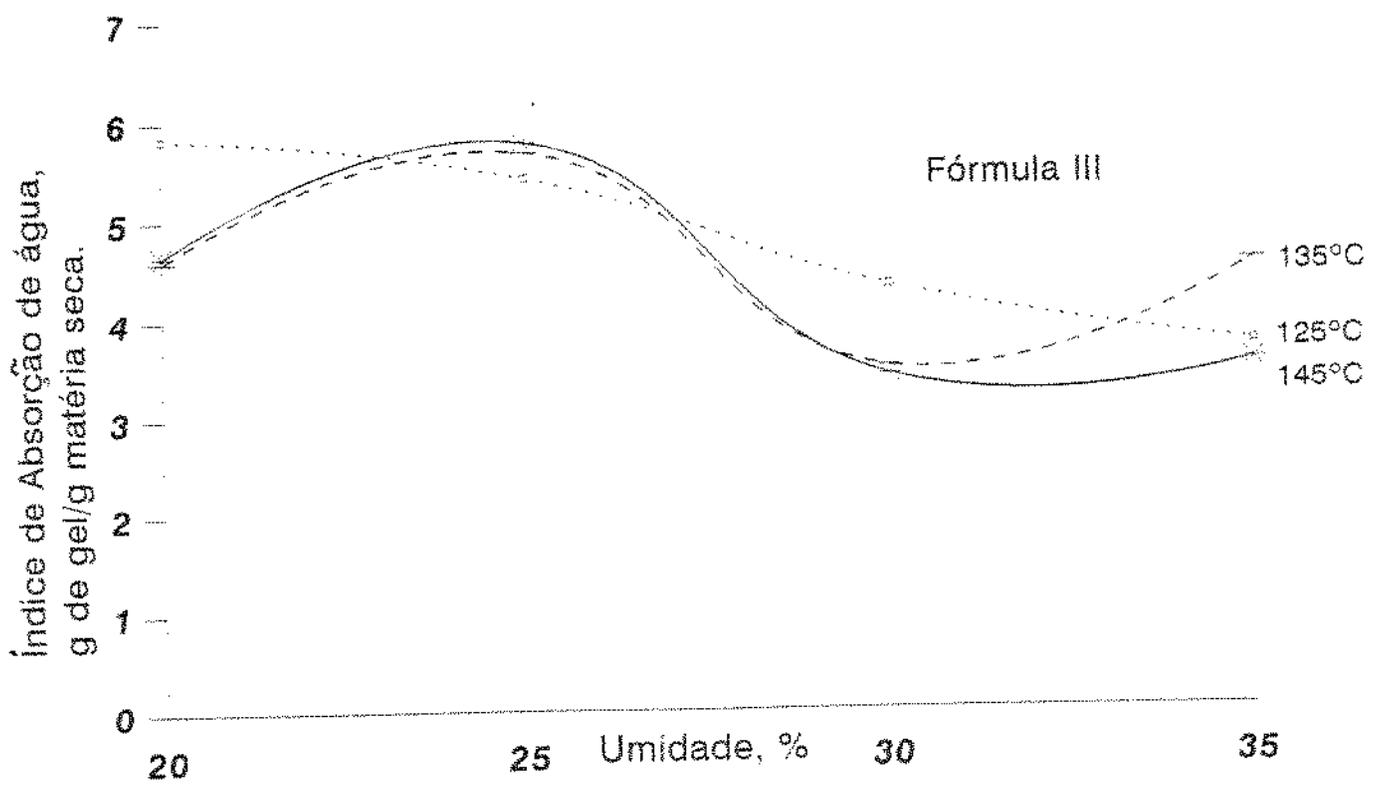


FIG. 12. Efeito da umidade e temperatura de processamento no índice de absorção de água nos pellets, fórmula III.

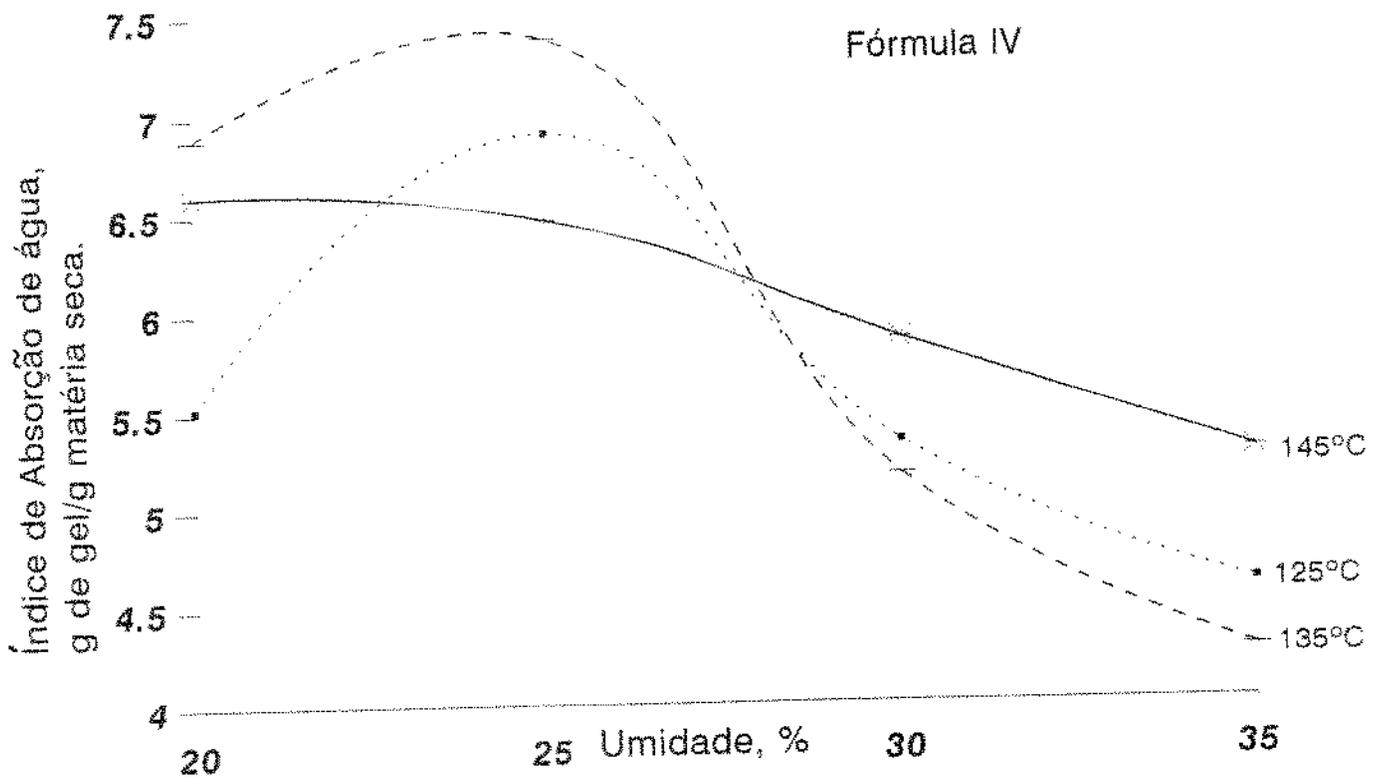


FIG. 13. Efeito da umidade e temperatura de processamento no índice de absorção de água nos "pellets"; fórmula IV.

nas diferentes formulações provocam respostas divergentes às dos modelos já estudados em outros trabalhos (MERCIER e FEILLET 1975, FAUBION et alii. 1982, GOMEZ e AGUILERA 1984).

A fórmula I (fig. 10) apresenta valores relativamente elevados de IAA, sendo que nos níveis de umidade de 20, 25 e 30% a temperatura não foi um fator de maior influência no IAA. Já a 35% de umidade, verifica-se relativa influência, observando-se menor valor de IAA a 145°C. Isto sugere que a elevadas temperaturas, ocorreu maior solubilização, trazendo como consequência a queda do IAA.

Com respeito à fórmula II (fig. 11), observa-se que há uma relação inversa entre IAA e umidade de processamento.

Na fórmula III, (fig. 12) verificam-se variações (elevação e queda) do IAA entre os níveis de umidade estudados. A 20% de umidade (135 e 145°C) os valores são relativamente menores do que a 25%, porém a 30% observa-se significativa queda no IAA, o qual sofre discreta elevação a 35%. Já a 125°C, o efeito da umidade de processamento teve uma relação inversa: a 20% de umidade, maior IAA, e a 35%, valores mais baixos. Estas diferenças de IAA podem ser atribuídas à própria formulação que, neste caso, contém 25% de fécula de mandioca e 60% de farinha de milho.

A fig. 13 ilustra o efeito da umidade e temperatura no IAA na fórmula IV. Valores mais altos do IAA foram observados a partir de 25% de umidade nas temperaturas estudadas (com exceção do valor obtido à temperatura de 145°C, que foi maior a 20%), os quais decrescem conforme o aumento da umidade de processamento.

Estes resultados mostram que o proporcional aumento de farinha de milho na formulação causa variação no IAA em função do teor de umidade e temperatura.

4.4.3. Índice de solubilidade em água (ISA)

O índice de solubilidade em água (ISA) permite verificar o grau de severidade do tratamento, provocando a degradação, gelatinização, dextrinização e conseqüente solubilização do amido.

Com base nos dados experimentais da tabela 2 do anexo, foi estabelecido o modelo de regressão expresso na equação 3.

$$\text{ISA} = 12,7340 - 10,5277F - 0,0552\text{TEMP} + 0,0932F * \text{TEMP}$$

(equação 3)

A análise de variância (tabela 11) indicou que a equação 3 é estatisticamente significativa ao nível de $p=0,0005$ mas apresenta um baixo coeficiente de determinação múltipla $R^2=0,1694$, verificando-se que as variáveis que mais influenciaram no ISA foram temperatura e formulação.

As figuras 14 (a) e (b) apresentam os gráficos tridimensionais de superfície de resposta correspondentes ao modelo reajustado, que estabelece a variação do ISA em função da temperatura e formulação.

Verifica-se pela fig. 14 (a) que, com o aumento da proporção de fécula de mandioca na formulação, ocorre um aumento do ISA. Estes dados estão de acordo com o esperado, pois a fécula de mandioca é mais susceptível à ruptura por ação mecânica do que a do milho. Os valores de ISA obtidos

TABELA 11. Análise de variância para a variável resposta
índice de solubilidade em água (ISA)

Causa de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	prob > F
Regessão	3	218,247	72,7472	6,25	0,0007
Resíduo	92	1070,009	11,6305		
Total	95	1288,250			
Variáveis		Estimativa do coeficiente			
Intercepto		12,7340			
F		-10,5277			
TEMP		-0,0552			
F*TEMP		0,0932			
Média das respostas		7,0435			
Desvio padrão		3,4103			
Coeficiente de variação		48,4108			
R ²		0,1694			

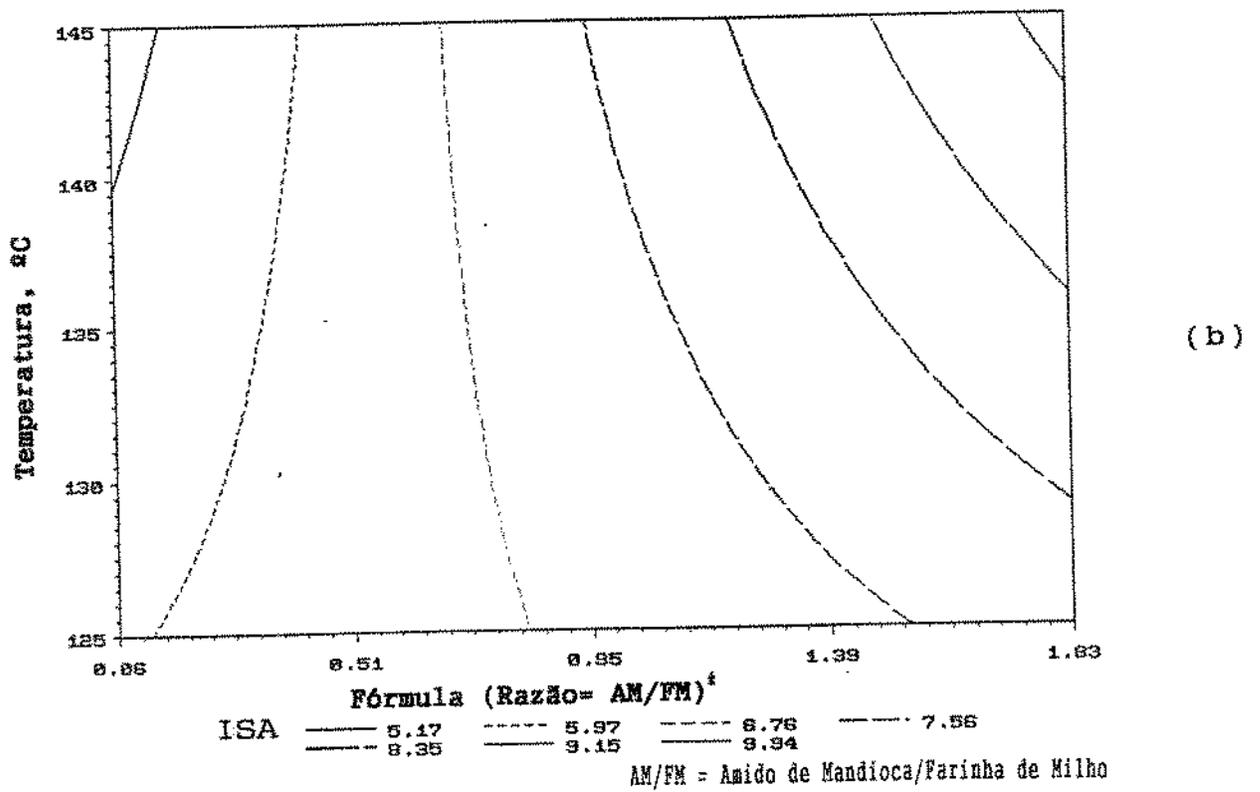
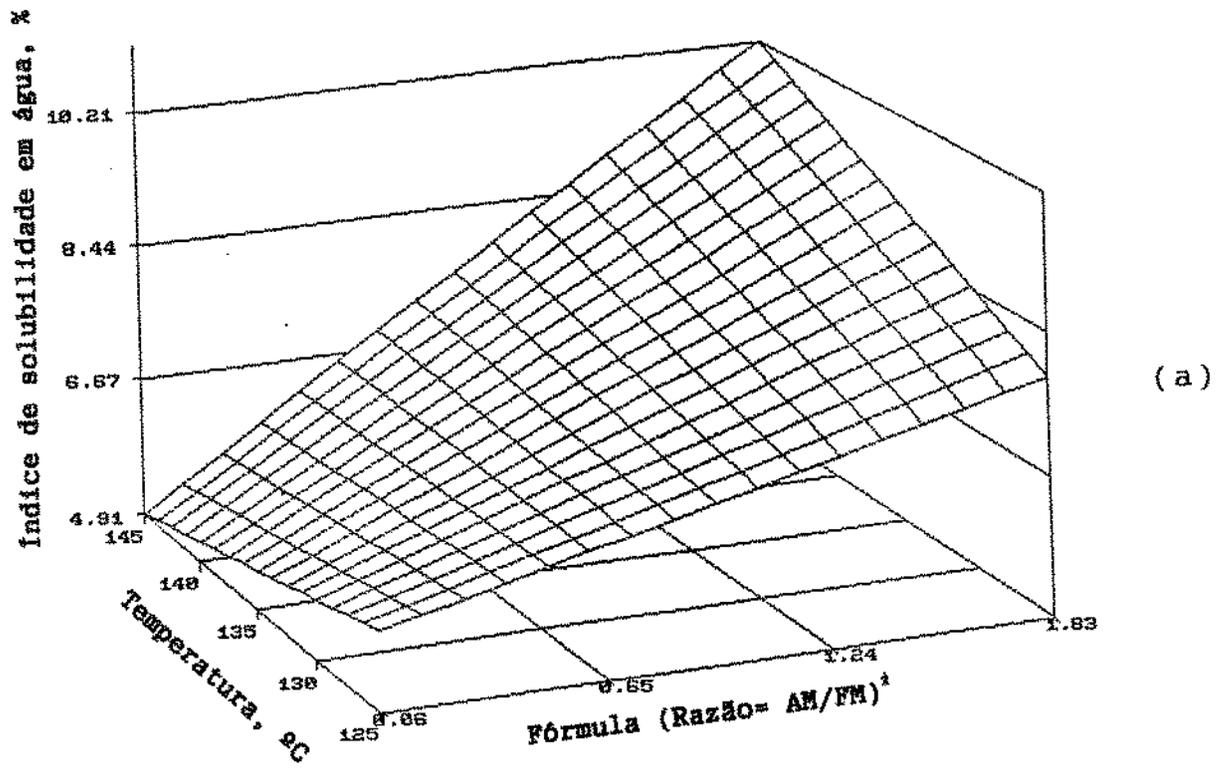


FIG. 14. Diagrama de superfície de resposta mostrando o efeito da temperatura e formulação no índice de solubilidade em água

experimentalmente, entretanto, são relativamente baixos em comparação aos de "snacks" obtidos pelos métodos de expansão direta. Isto ocorre porque, no presente estudo, foram usados umidades de processamento relativamente altas, acarretando menor cisalhamento da massa e, conseqüentemente, degradação macromolecular também menor. A fórmula I (1,83= 55% de fécula de mandioca:30% de farinha de milho) obteve 9,94% de solubilidade, contra 5,17% na fórmula IV (0,06= 5% de fécula de mandioca: 80% farinha de milho) isto pode ser decorrente da maior resistência à ação mecânica da farinha de milho e/ou à menor concentração de amido nas formulações com maior teor de farinha de milho.

As figuras 15, 16, 17 e 18 obtidas se considerar a análise de variância, mostram o comportamento da umidade e temperatura, no ISA nas diferentes formulações. A fórmula I, nas condições de 20% de umidade, obteve valores próximos a 18% de solubilidade (temperatura de 135 e 145°C), mostrando uma tendência de diminuição do ISA à medida que aumenta o teor de umidade. A fórmula II (1,25= 45% de Fécula de mandioca e 40% de farinha de milho), a 20% de umidade, mostrou os valores mais baixos de solubilidade do teste. A fórmula III (0,4166= 25% de fécula de mandioca, 60% de farinha de milho) apresentou valores de índice de solubilidade em relação inversa à umidade. Observa-se que a 145°C e 20% de umidade obteve-se um valor de ISA =12,5%, percentagem que decresceu quando o processamento foi a 35% de umidade (ISA= 8,93%). A fórmula IV, mostra notável influência da temperatura nas valores de ISA. Valores mais altos foram verificados a 35% de umidade a 125 e 135°C. MERCIER & FEILLET (1975) encontraram resultados similares trabalhando

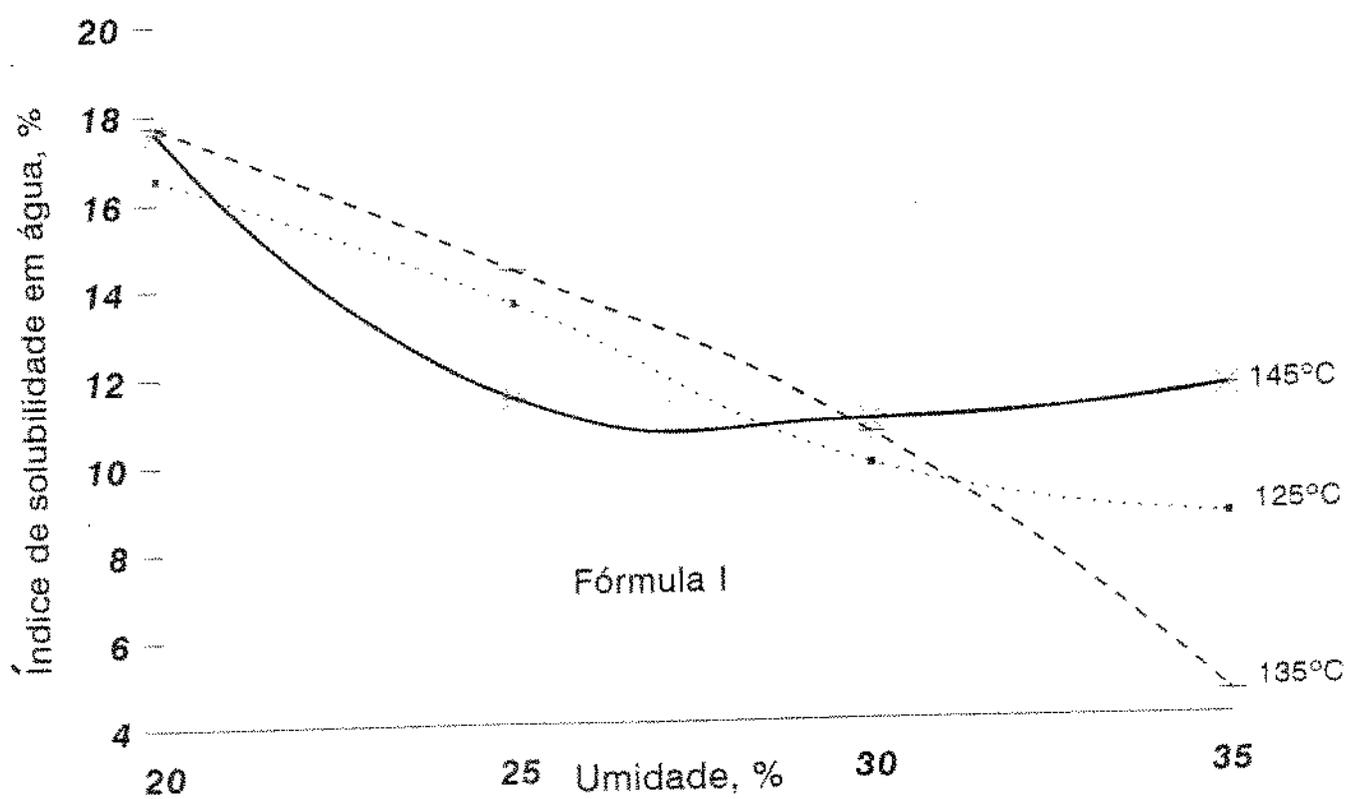


FIG. 15. Efeito da umidade e temperatura de processamento no índice de solubilidade em água nos pellets, fórmula I.

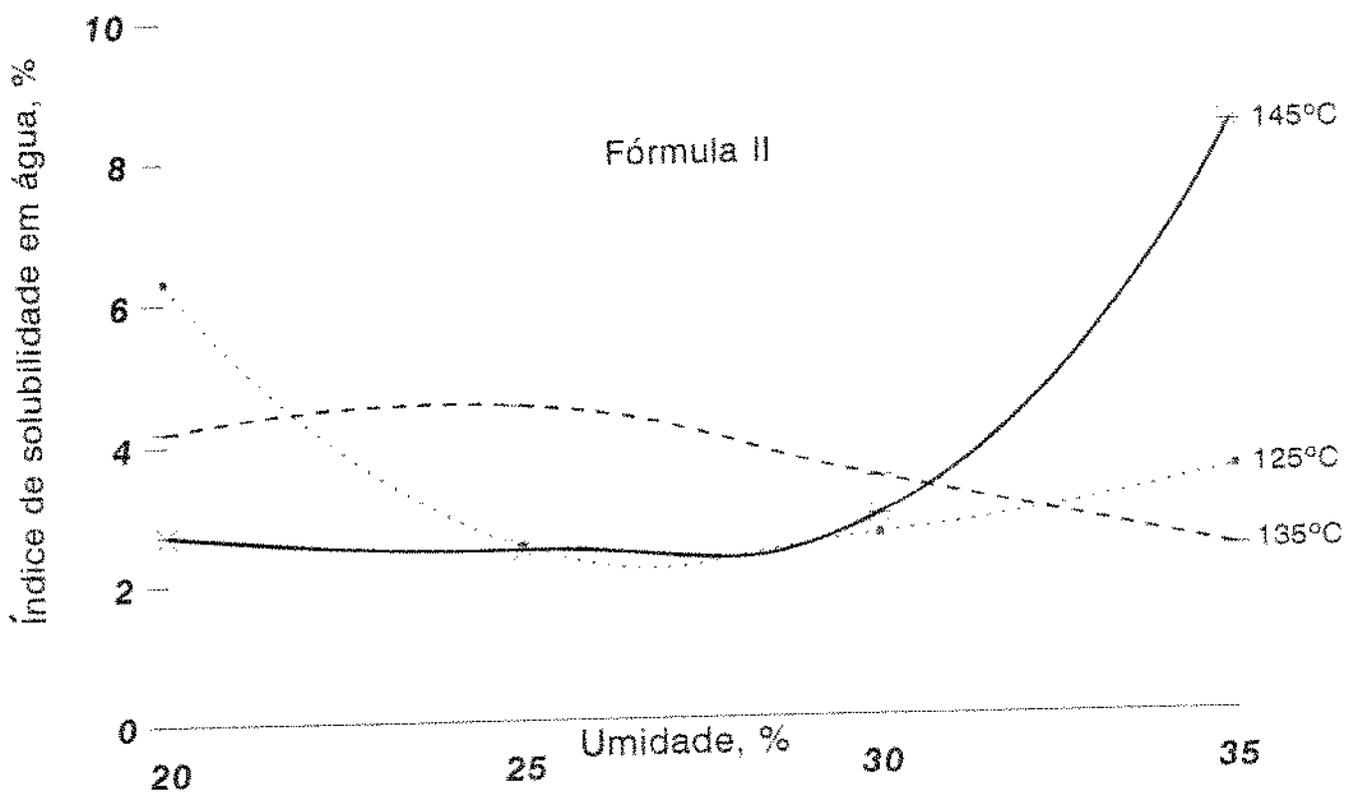


FIG. 16. Efeito da umidade e temperatura de processamento no índice de solubilidade em água nos "pellets" fórmula II.

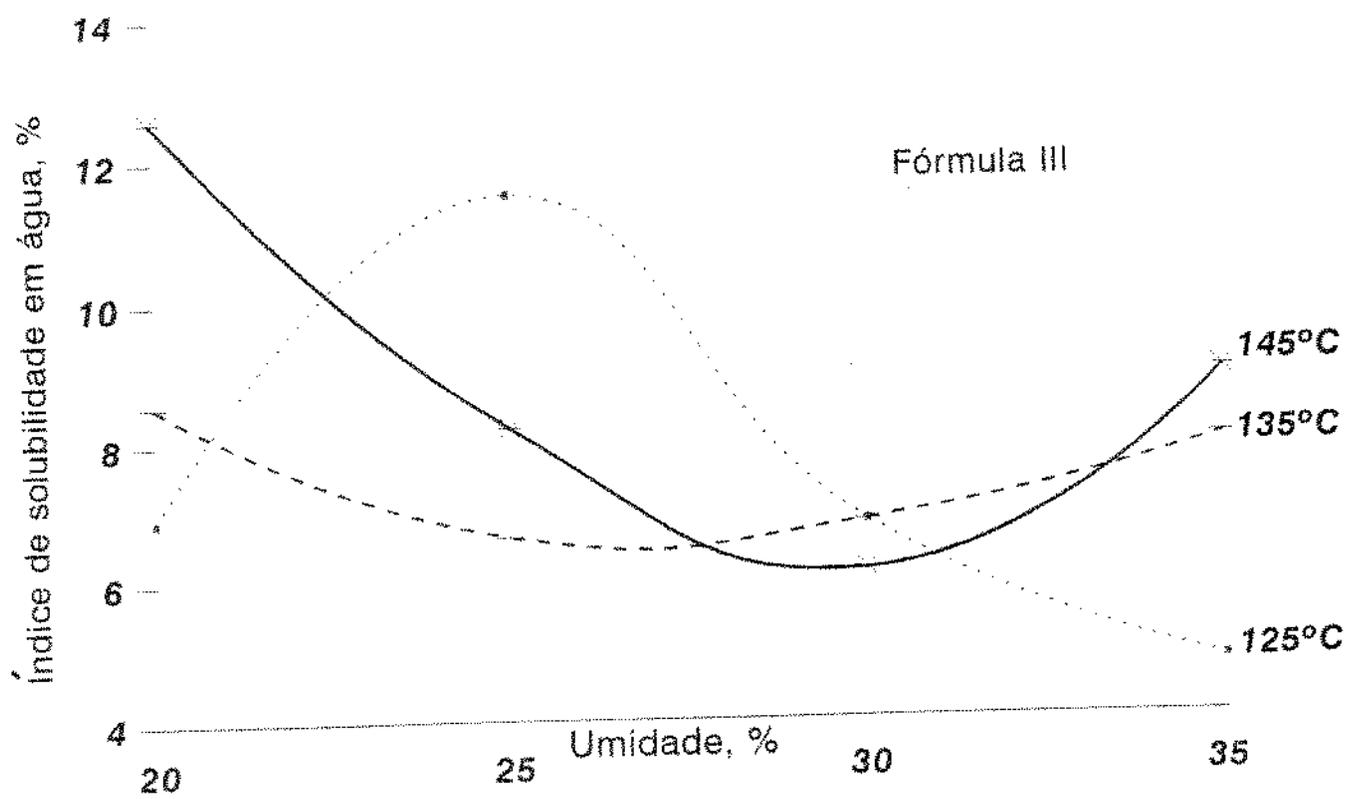


FIG. 17. Efeito da umidade e temperatura de processamento no índice de solubilidade em água nos "pellets" fórmula III.

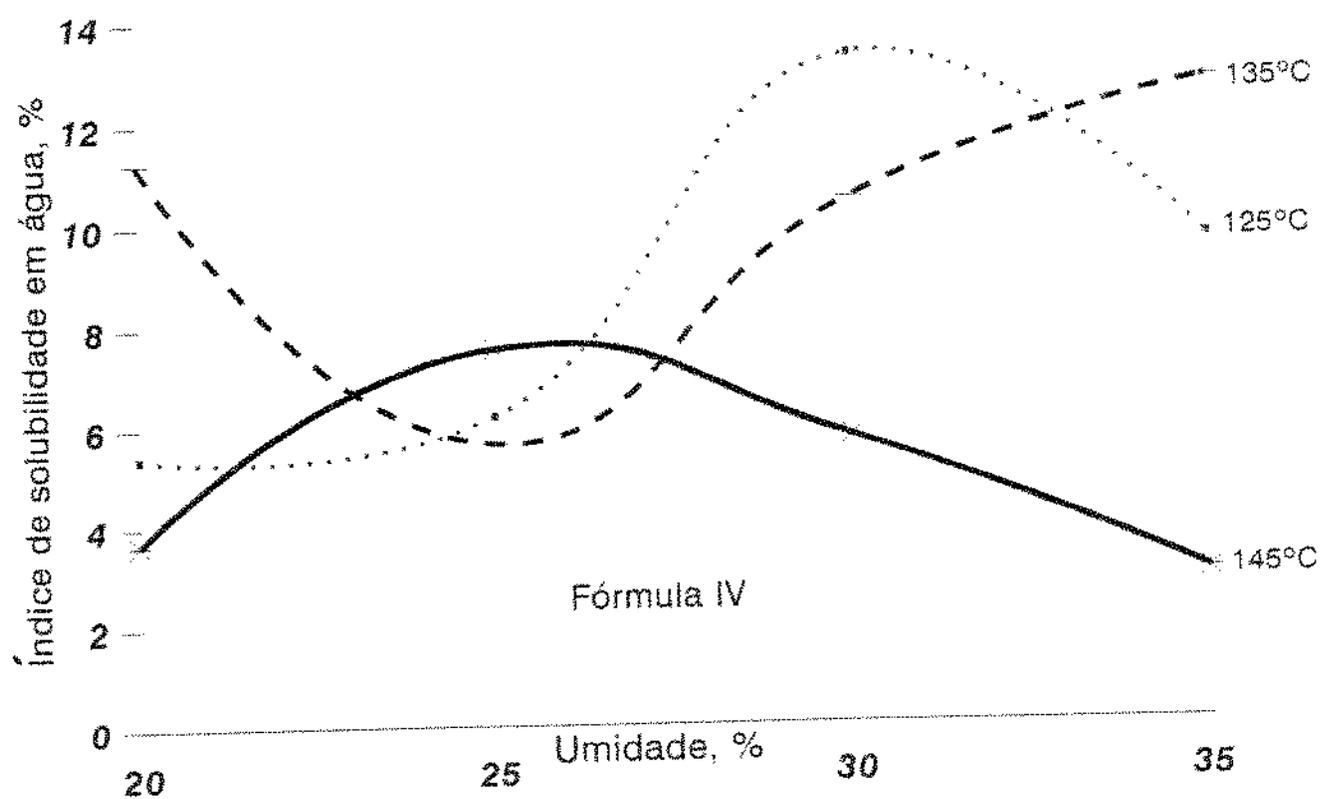


FIG. 18. Efeito da umidade e temperatura de processamento no índice de solubilidade em água nos pellets, fórmula IV.

com grits de milho a 18.2 % de umidade de processamento e temperaturas de 65 a 250°C.

Como era de se esperar, os resultados do ISA foram compatíveis com os observados para IAA. Nas mesmas condições, em termos gerais, o aumento do IAA resultou em conseqüente diminuição no ISA.

4.4.4. Textura

A simulação mecânica da mastigação usando o Instron permitiu visualizar, de forma objetiva, a dureza dos "pellets" após expansão por fritura. O parâmetro de avaliação, considerado como principal foi a **Energia no ponto de quebra**, expressa em Kg/mm.

Na tabela 12 apresenta-se a ANOVA correspondente ao modelo de regressão preditivo (equação 4), que apresentou $R^2= 0,1673$ e $p= 0,0002$. Verifica-se que apenas a formulação foi variável significativa (ao nível de 10%) e o modelo só pode ser empregado para estudar as tendências da resposta.

$$\text{TEXT} = 383,6744 + 254,7216 F - 106,2499 F^2 \quad (\text{equação 4})$$

Na fig. 19 apresenta-se o comportamento da textura em função das diferentes formulações. A força e/ou energia gasta no ponto de quebra aumentou conforme o aumento de farinha de milho na fórmulação, até aproximadamente 40%, decrescendo com percentuais maiores desta farinha. Isto implica em que formulações com baixas percentagens de fécula de mandioca (fórmulas III e IV,) oferecem menor resistência à quebra (Kg/mm) por unidade de área. Estes resultados são compatíveis

TABELA 12 Análise de variância para a variável resposta
textura no Instron (TEXT)

Causa de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	prob > F
Regessão	2	235156,4	117578,2	9,35	0,0002
Resíduo	93	1170057,2	12581,2		
Total	95	1405213,7			
Variáveis		Estimativa do coeficiente			
Intercepto		383,6744			
F		254,7216			
F ²		-106,2499			
Média das respostas		474,9632			
Devio padrão		112,1660			
Coeficiente de variação		23,6157			
R ²		0,1673			

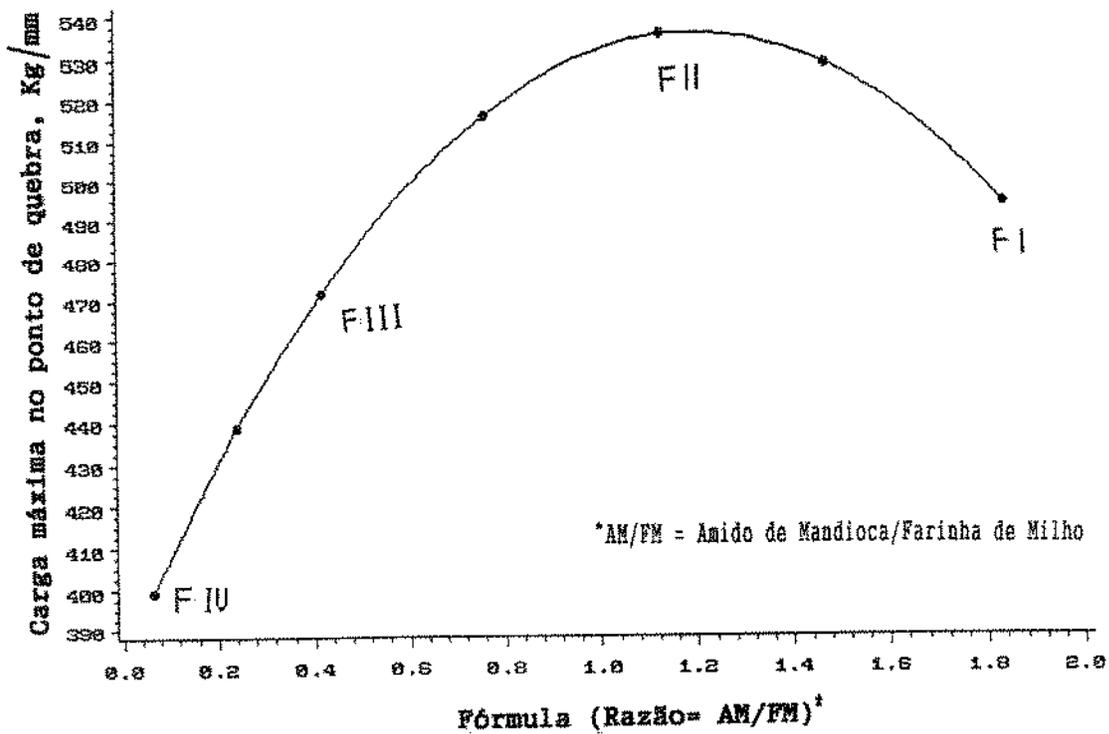


FIG. 19. Efeito da formulação na textura no Instron dos "pellets" expandidos

com os valores de densidade observados. Aumentando-se a proporção de fécula de mandioca aumenta-se a densidade e o mesmo ocorre com a farinha de milho. Embora que, a fórmula II (20% de umidade) teve valores baixos de densidade, a textura neste caso observou valores relativamente altos.

Fórmulas com alto conteúdo de fécula de mandioca (Fórmulas I e II), nas condições de processamento seguidas neste estudo (alta umidade) fazem com que a elasticidade seja comprometida e a força de quebra seja maior. Isto sugere que este alto teor de amido provoque maior retrogradação e, conseqüentemente, "pellets" com uma estrutura mais resistente à quebra.

CASE et alii (1992), na elaboração de "half-product", observaram que, com o aumento da gelatinização a expansão aumentava e, conseqüentemente, a densidade decrescia. Os mesmos autores, usando o Instron equipado com o "Kramer shear press", observaram que a energia de quebra tinha valor semelhante nos pontos extremos de gelatinização. Assim, no gráfico de coordenadas a relação energia de quebra e gelatinização apresentou uma curva de forma parabólica.

As figuras 20, 21, 22 e 23, obtidas sem considerar a análise de variância, mostram a carga máxima no ponto de quebra para as 4 formulações, em função da umidade e temperatura.

Na fig. 20, referente à fórmula I, pode-se visualizar a tendência de relação direta dos valores de carga máxima em função da umidade. Menores valores de carga (± 280 a 350 kg/mm) aconteceram a umidades entre 20 e 25%, mostrando acréscimo à medida que se incrementava a umidade. Assim, a 35% os valores chegaram a uma média aproximada de 550 Kg/mm. Pode-se verificar que a temperatura não teve maior influência

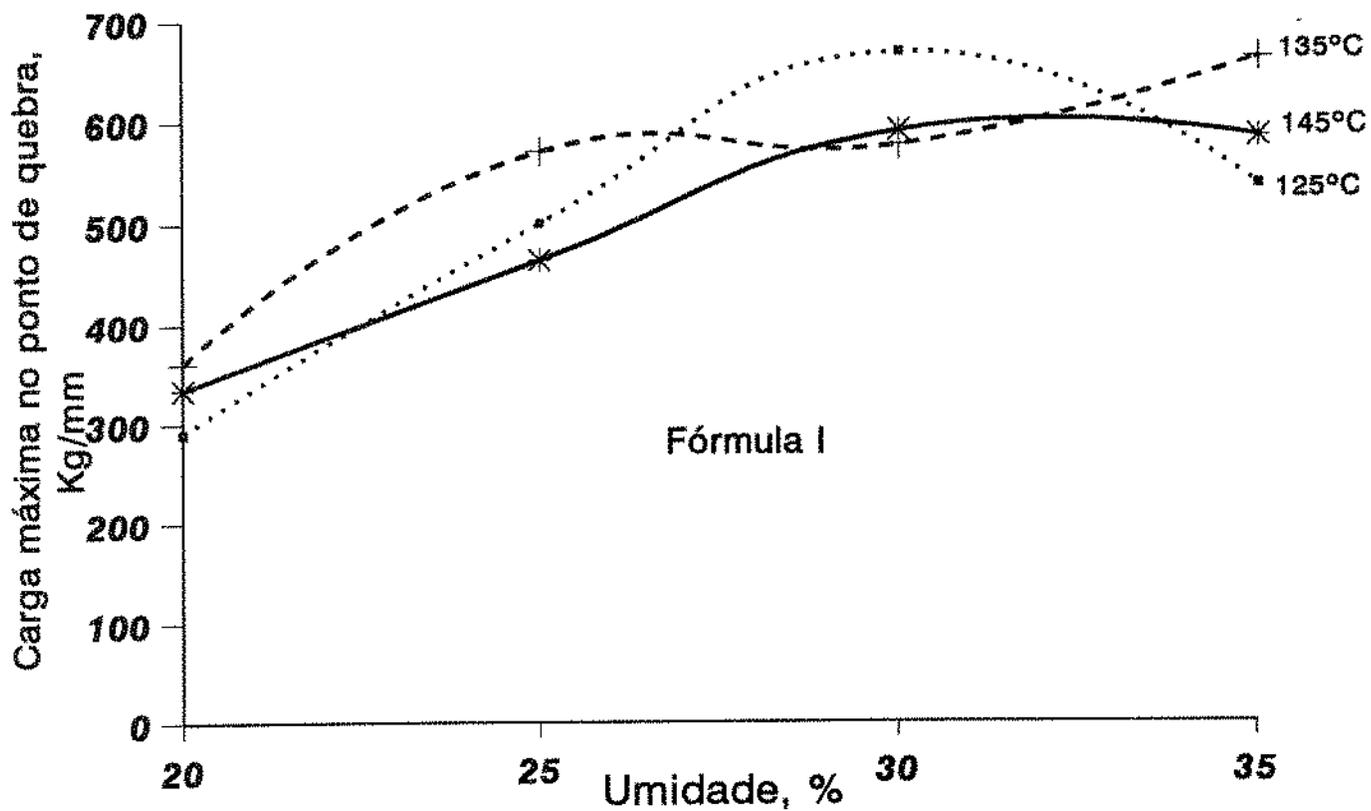


FIG. 20. Efeito da umidade e temperatura de processamento na textura dos "pellets" expandidos, fórmula I.

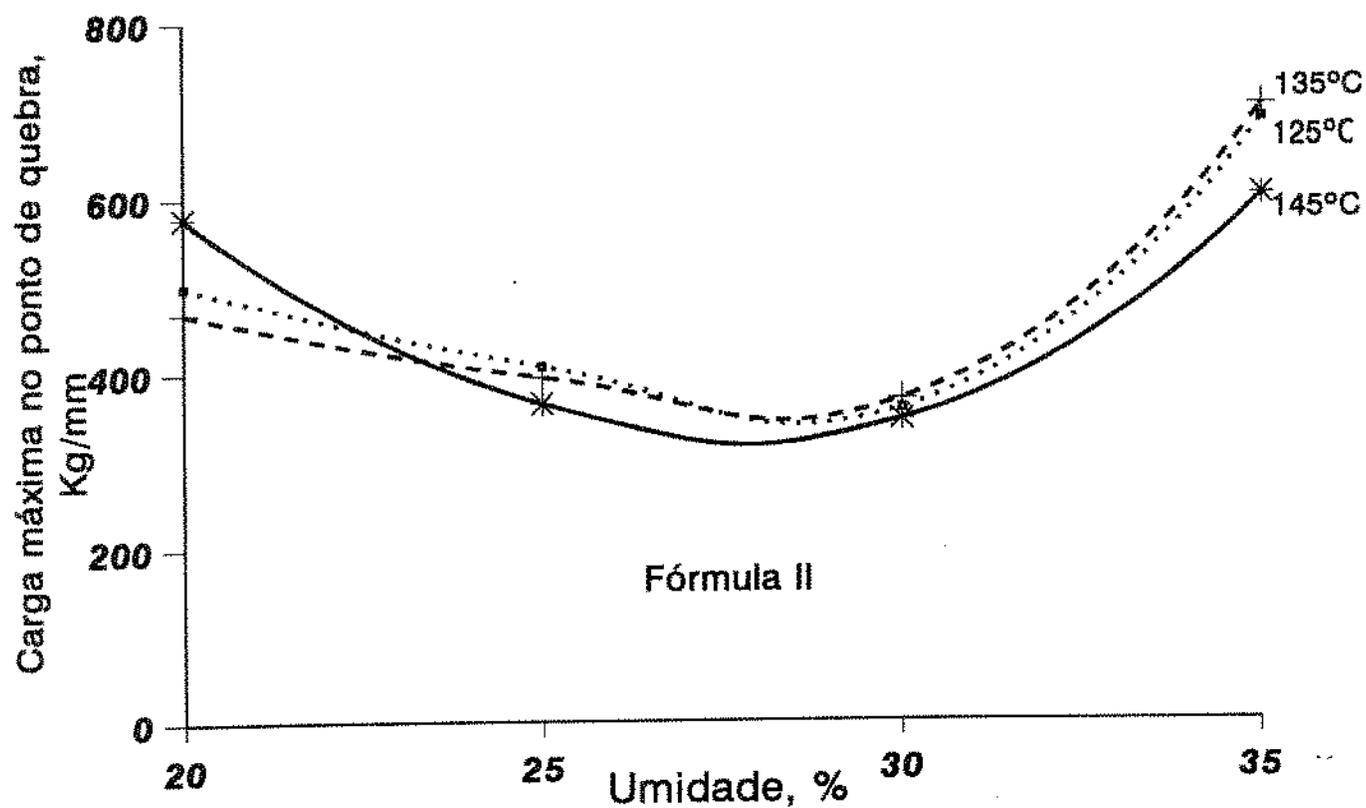


FIG. 21. Efeito da umidade e temperatura de processamento na textura dos "pellets" expandidos, fórmula II.

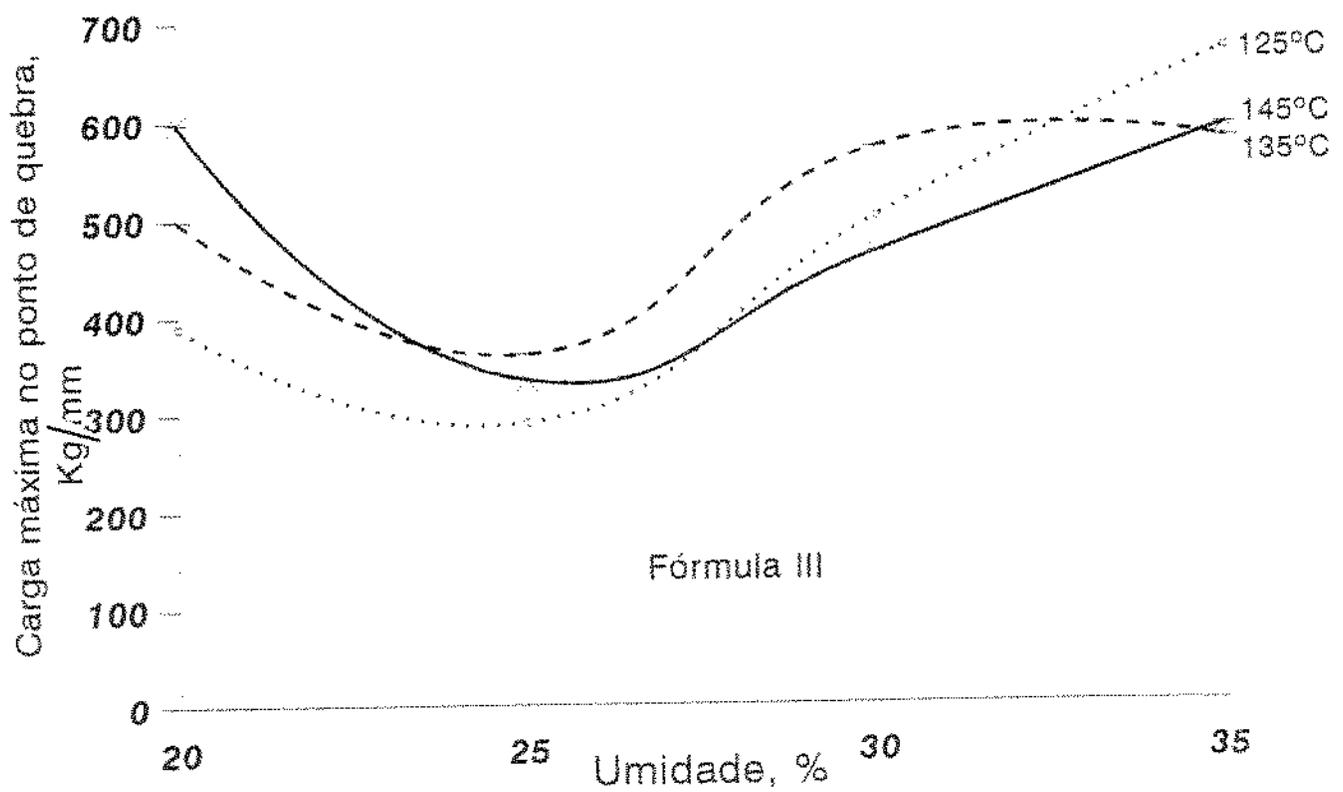


FIG. 22. Efeito da umidade e temperatura de processamento na textura dos "pellets" expandidos, fórmula III.

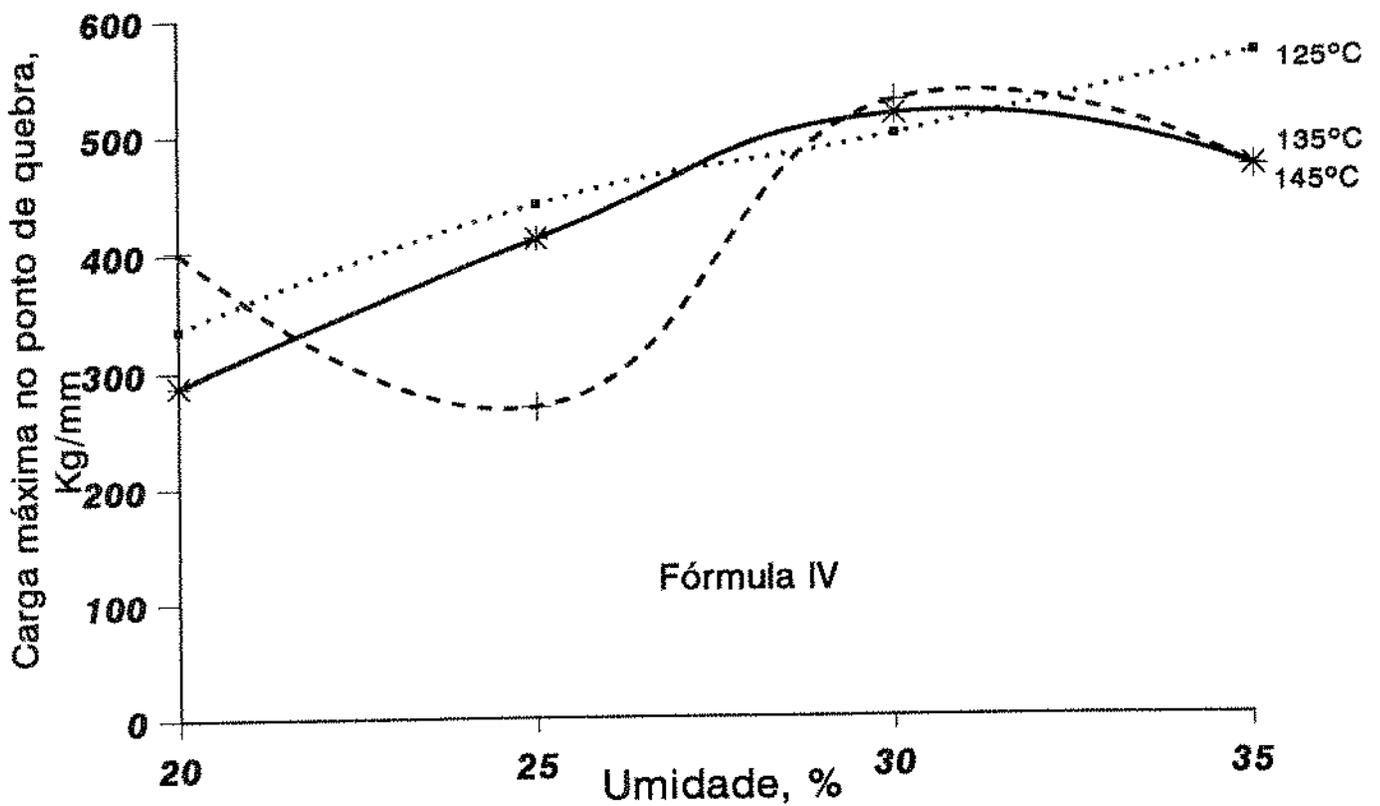


FIG. 23. Efeito da umidade e temperatura de processamento na textura dos "pellets" expandidos, fórmula IV.

na carga máxima no ponto de quebra dos "pellets" expandidos. Já a fórmula II (fig.21) teve comportamento diferente em comparação à fórmula I, os menores valores ($\pm 500-580$ kg/mm) de carga máxima foram obtidos com as umidades entre 25 e 30%. Com a fórmula III (fig. 22), pode-se verificar que a 25% obtiveram-se valores relativamente mais baixos de carga máxima por unidade de área do que nas outras condições de umidade. A influência da temperatura, neste caso, pode ser diferenciada, sendo que a 20% de umidade a carga máxima aumenta em relação direta com o aumento da temperatura e, a 35% nota-se incremento pronunciado até níveis mais altos (± 650 Kg/mm). Na figura 23, observa-se que a fórmula IV mostra tendência a uma relação direta entre aumento de umidade e carga máxima, porém não há uma relação com a temperatura. O tratamento a 135°C com 25% apresentou o valor mais baixo.

De uma forma geral, o comportamento da textura nas diferentes formulações mostrou a tendência de oferecer maior resistência à quebra quando as amostras eram tratadas a umidades próximas a 35%, sem maiores influências da temperatura de extrusão.

No trabalho de MERCIER & FEILLET (1975) os valores de força de quebra dos produtos extrusados mostraram uma relação direta com o conteúdo de umidade, menor valor de força de quebra a baixa umidade (10,5%), maior força de quebra a altas umidades (28,5%).

Os resultados de textura sugerem, por um lado, que há uma provável complexação dos componentes da fórmula a umidades próximas de 35%. Por outro lado, as formulações contendo maiores teores de amido resultaram em produtos mais resistentes à quebra.

4.4.5. Susceptibilidade à ação enzimática (SE)

A susceptibilidade à ação enzimática dos grânulos de amido dependem do grau de gelatinização e retrogradação do amido.

O ataque da alfa amilase (fúngica) aos grânulos de amido gelatinizado resulta na formação de glucose, composto que permite avaliar, de forma indireta, a severidade do tratamento térmico aplicado. Se a gelatinização é total, a susceptibilidade representa 100%. Tratamentos térmicos severos implicam na desorganização total da estrutura cristalina, facilitando o ataque das enzimas.

Na análise de variância, feita através de diferentes testes de distribuição normal (quantis, teste univariado), verificou-se que os dados experimentais foram altamente dispersos. Na figura 24 mostra-se a distribuição dos 8 blocos, no teste Quantis.

Na Tabela 13 mostra-se a análise de variância elaborada para a susceptibilidade enzimática, verificando-se a significância, $p= 0,1252$ e o $R^2= 0,1456$, o que indica que o modelo explica apenas 14% da variação e não é significativo. Portanto, dentro dos parâmetros de processamento estabelecidos, verifica-se que as variáveis estudadas não afetaram significativamente a susceptibilidade enzimática. A interação das variáveis na metodologia de superfície de resposta mostrou que nenhuma das variáveis estudadas exercem influência nas características do produto final.

Apenas para comprovação do comportamento nas variáveis estudadas foram verificadas as tendências da susceptibilidade à ação enzimática nas figuras (fig. 25, 26, 27 e 28) correspondentes a cada fórmula. Na fig. 25 se apresenta o efeito da umidade e temperatura na susceptibilidade enzimática da fórmula I. Pode-se constatar, nesta figura, que a temperatura

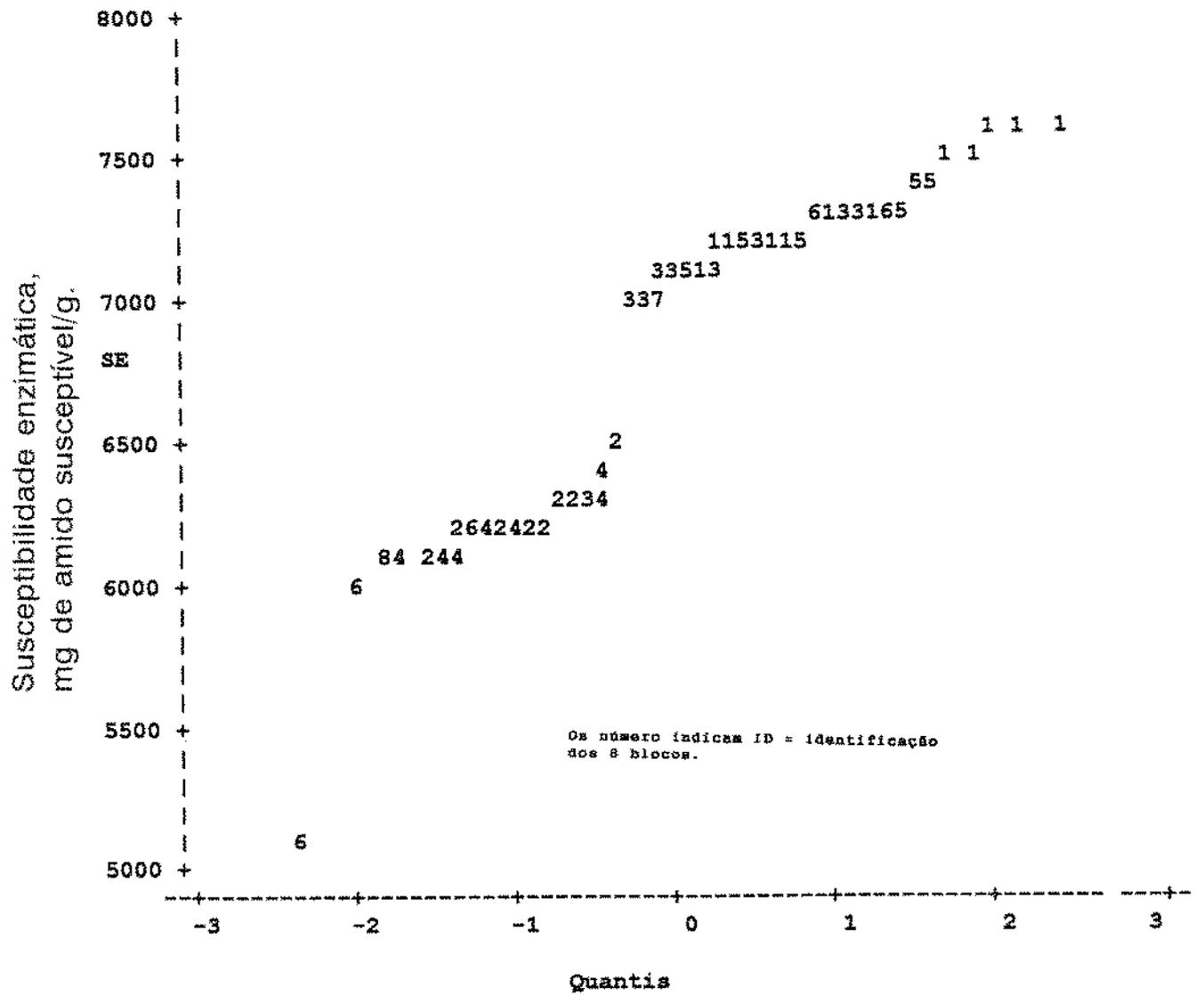


FIG. 24. Teste quantis para susceptibilidade à ação enzimática

TABELA 13. Análise de variância para a variável resposta susceptibilidade à ação enzimática (SE)

Causa de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	prob > F
Regressão	9	3108956,1	345439,56	1,61	0,1252
Resíduo	85	18235763,8	214538,40		
Total	94	21344719,9			
Média das respostas			6875,944		
Desvio padrão			463,183		
Coeficiente de variação			6,736		
R ²			0,1456		

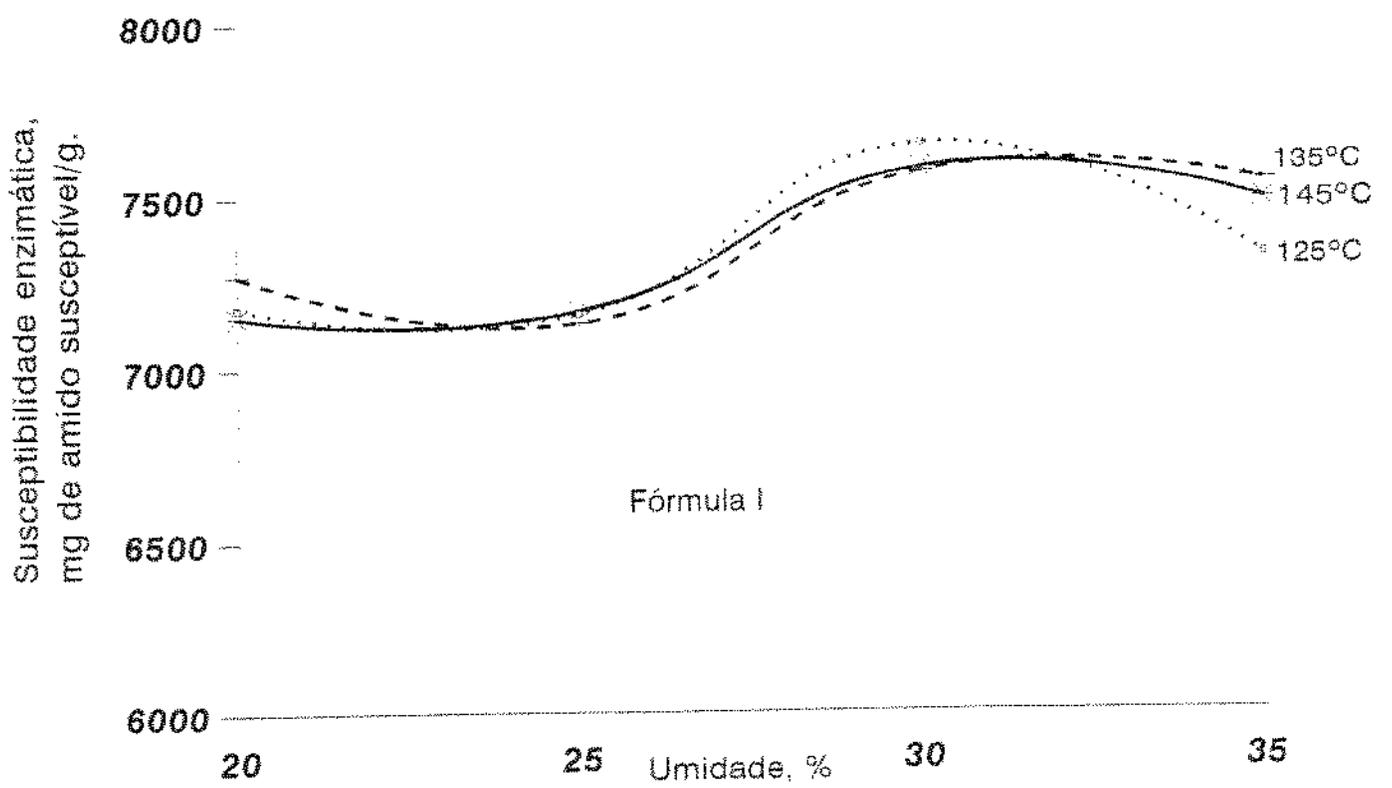


FIG. 25. Efeito da umidade e temperatura de processamento na susceptibilidade enzimática dos "pellets" fórmula I.

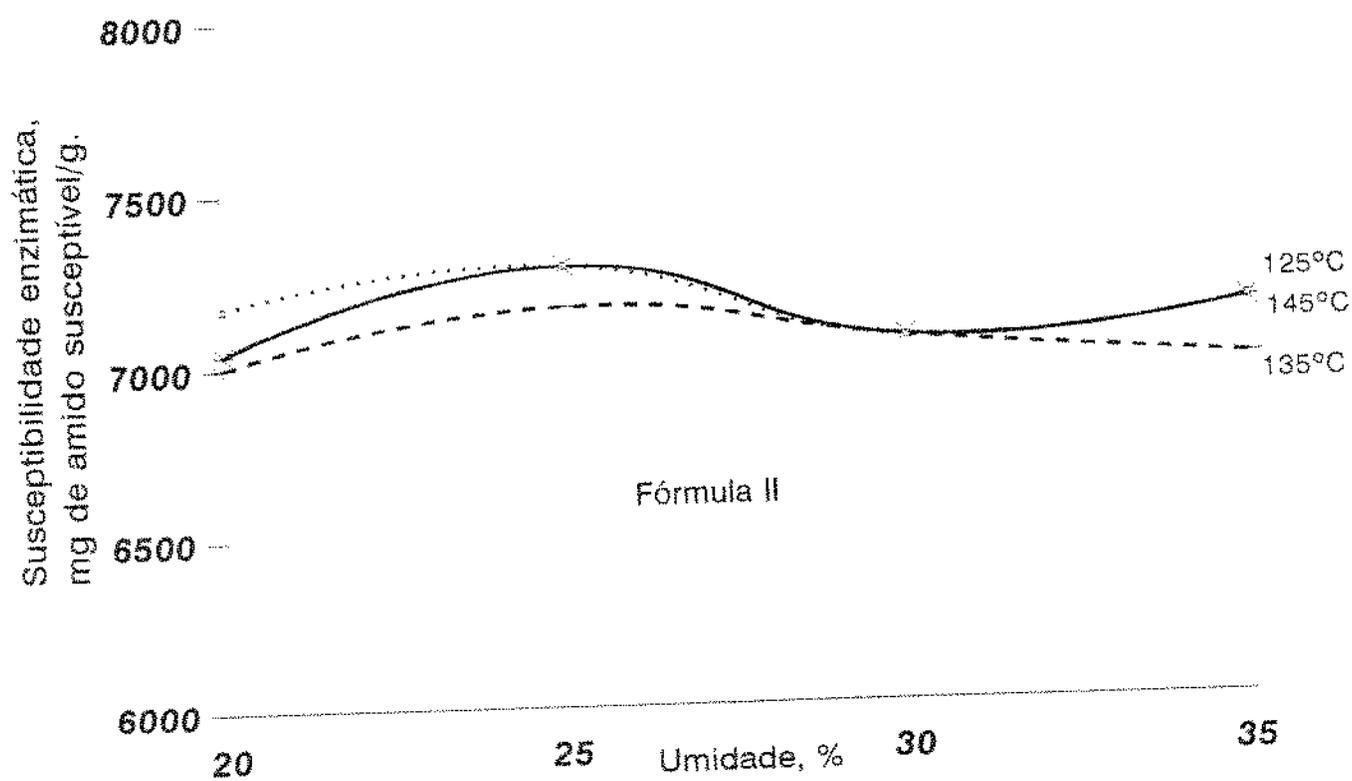


FIG. 26. Efeito da umidade e temperatura de processamento na susceptibilidade enzimática dos "pellets", fórmula II.

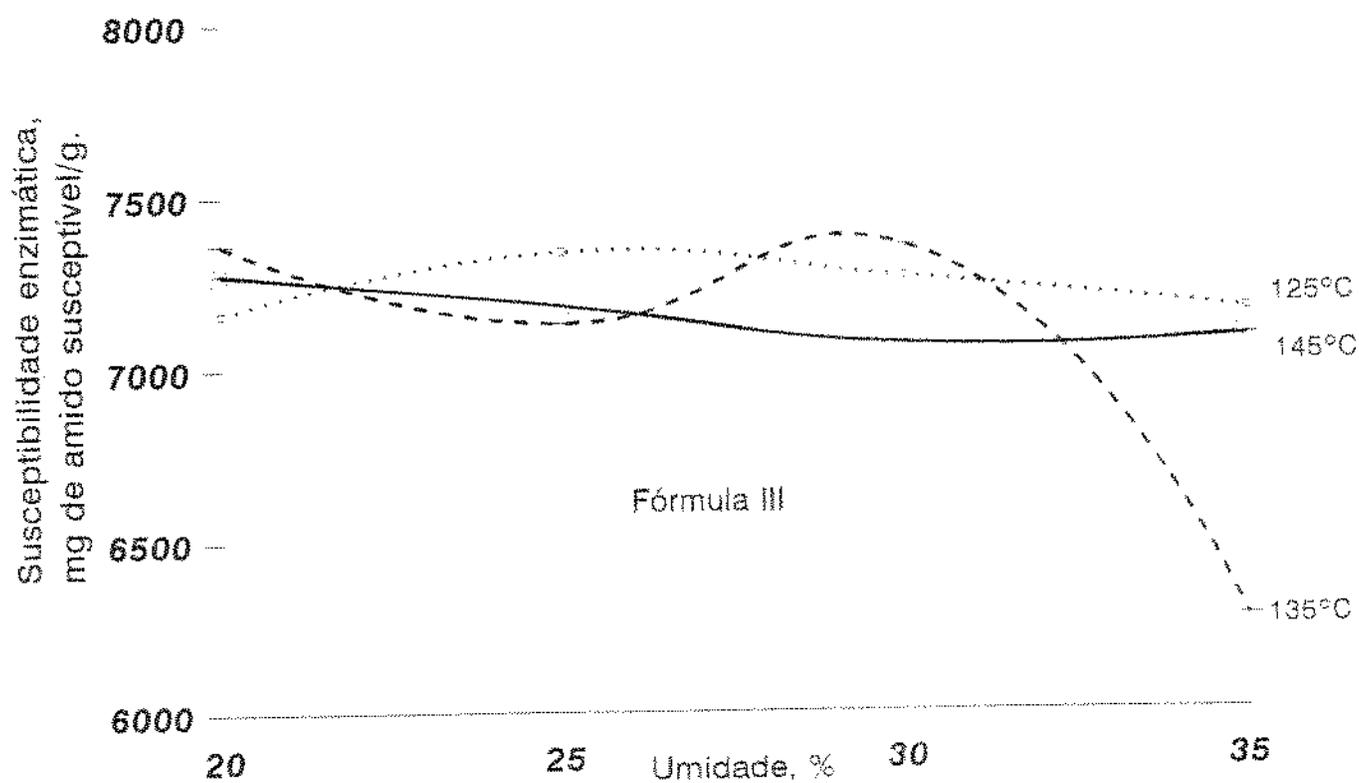


FIG. 27. Efeito da umidade e temperatura de processamento na susceptibilidade enzimática dos "pellets" fórmula III.

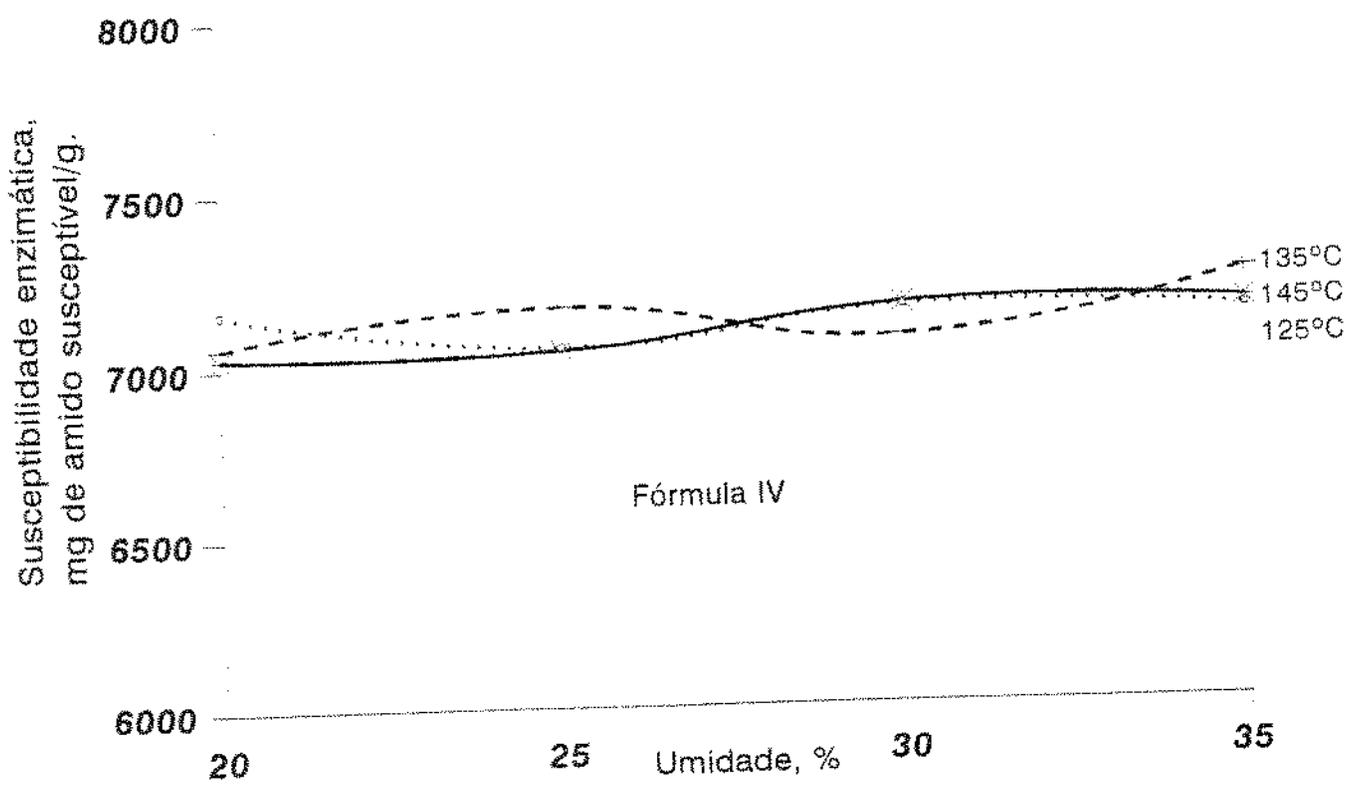


FIG. 28. Efeito da umidade e temperatura de processamento na susceptibilidade enzimática dos "pellets" fórmula IV.

não teve marcada influência nas variações da susceptibilidade enzimática; porém, verifica-se certa tendência ao aumento da susceptibilidade quando a umidade é incrementada. A fig. 26, fórmula II, mostra clara independência das variáveis umidade e temperatura, mantendo os valores de susceptibilidade entre 7000 e 7200 mg/g. Na fórmula III (fig. 27), observa-se um valor de susceptibilidade próximo a 6300 mg/g, dado que provavelmente atribui-se a erro experimental. Nestas condições, a tendência da susceptibilidade apresenta certa relação inversa com a umidade de processamento, isto é, valores relativamente mais baixos a umidades altas, sem influência da temperatura. Na fórmula IV (fig. 28), a susceptibilidade enzimática apresenta mínimos acréscimos quando a umidade aumenta, numa relação direta, e da mesma forma que ocorre nas outras fórmulas, a temperatura não exerce influência alguma.

É possível que mesmo nas condições mais brandas de temperatura já tenha ocorrido certo grau de gelatinização que tornaria o grânulo de amido susceptível ao ataque enzimático.

4.4.6. Viscosidade máxima.

A viscosidade da pasta é outra forma de avaliar o grau de degradação ocorrida durante o tratamento térmico de materiais farináceos e amidos. Tratamentos severos destroem a estrutura granular do amido fazendo com que a viscosidade da pasta seja baixa. A viscosidade máxima à temperatura de 95°C foi o parâmetro adotado na avaliação deste estudo.

Com os dados experimentais apresentados na tabela 2 do anexo, estabeleceu-se o modelo de regressão completo, obtendo-se a equação 5.

$$\begin{aligned}
 \text{RVA} = & - 2378,1232 + 76,7353 F + 51,5880 \text{ UMID} \\
 & - 0,8263 \text{ UMID}^2 + 26,3929 \text{ TEMP} \\
 & - 0,0981 \text{ TEMP}^2 \quad \quad \quad (\text{equação 5})
 \end{aligned}$$

A análise de variância, que aparece na tabela 14, mostra que o modelo explica 54.5% da variação da viscosidade e apresenta uma falta de ajuste não significativo ($p= 0,0001$), podendo ser considerado um modelo satisfatório. Ainda com a ANOVA verifica-se que as variáveis Formulação, Umidade e Temperatura são significativas.

A fig. 29 apresenta o gráfico tridimensional de superfície de resposta para a fórmula I. A viscosidade máxima, nesta fórmula, aumentou com a elevação da umidade. Por outro lado, a temperatura não teve maior influência nos valores de viscosidade máxima, confirmando a hipótese de que mesmo nas condições mais brandas de temperatura já tenha ocorrido a gelatinização.

A fig. 30 mostra a superfície de resposta correspondente à fórmula II, na qual pode-se verificar a mesma tendência, com relação à umidade, ocorrida na fórmula I. A diferença é que se verifica um acréscimo dos valores mínimos e máximos de viscosidade. O mesmo fenômeno ocorre com as fórmulas III e IV (fig. 31 e 32 respectivamente). A medida que a proporção de fécula de mandioca diminuiu, os valores de viscosidade máxima aumentaram. Estes resultados estão de acordo com os da literatura (LAUNAY e LISCH, 1983), que mostram que o amido de milho é mais resistente à ação mecânica que a fécula de mandioca. Esta característica dos grânulos de amido de milho resulta em um produto extrusado com grânulos inchados que elevam a viscosidade de pasta. Por outro lado, a resistência à ação mecânica dos grânulos de amido está,

TABELA 14. Análise de variância para a variável resposta
viscosidade (RVA)

Causa de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	prob > F
Regessão	5	417531,57	83506,31	21,63	0,0001
Resíduo	90	347429,36	3860,32		
Total	95	764960,93			
Variáveis		Estimativa do coeficiente			
Intercepto		-2378,1232			
F		76,7353			
UMID		51,5880			
UMID2		-0,8263			
TEMP		26,3929			
TEMP2		-0,0981			
Média das respostas		223,8750			
Devio padrão		62,1315			
Coeficiente de variação		27,7527			
R ²		0,5458			

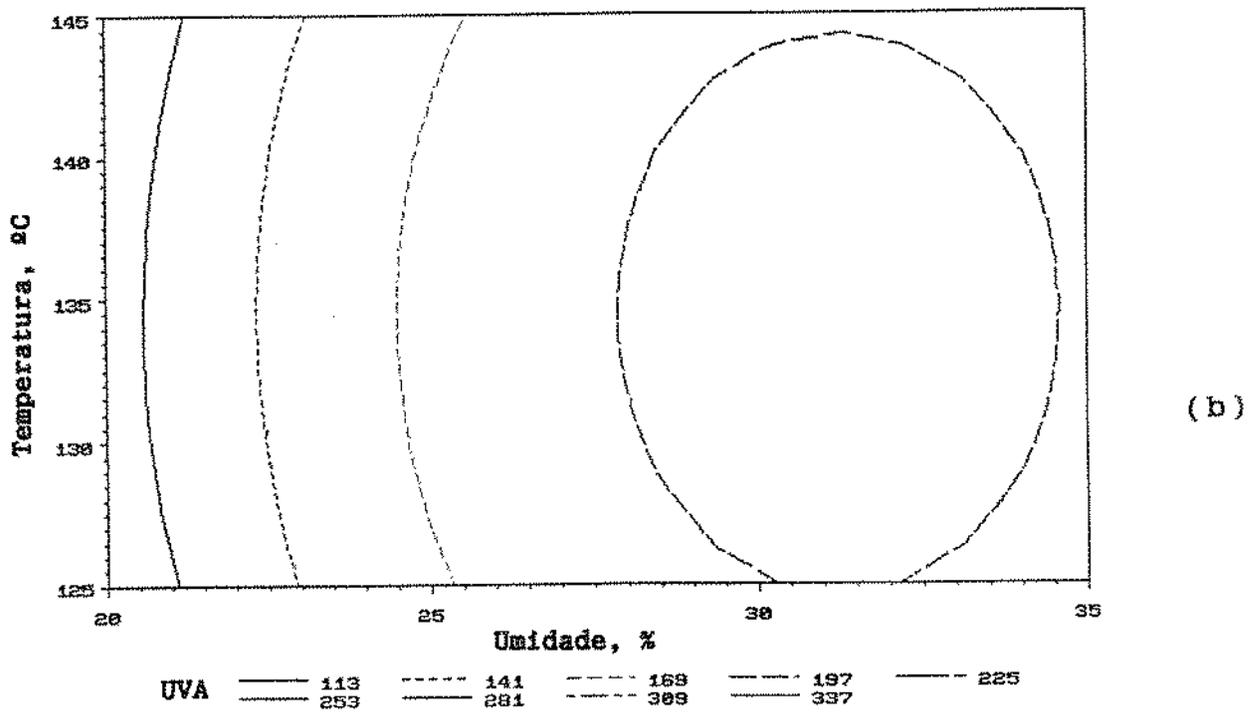
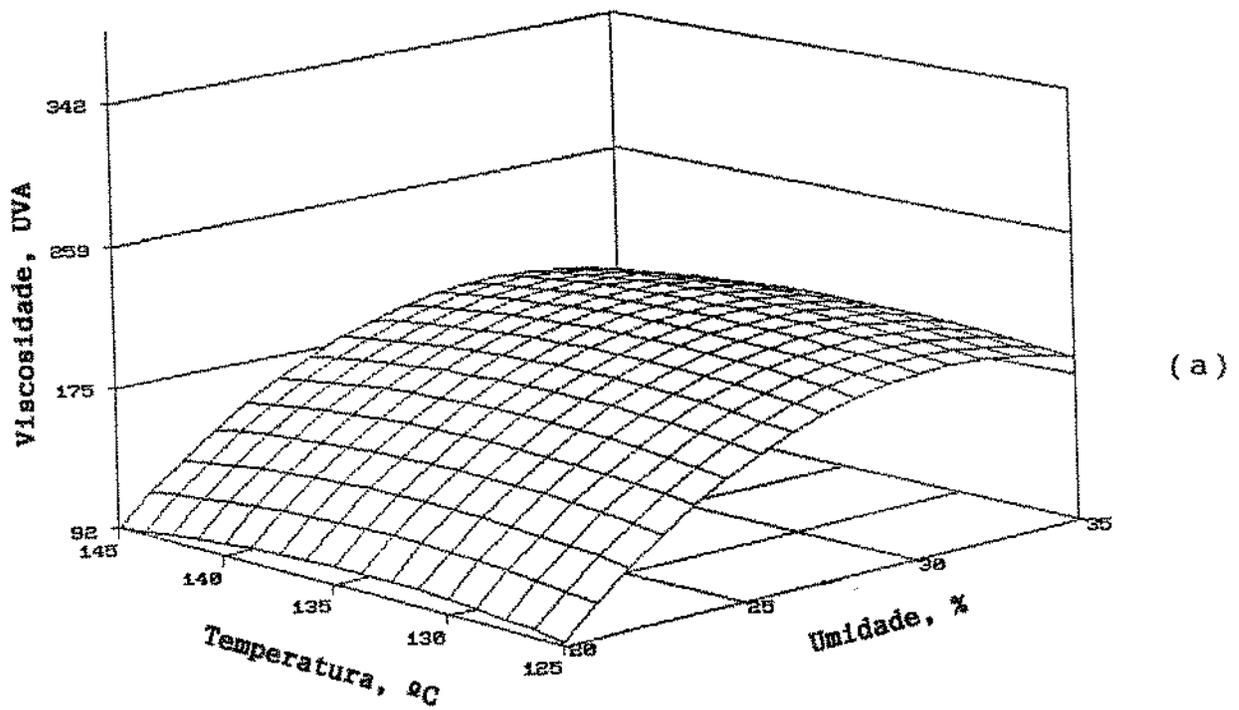
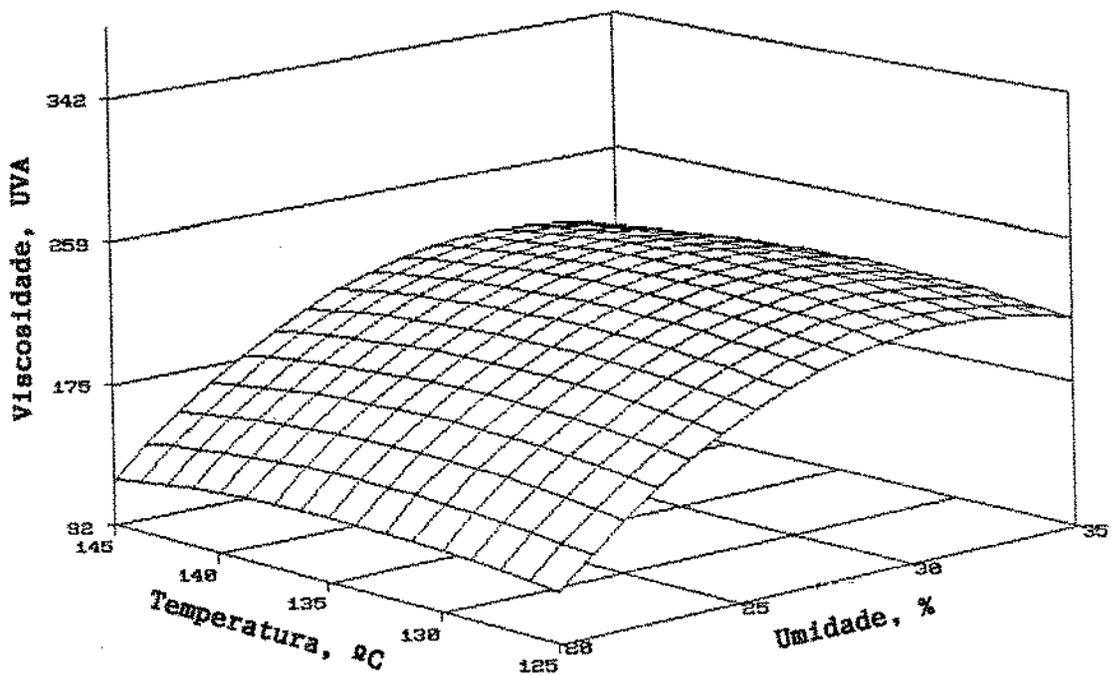
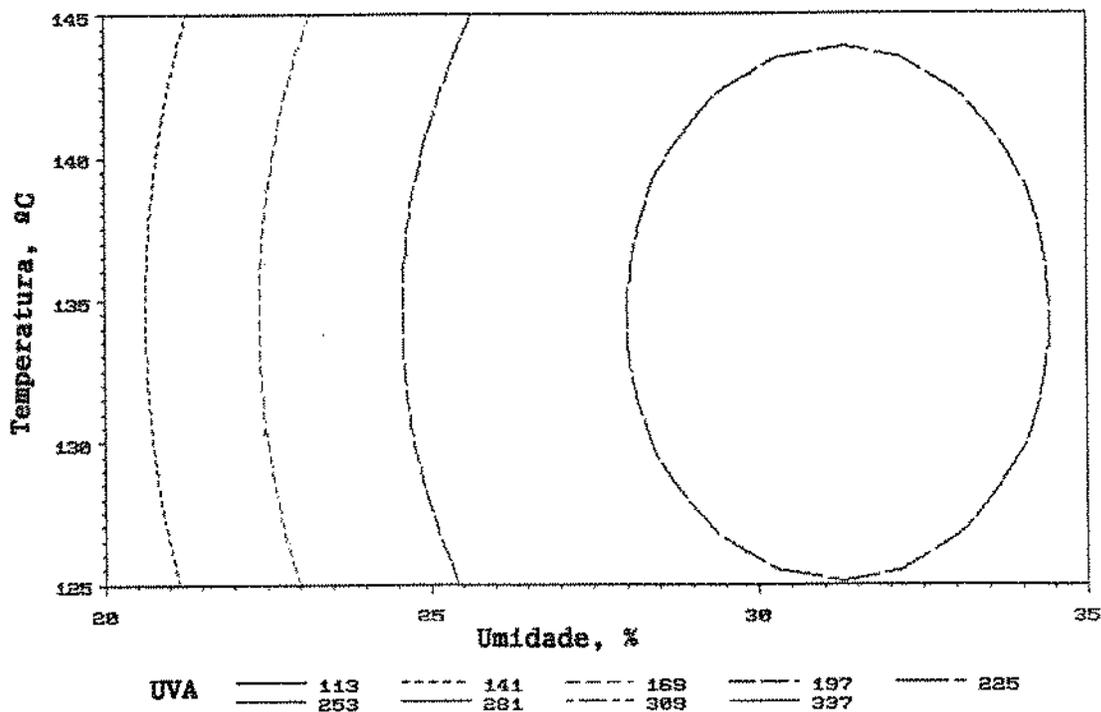


FIG. 29. Diagrama de superfície de resposta mostrando o efeito da temperatura e umidade de processamento na viscosidade dos "pellets". Fórmula I

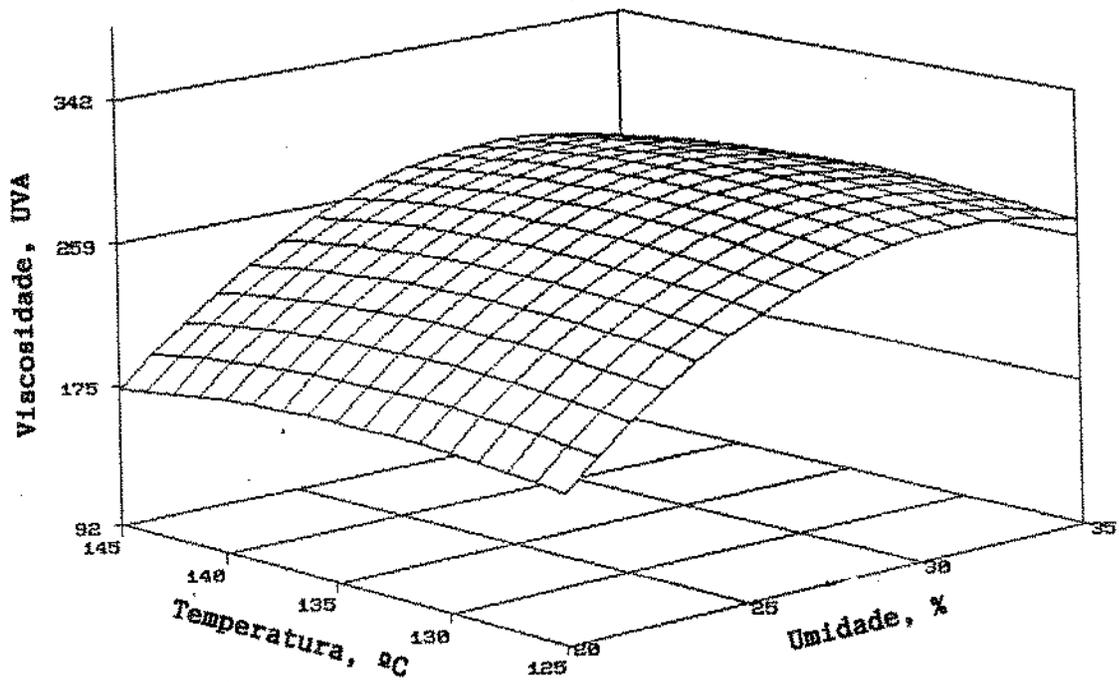


(a)

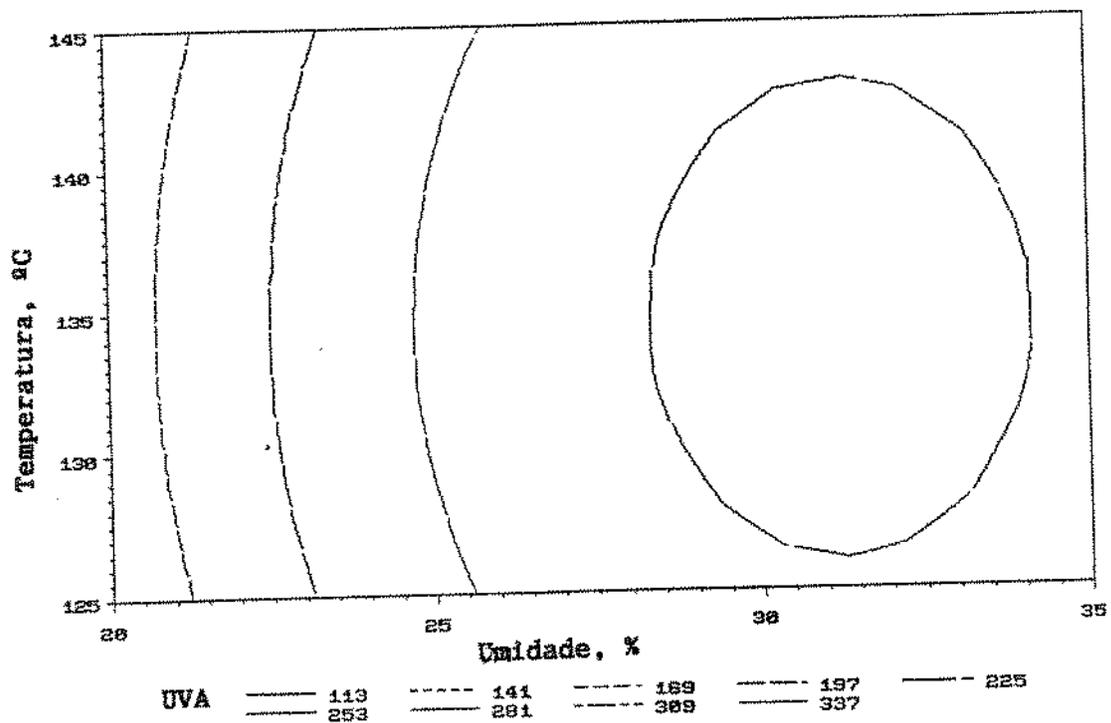


(b)

FIG. 30. Diagrama de superfície de resposta mostrando o efeito da temperatura e umidade de processamento na viscosidade dos "pellets". Fórmula II

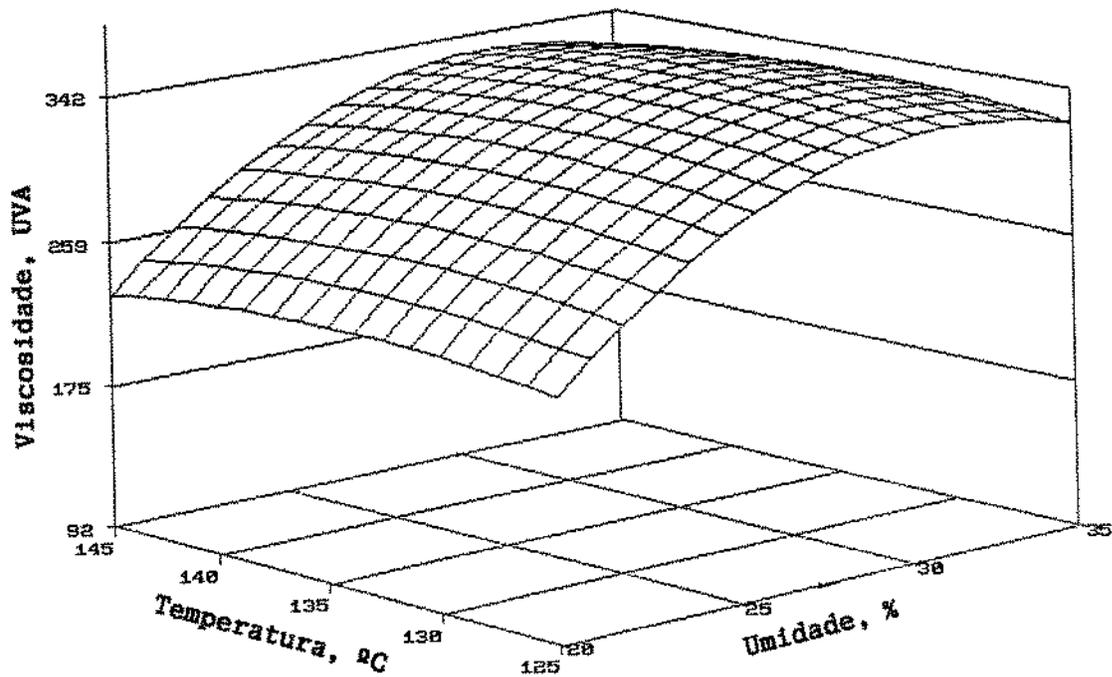


(a)

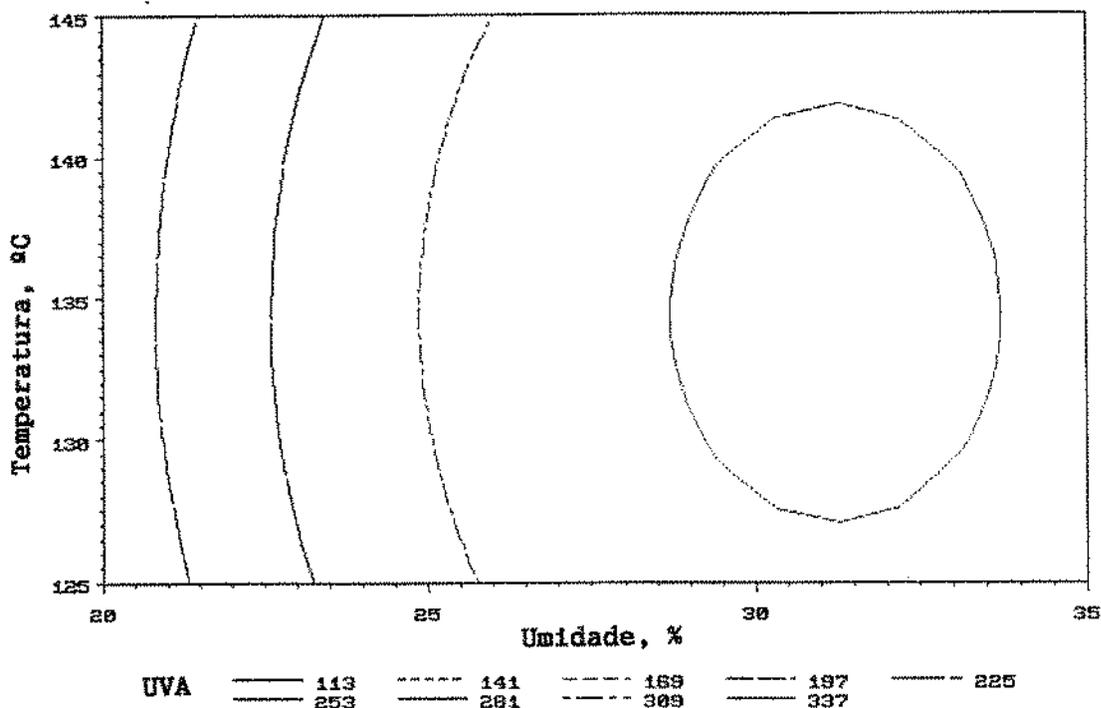


(b)

FIG. 31. Diagrama de superfície de resposta mostrando o efeito da temperatura e umidade de processamento na viscosidade dos "pellets". Fórmula III



(a)



(b)

FIG. 32. Diagrama de superfície de resposta mostrando o efeito da temperatura e umidade de processamento na viscosidade dos "pellets". Fórmula IV

também, relacionada com a umidade, que será maior a umidades elevadas de processamento.

As figuras 33, 34, 35 e 36 ilustram os viscoamilogramas mais representativos obtidos com amostras de cada fórmula, nas diferentes umidades de processamento no extrusor à temperatura máxima (60-125-135-145-65-65°C). A curva em forma de pirâmide representa o perfil da temperatura durante a determinação no RVA. Pode-se verificar por estes gráficos, que a viscosidade máxima é atingida em aproximadamente 7 minutos, e quatro minutos depois atinge-se a viscosidade mínima.

Analizando-se em forma conjunta os viscoamilogramas de cada uma das formulações, verifica-se que à medida que a proporção de farinha de milho aumenta a viscosidade máxima também aumenta. Paralelamente os perfis das curvas nas diferentes umidades de processamento mostram acréscimo da viscosidade máxima com valores altos de umidade de processamento.

Estes resultados mostram claramente a influência da farinha de milho nas diferentes fórmulas estudadas. Assim, o grau máximo de viscosidade pode ser previsto com base no conteúdo de farinha de milho na fórmula: analogamente, a viscosidade diminui quando da presença de amidos puros como o da mandioca, que oferece menor resistência a ação mecânica e, conseqüentemente, os valores de viscosidade máxima decrescem. Por outro lado, observa-se nos gráficos de viscosidade que a retrogradação das pastas é função do conteúdo de umidade. Tratamentos com alto conteúdo de umidade produziram pastas com alta capacidade de retrogradação. Estes valores foram mais elevados quanto maior a quantidade farinha de milho presente na fórmula.

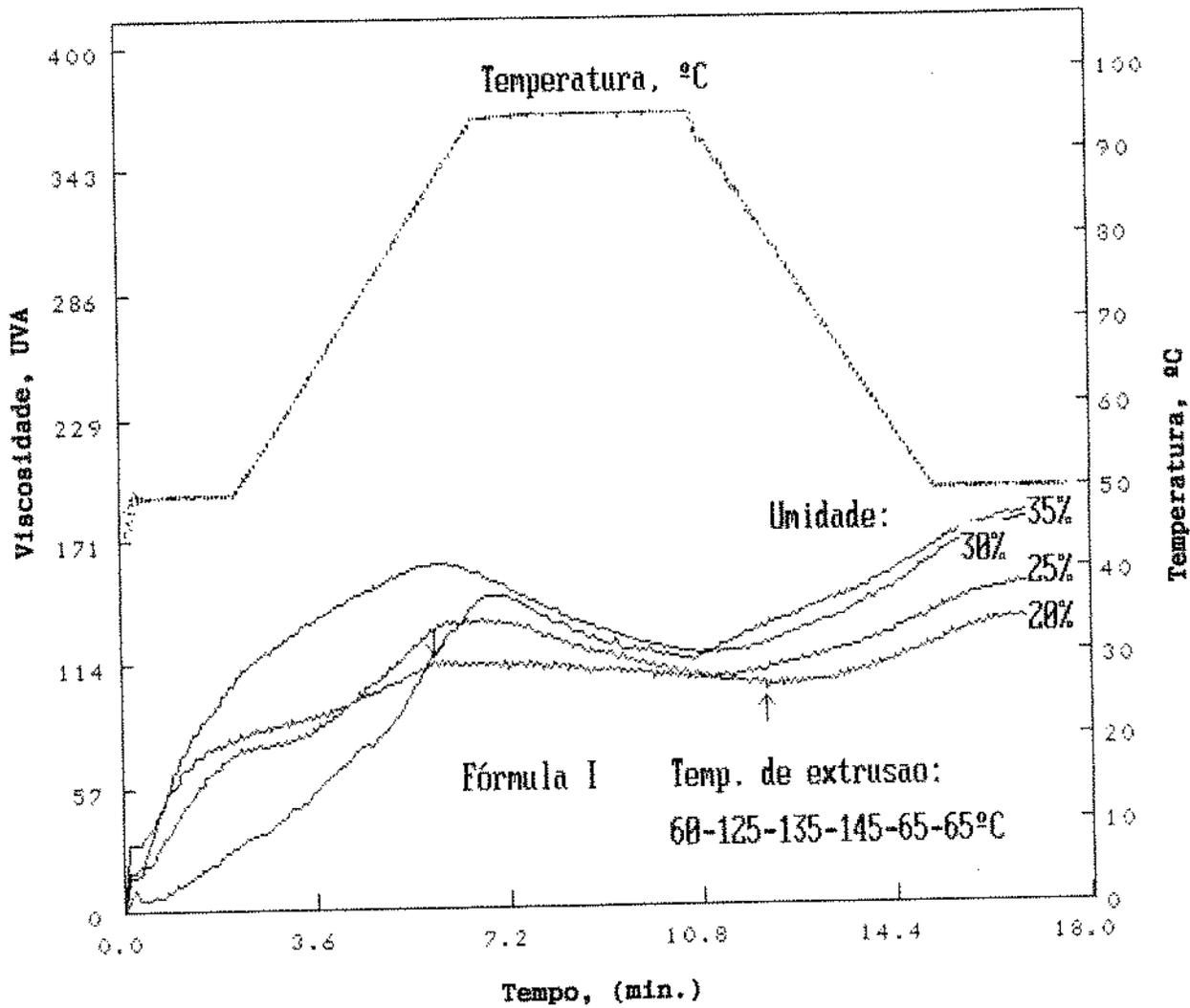


FIG. 33. Visco-amilogramas representativos da Fórmula I obtidos de "pellets" com diferentes unidades de processamento

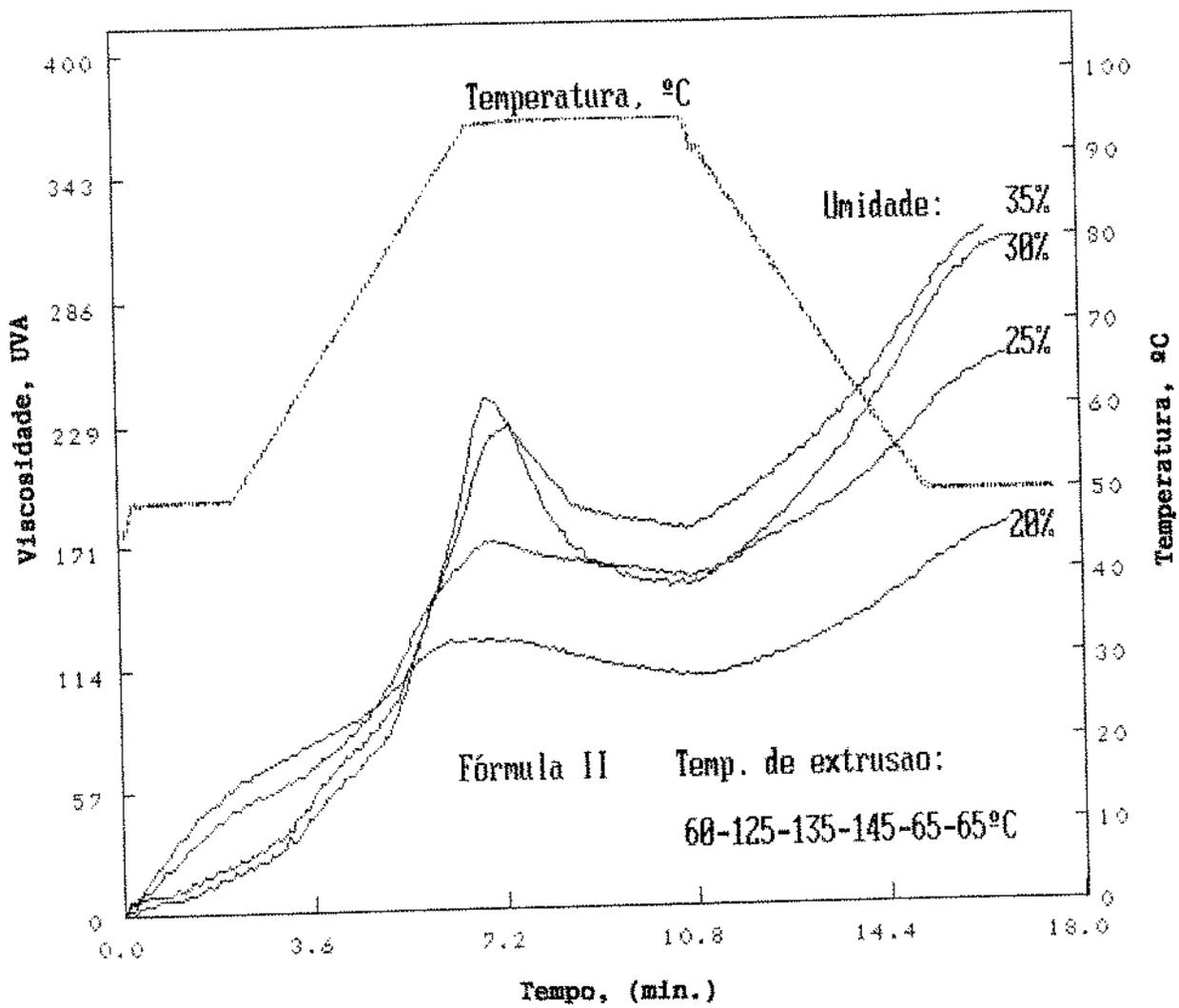


FIG. 34. Visco-amilogramas representativos da Fórmula II obtidos de "pellets" com diferentes umidades de processamento

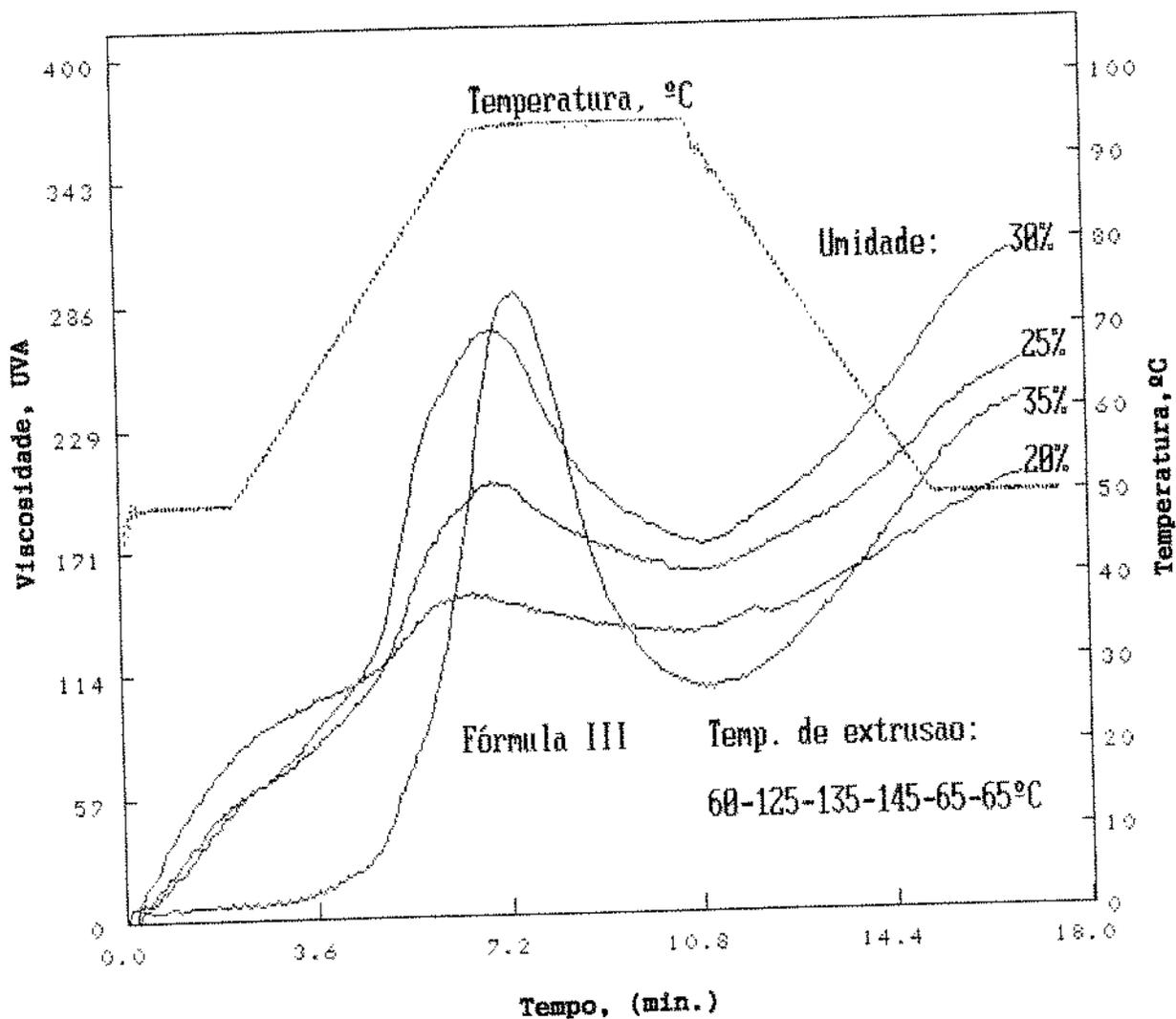


FIG. 35 . Visco-amilogramas representativos da Fórmula III obtidos de "pellets" com diferentes umidades de processamento

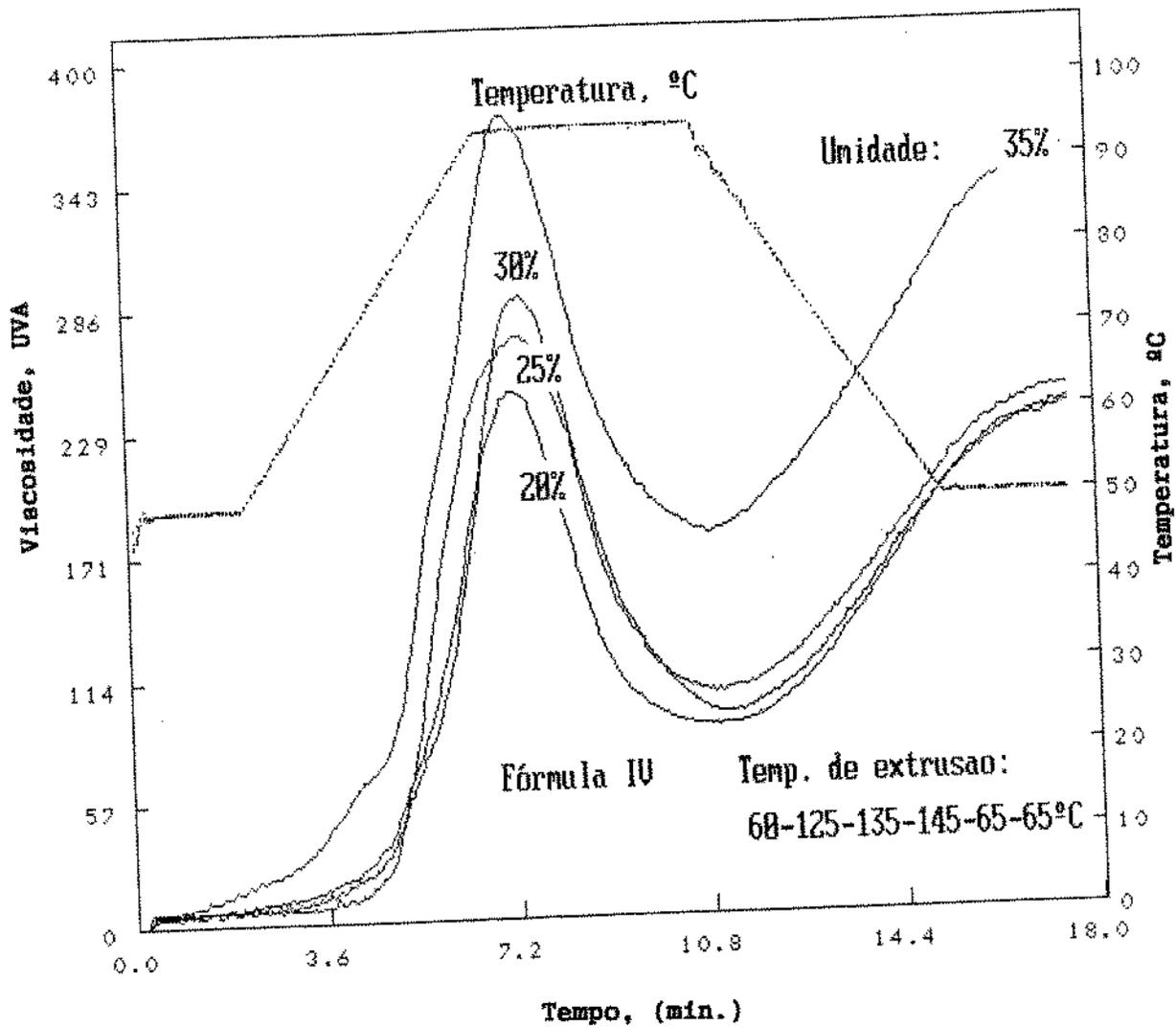


FIG. 36. Visco-amilogramas representativos da Fórmula IV obtidos de "pellets" com diferentes umidades de processamento.

4.4.7. Parâmetros de secagem dos "pellets"

Os "pellets" apresentaram melhores condições de expansão quando foram desidratados a $85^{\circ}\text{C} \pm 1$ durante 60 minutos. Na determinação de umidade apresentaram valores de 9-11% de umidade (base seca).

4.4.8. Parâmetros de fritura dos "pellets"

Melhores volumes de expansão nos "pellets", independentemente dos tratamentos, foram conseguidos quando eram imersos em óleo à temperatura de $200^{\circ}\text{C} \pm 2$, por 6 segundos.

Várias etapas são críticas para a produção de "snacks" de terceira geração de boa qualidade: umidade final do produto, condições de secagem e descanso de pelo menos 3 dias antes de fritar o produto, foram condições indispensáveis para se obter boas características de expansão e textura. A umidade do produto após extrusão era de aproximadamente 23-28%. Os "pellets", nestas condições, apresentam umidade relativamente homogênea em toda a sua extensão. É possível que a baixa expansão dos "pellets" fritos logo após a secagem seja decorrente de uma distribuição heterogênea de água entre o interior e a superfície do "pellet", pois nestas condições é de se supor que exista uma gradiente crescente de água do exterior para o interior. Assim, após três dias de descanso, (BEN-GERA e KEARNS, 1980) com a água redistribuída de forma homogênea a expansão foi notavelmente favorecida.

A primeira fase do processo de fritura, (2 segundos após a imersão), observa-se uma rápida evaporação da umidade externa, em forma de "flashes" no óleo quente. Numa segunda fase, acredita-se que a umidade

interna se converta em vapor na forma de minúsculas bolhas que, ao final, seriam as responsáveis pela expansão do produto.

4.4.9. Análise sensorial

A classificação das melhores amostras, procedentes dos 96 tratamentos realizados, foi feita através de avaliação subjetiva, comparando-as entre si. Os parâmetros observados foram expansão, textura e aspecto geral dos "pellets" fritos. Tendo em vista que do total de experimentos realizados, aproximadamente 95% apresentaram media e baixa expansão e/ou textura muito rígida, foram então selecionadas 6 amostras (tabela 15) que apresentaram melhor expansão e textura, as quais foram submetidas ao teste de preferência.

4.4.9.1. Teste de preferência

Os valores obtidos no teste de preferência encontram-se na tabela 15.

Com respeito à textura, ocorreu uma variação de 3,1. a 5,8. O tratamento correspondente à fórmula II, a 35% de umidade e temperatura 60-105-115-125-65-65°C (T-1) recebeu o menor valor médio, diferindo significativamente dos demais, por ter sido desgostado ligeiramente. Os demais tratamentos não diferiram entre si, estando entre "gostei ligeiramente" e "gostei regularmente". Quanto ao sabor, a variação ocorrida foi de 3,8 a 4,1, não havendo diferença significativa entre os tratamentos que ficaram na faixa de "não gostou nem desgostou".

Na preferência geral do produto, houve uma variação de 3,7 a 4,6 não diferindo estatisticamente entre si. Entretanto, pode-se observar que o

TABELA 15. Valores médios (10 repetições) para textura, sabor e preferência geral do "snacks".

Fórmula	Umidade %	Temp. °C no canhão	Textura	Sabor	Preferê ncia Geral
I	35	125-135- 145	5,3 ^a	4,1	4,0
III	35	105-115- 125	5,8 ^a	3,9	4,5
III	35	115-125- 135	5,7 ^a	4,1	4,6
II	35	105-115- 125	3,1 ^b	4,1	3,7
II	35	115-125- 135	5,1 ^a	3,9	4,4
II	35	125-135- 145	5,0 ^a	3,8	4,0
Q.M.	--	--	0,62 ^{**}	0,67 ^{ns}	0,87 ^{ns}

ns: Não significativo **: Significativo ao nível de 1%

Segundo teste de Tukey, médias na vertical com letras diferentes, diferem entre si ($p < 0,01$).

tratamento que obteve o menor valor médio foi a fórmula II, (35%-T-1), ficando na faixa do "não gostei nem desgostei". Já a Fórmula III (35%-T-2) obteve o maior valor médio, atingindo a faixa do "gostei ligeiramente".

Pode-se concluir que a fórmula III, com 35% de umidade, foi a preferida quanto à textura e preferência geral. Em oposição, a fórmula II obteve a menor preferência. Para o sabor, todos os tratamentos ficaram na mesma faixa de preferência.

4.4.9.2. Teste de aceitabilidade

Quanto ao sabor (fig. 37), a maioria das mulheres, assim como a maioria dos homens (98% e 82%, respectivamente) gostou do produto. Apenas 2% das mulheres mantiveram-se indiferentes (não gostou nem desgostou), do mesmo modo que 9,8% dos homens. Nenhuma mulher desgostou das amostras e somente 7,8% dos homens tiveram essa opinião. No geral, 90% dos consumidores gostou do produto e 4% desgostou, o restante não gostou nem desgostou.

Com respeito à crocância (fig. 38) dos "snacks", a opinião de mulheres e homens, foi percentualmente igual, ou seja, 98% gostou e 2% desgostou.

Quando os consumidores foram questionados sobre a compra (ver fig. 39) do produto, 74% das mulheres e 61% dos homens responderam que comprariam, num total de 67,5% de aceitação de compra. Apenas 2% das mulheres e 12% dos homens responderam que não comprariam, enquanto 24% das mulheres e 27% dos homens mostraram-se indecisos, respondendo que talvez comprassem.

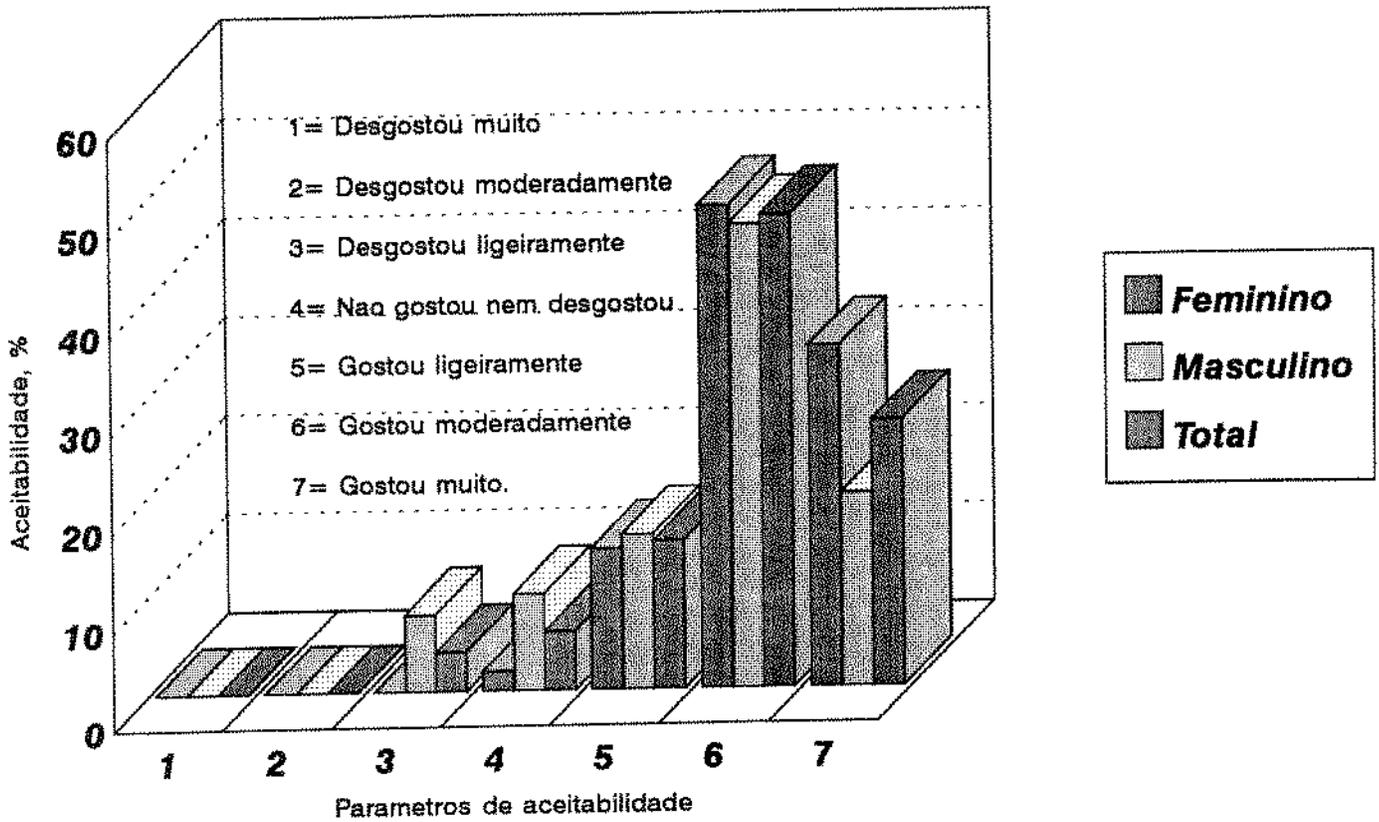


Fig. 37. Teste sensorial de aceitabilidade dos "snacks" referente a sabor.

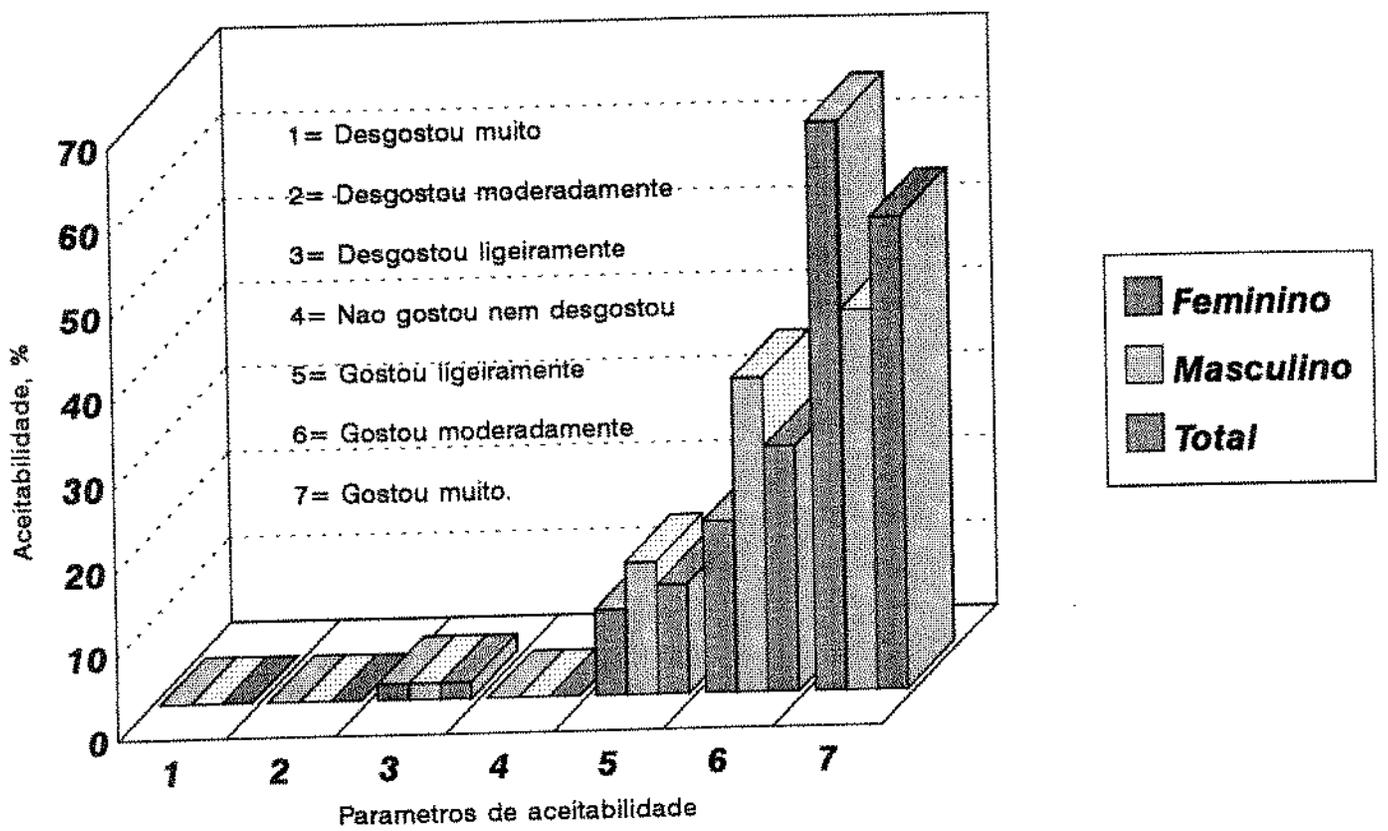


Fig. 38. Teste sensorial de aceitabilidade dos "snacks" referente à crocância.

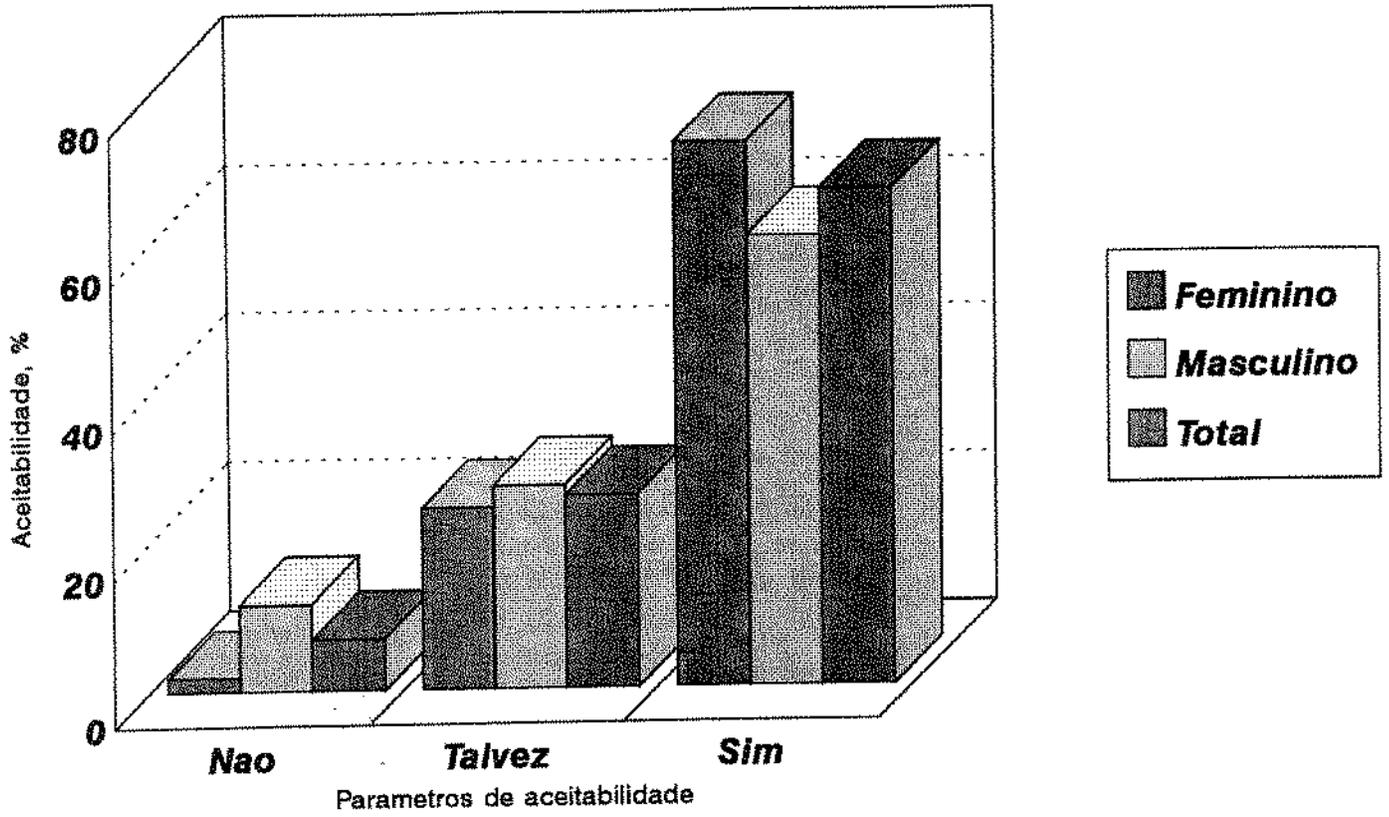


Fig. 39. Teste sensorial de aceitabilidade dos "snacks" referente à pergunta se compraria ou nao o produto

5. CONCLUSOES

Dos resultados obtidos no presente estudo pode-se concluir:

1. O processo de cozimento de misturas de farinhas de milho e amidos de milho e mandioca por extrusão termoplástica (extrusor Wenger TX-52 de duplo parafuso) é um meio adequado para se obter "pellets" ou produtos intermediários (half-products) com boas características sensoriais e de expansão após fritura.
2. Os efeitos das variáveis de extrusão, nas características dos "pellets" e dos produto expandidos, consideradas neste estudo, são os seguintes:
 - (a) A densidade aparente do produto expandido é dependente das variáveis "Fórmula" e "Temperatura". A mistura mais adequada para se obter um bom produto foi dada pela fórmula III, sendo que se verificou uma diminuição da densidade quando as temperaturas foram mais baixas.
 - (b) O índice de absorção de água é dependente da variável "umidade". De modo geral, a umidade de processamento é indiretamente proporcional ao valor do IAA, ou seja, quanto menor a percentagem de umidade de processamento, maior IAA.
 - (c) O índice de solubilidade em água é dependente da "Fórmula" e da "Temperatura". Em geral, as fórmulas contendo maior percentagem de fécula de mandioca apresenta aumento no ISA. Temperaturas elevadas implicam em valores altos de ISA.

(d) A textura dos "snacks", determinada no Instron, é dependente da variável "Fórmula". A energia no ponto de quebra aumenta quando a fórmula contém altas percentagens de fécula de mandioca.

(e) A susceptibilidade enzimática não apresentou dependência das variáveis estudadas.

(f) A viscosidade máxima a 95°C é dependente das variáveis "Fórmula", "Umidade" e "Temperatura". Quanto maior o conteúdo de farinha de milho na formulação, maior o valor da viscosidade. A viscosidade máxima e a temperatura de processamento apresentam relações diretas em função da umidade e viscosidade, respectivamente.

3) As melhores condições para a produção de produtos intermediários foram:

- Fórmula III (45% de fécula de mandioca, 40% de farinha de milho, 13,5% de amido de milho, 1% sal, 0,5 de Myvaplex).

- Umidade de processamento: 35%. Temperatura nas zonas do extrusor: 60-115-125-135-65-65°C, respectivamente.

- A secagem dos "pellets" à temperatura de 85°C por uma hora e a expansão por fritura em óleo à temperatura de 200°C durante 6 segundos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ-MARTINEZ, L., KONDURY, K.P. E HARPER, J.M. A general model for expansion of extruded products. *J. Food Sci.* 53 (2): 609-615, 1988.
- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS *Aproved Methods*. 8 ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1981. 44-01 e 08-01, 1981
- ANDERSON, R.A., CONWAY, H.F., PFEIFER, V.F., e GRIFFIN, L. Jr. Gelatinization of Corn Grits by Roll- and Extrusion-Cooking. *Cereal Science Today*. 14 (1): 4-11, 1969.
- BEN-GERA, I. e KEARNS, J. Production of Third generation snacks pellets through extrusion cooking. **Presented at the Snack Extrusion Cooking Seminar**, Central German School for Confectionery, ZDS, Solingen, Germany, November, 3-5, 1980.
- BHATTACHARYA, M.; HANNA, M.A. e KAUFMAN, R.E. Textural properties of extruded plant protein blends. *J. Food Sci.* 51: 988, 1986a.

- BHATTACHARYA, M. e HANNA, M.A. Textural properties of extrusion cooked corn starch. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*. 20 (4):195- 201, 1987b.
- BLINHG, E.G. e DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biomed. Phys.*, 37:911-917, 1959.
- BURROS, B.C., YOUNG, L.A. e CARROAD, P.A. Kinetics of corn meal gelatinization at high temperature and low moisture. *J. Food Sci.*, 52: 1372, 1987.
- CAMIRE, M.E., CAMIRE, A. e KRUMHAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. *Critical Reviews in Foods Science and Nutrition*, 29 (1):35-57, 1990.
- CASE, S.E., HAMANN, D.D., e SCHWARTZ, S.J. Effect of starch gelatinization on physical properties of extruded wheat- and corn-based products. *Cereal Chem.* 69 (4):401-404, 1992.
- CHANDRASHEKAR, A., KIRLEIS, A.W. Influence of protein on starch gelatinization in sorghum. *Cereal Chem.* 65: 457, 1988.
- CHEFTEL, J.C. Nutritional effects of extrusion-cooking. *Food Chem.*, 20: 263, 1986.
- CHIANG, B.Y., JOHNSON, J.A. Gelatinization of the starch in extruded products. *Cereal chem.*, 54(3):436-443, 1977.

CHINNASWAMY, R. e HANNA, M.A. Optimum extrusion-cooking conditions for maximum expansion of corn starch. *J. Food Sci.*, 53(3):834-840, 1988a.

CHINNASWAMY, R. e HANNA, M.A. Relationship between amylose content and extrusion-expansion properties of corn starches. *Cereal Chem.* 65(2):138-143, 1988.

CIACCO, C.F. e CRUZ, R. Fabricação de amido e sua utilização. Série Tecnologia Agroindustrial. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e tecnologia, de São Paulo, p. 12, 1982.

CLARK, J.P. Texturization process in the cereal foods industry. *Food Technol.*, March, p. 91-93, 1986.

COCHRAN, W.G. e COX, G.M. *Experimental designs*, Jonh Wiley & Sons, Inc. United States, 1957 p. 396-399.

COLONA, P. e MERCIER, C. Macromolecular modification of manioc starch componentes by extrusion-cooking with and without-lipids. *J. Carbohydrate Polymers*, 3:87-108, 1983.

De la GUERIVIERE, J.F., MERCIER, C., e BAUDET, L., Incidences de la cuisson-extrusion sur certains parametres nutritionnels de produits alimentaires notamment cerealiers. *Cah. Nutr. Diet*, 20: 201, 1985.

EVANS, I.D. e HAISMAN, D.R. The effect of solutes on the gelatinization temperatures of starches in water. *Starches*, 34: 233, 1982.

DONOVAN, J.W. e MAPES, C.J. Multiple phase transitions of starches and naegeli amyloextrins. *Starch*, 32: 190, 1980.

FALCONE, R.G. e PHILLIPS, R.D. Effects of feed composition, feed moisture, and barrel temperature on the physical and rheological properties of snacks-like products prepared from cowpea and sorghum flours by extrusion. *J. Food Sci* 53(5):1464-1469, 1988.

FAUBION, J. M., HOSENEY, R.C. & SEIB, P.A. Functionability of grain componer

GERKENS, D.R.D. Method of making an expanded crisp snack food product. **UNITED STATES PATENT**, N° 3.753.753, 21 Agosto, 1973.

GOMEZ, M.H., WANISKA, R.D., ROONEY, L.W. E LUSAS, E.W. Extrusion- cooking of sorghum containing different amounts of amylose. *J. Food Sci.*, 53(6): 1818-1822, 1988.

GOMEZ, M.H. e AGUILERA, J.M. A physicochemical model for extrusion of corn starch. *J. Food Sci.* 49:40, 1984.

GUY, R.C.E. e HORNE, A.W. Extrusion and Co-Extrusion of cereals. In: **Food Structure- Its creation and evaluation**. Ed. Blanshard, J.M.V. e Mitchel, J.R., Butterworths. pp. 1-349, 1988.

- HARPER, J.M. Food extruders and their applications. In: MERCIER, C., LINKO, P., HARPER, J.M. **Extrusion cooking**. St. Paul: AACC, 1989.
- HUBER, G.R. Preconditioning and related extrusion processing issues. Wenger Manufacturing, Inc. Presented at the A.A.C.C. **Extrusion Short Course**, Feb. 19-21, 1990
- HUBER, G.R. e ROKEY, G.J. Expansion extrusion and normal extrusion snacks. Wenger Manufacturing, Inc. 714 Main Street, Sabetha, KS. (Apostila), 1989.
- KIRBY, A.R., OLLETT, A.L., PARKER, R. e SMITH, A.C. An experimental study of screw configuration effects in the twin-screw extrusion-cooking of maize grits. **Journal of Food Engineering**, 8: 247-272, 1988.
- KUBOTA, J., HOSOKAWA, Y., SUZUKI, K., e HOSAKA, H. Studies on the gelatinization rates of rice and potato starches. **J. Food Sci.**,44: 1394, 1979.
- LAUNAY, B. e LISCH, J.M. Twin-screw extrusion cooking of starches. Flow behaviour of starch pastes, expansion and mechanical properties of extrudates **J. Food Eng.** 2(4):259, 1983.

LAZARUS, C.R. Dry mix suitable for the preparation of a puffable food product, processes for the use thereof, and the puffable and/or puffed foods products so produced **UNITED STATES PATENT**, N° 4.965.081, 23 de Outubro 1990.

LEACH, H.W., Mc COWEN, L.D. e SCHOCH, T.J. Structure of the starch granule. *Cereals*

MÄLKI, Y., KERVINEN, R. OLKKU, J. e LINKO, P. Effects of monoglycerides during cooking extrusion of wheat flour. Marcuse (Ed), *Fats (lipids) in: Baking and extrusion lipid forum*. Göteborg, 1984, 130-137.

MERCIER, C. e FEILLET, P. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. *Cereal Chem.* 52(3):283-297, 1975.

MERCIER, C. Effects of extrusion-cooking on potato starch using a twin screw french extruder. *Starch/Stärke*, 29(2):48-52, 1977.

MERCIER, C., CHERBONNIERE, R., GREBAUT, J, GUERIVIERI, J. F. de la. Formation of amilose-lipid complexes by twin-screw extrusion-cooking of cereal products. *Cereal Chem.* 57(1):4-9, 1980.

NOGUCHI, A., MOSSO, C., AYMARD, C., JEUNINK, J. e CHEFTEL, J.C. Maillard reactions during extrusion-cooking of protein-enriched biscuits. *Lebensm. Wiss. Technol.*, 15:105, 1982.

ONWULATA, C.I., MULVANEY, S.J., HSIEH, F. e HEYMANN, H. Step changes in screw speed affect extrusion temperature and pressure and characteristics *J. Food Sci.*, 57(2):512-515, 1992.

PHAM, C.B. e del ROSARIO, R.R. Studies on the development of texturized vegetable products by the extrusion process. III. Effects of processing variables of tiamin retention *J. Food Technol.*, 21:569, 1986.

ROKEY, G.L. e HUBER, G.R. Texturization of vegetable food proteins. Wenger Manufacturing, Sabetha, Knasas, Abril, 1987 (apostila)

SAN MARTIN-MARTINEZ, E. Efeito do processo de extrusão na formação de complexos amido-monoglicerídeos. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Tese de Doutorado, Janeiro 1990.

SHACHAT, M.A. Process for making microwave puffed snack production. **UNITED STATES PATENT OFFICE** Patente Nº 4.950.492, 21 de Agosto, de 1990.

SHAMA, F. e SHERMAN, P. Evaluation of some textural properties of foods with the Instron Universal Testing Machine. *J. Texture Studies*, 4:344-352, 1973.

SHORT, J.R. MILLING COMPANY. Folder ilustrativo do Research and Development Laboratories. P.O. Box Grinnell Road, Kankakee, IL 60901 USA, 1991.

SINGER, N.S, BELTRAN, E.G. Process of making a snack product. UNITED STATES PATENT OFFICE. Patente N° 3502479, 24-Março 1970.

STANLEY, D.W. Chemical and structural determinants of texture of fabricated foods. Food Technol., 40(3):65-68, 76, 1986.

TECHNICON INDUSTRIAL SYSTEMS, Inc. Tarrytown, NY. Method N° SF4- 0046FA8. s/d. Texas A&M University. Apostila Universitária.

VAN DE KAMER, J.H. e VAN GINKEL, L. Rapid determination of crude fiber in cereals. Cereal Chemistry, St. Paul, 29(4): 239-51, 1952.

VILLARD M.J. Method for preparing sheeted fried snack products. UNITED STATES PATENT OFFICE, N° 4.770.891, 13 de Setembro de 1988.

WALKER, C.E., ROSS, A.S., WRIGLEY, C.W. e McMASTER, G.J. Accelerated characterization of starch-paste viscosity and set-back with Rapid Visco-Analyzer. Cereal Foods World, 33:491, 1988.

WHISTLER, R.L. e PASCHALL, E.F. Starch chemistry and technology. New York, Academic Press, 1967. v.1 e v.2.

WILKINSON, R.J. e SHORT, A.T. Method for making puffable food products from corn and products produced therefrom. United States Patent, N° 4.844.937, Jul. 4, 1989.

YEN, G.C. LEE, T.C. e CHICHESTER, C.O. Effect of maillard browning reaction on the chemical properties of various proteins. In: Protein Quality and the Effects of Processing, PHILLIPS, R.D. e FINLEY, J.W. Editores, Marcel Dekker, New York, 1988.

ANEXO

FIGURA 1. Ficha modelo empregada para avaliação da preferência dos "snacks"

Nome _____ Data: _____

PRODUTO "SNACKS"

Você vai analisar _____ amostras de _____

Por favor, avalie cada amostra para cada atributo, quanto à preferência.

1. TEXTURA

Desgostei muito	_____	_____	_____
Desgostei regularmente	_____	_____	_____
Desgostei ligeiramente	_____	_____	_____
Não desgostei nem gostei	_____	_____	_____
Gostei ligeiramente	_____	_____	_____
Gostei regularmente	_____	_____	_____
Gostei muito	_____	_____	_____

2. SABOR

Desgostei muito	_____	_____	_____
Desgostei regularmente	_____	_____	_____
Desgostei ligeiramente	_____	_____	_____
Não desgostei nem gostei	_____	_____	_____
Gostei ligeiramente	_____	_____	_____
Gostei regularmente	_____	_____	_____
Gostei muito	_____	_____	_____

3. PREFERÊNCIA GERAL DO PRODUTO

Desgostei muito	_____	_____	_____
Desgostei regularmente	_____	_____	_____
Desgostei ligeiramente	_____	_____	_____
Não desgostei nem gostei	_____	_____	_____
Gostei ligeiramente	_____	_____	_____
Gostei regularmente	_____	_____	_____
Gostei muito	_____	_____	_____

Comentários:

FIGURA 2. Ficha modelo empregada para avaliação da aceitabilidade dos "snacks"

ACEITABILIDADE DOS "SNACKS"						
NOME: _____			DATA: _____			
IDADE: _____			SEXO: _____			
<p>Você está recebendo uma amostra de "snack" que está sendo testada. Prove e responda as seguintes questões:</p>						
<p>1. Você gostou do sabor?</p>						
Gostou muito	Gostou moderadamente	gostou ligeiramente	Não gostou nem desgostou	Desgostou ligeiramente	Desgostou moderadamente	Desgostou muito
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
<p>2. Você gostou da crocância?</p>						
Gostou muito	Gostou moderadamente	gostou ligeiramente	Não gostou nem desgostou	Desgostou ligeiramente	Desgostou moderadamente	Desgostou muito
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
<p>3. Você compraria esse produto?</p>						
Sim		Não		Talvez		
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]

ANEXO

TABELA 1. Desenho experimental apresentando o esquema "Split-split plot". "aleatorizado"

Formula	FIA	FIB	FIIA	FIIB	FIIA	FIIB	FIVA	FIVB
Nº de identificação	1	2	3	4	5	6	7	8
Tratamento Nº	1	2	3	4	5	6	7	8
"Aleatorização" tipo "split-split plot"								
Identificação da formula	5	4	7	1	6	8	3	2
1º Umidade	1	4	3	2	4	3	2	1
1º Temperatura	3	3	1	2	1	1	1	3
2º Temperatura	2	1	3	3	3	3	2	2
3º Temperatura	1	2	2	1	2	2	3	1
2º Umidade	4	1	1	4	1	2	3	3
1º Temperatura	1	1	3	1	1	3	2	1
2º Temperatura	2	3	2	2	2	1	1	3
3º Temperatura	3	2	1	3	3	2	3	2
3º Umidade	2	2	4	3	2	1	4	2
1º Temperatura	2	3	1	3	2	1	2	1
2º Temperatura	3	1	2	2	3	3	3	3
3º Temperatura	1	2	3	1	1	2	1	2
4º Umidade	3	3	2	1	3	4	1	4
1º Temperatura	2	1	2	2	3	3	1	1
2º Temperatura	3	3	1	3	1	1	3	2
3º Temperatura	1	2	3	1	2	2	2	3

(FI, FII, FIII e FIV = Fórmulas , A e B = corresponde às repetições)

ANEXO

TABELA 2. Efeito das condições de extração nas propriedades tecnológicas dos produtos intermediários (half-products). (valores médios obtidos de três repetições)¹

K E Y	I D	F	U		D		I		T		S		R	
			M	E	E	K	A	S	E	E	V	A		
			I	M	N	A	A	A	X	E	E	A		
			D	P	S				T					
			%	°C	g/cm ³	g/g	B		Kg/mm	mg/g	UVA			
4	1	1,83333	20	125	0,35667	8,15000	16,5500	447,600	7177,77	143,000				
4	1	1,83333	20	135	0,42333	6,27667	17,7333	314,300	7272,83	174,667				
4	1	1,83333	20	145	0,43333	6,17333	17,6033	404,767	7153,06	151,667				
4	1	1,83333	25	125	0,30333	6,20667	13,6067	507,700	7158,83	233,667				
4	1	1,83333	25	135	0,62333	6,19667	14,3700	474,467	7132,57	199,667				
4	1	1,83333	25	145	0,55333	6,47333	11,4567	512,500	7167,57	202,667				
4	1	1,83333	30	125	0,30667	6,18667	9,8533	574,367	7648,57	256,333				
4	1	1,83333	30	135	0,28667	6,38333	10,5567	651,700	7568,00	265,667				
4	1	1,83333	30	145	0,39000	6,31333	10,8600	492,600	7579,07	273,667				
4	1	1,83333	35	125	0,37000	6,45667	8,6033	473,500	7320,23	367,000				
4	1	1,83333	35	135	0,55000	5,56333	4,5233	619,433	7537,17	370,333				
4	1	1,83333	35	145	0,49333	5,19333	11,5067	536,533	7482,97	400,000				
8	2	1,83333	20	125	0,33000	6,46667	6,4200	607,300	6257,7	287,000				
8	2	1,83333	20	135	0,35000	6,66000	7,3733	552,300	6247,37	228,667				
8	2	1,83333	20	145	0,31667	6,56333	5,4467	519,500	6237,83	254,000				
8	2	1,83333	25	125	0,44667	5,50333	5,5600	321,400	6548,97	387,000				
8	2	1,83333	25	135	0,37667	6,37333	6,2267	402,233	6467,33	330,333				
8	2	1,83333	25	145	0,38000	6,55333	6,2800	436,000	6485,33	343,333				
8	2	1,83333	30	125	0,36333	5,28667	5,5000	373,167	6260,70	402,667				
8	2	1,83333	30	135	0,34667	4,68333	11,3033	383,867	6165,67	418,667				
8	2	1,83333	30	145	0,52667	4,72000	7,9567	320,500	6251,33	428,333				
8	2	1,83333	35	125	0,28333	4,59000	6,2500	573,300	6158,73	232,333				
8	2	1,83333	35	135	0,23333	4,54000	11,2567	687,800	6171,93	312,333				
8	2	1,83333	35	145	0,19000	4,75000	15,3967	712,167	6122,68	260,667				
7	3	1,12500	20	125	0,31667	6,50000	6,3000	499,300	7173,00	246,000				
7	3	1,12500	20	135	0,32333	6,30667	4,1867	468,533	7004,97	267,667				
7	3	1,12500	20	145	0,29333	7,41000	2,7100	578,200	7042,00	223,667				
7	3	1,12500	25	125	0,36667	5,61667	2,5067	406,933	7281,17	317,000				
7	3	1,12500	25	135	0,43667	5,53333	4,5067	394,300	7165,30	364,000				
7	3	1,12500	25	145	0,37333	5,74333	2,4500	364,667	7281,83	383,667				
7	3	1,12500	30	125	0,39333	5,17000	2,6133	358,200	7059,40	379,333				
7	3	1,12500	30	135	0,51667	4,91667	3,4267	368,633	7061,33	379,000				
7	3	1,12500	30	145	0,48667	5,11333	2,8833	345,500	7150,33	373,667				
7	3	1,12500	35	125	0,27000	5,10333	3,5033	687,500	6985,70	308,667				
7	3	1,12500	35	135	0,22333	5,25333	2,3567	703,033	7148,55	332,000				
7	3	1,12500	35	145	0,32333	4,92667	8,3667	600,800	6263,17	276,333				
2	4	1,12500	20	125	0,37333	6,38667	6,4733	444,067	6433,93	138,667				
2	4	1,12500	20	135	0,42667	6,38333	8,7367	368,467	6149,23	115,667				
2	4	1,12500	20	145	0,47333	5,39667	13,7067	445,700	6260,13	123,667				
2	4	1,12500	25	125	0,27000	5,97667	10,3333	686,333	6237,10	162,667				
2	4	1,12500	25	135	0,32000	6,50667	4,5867	654,667	6257,33	204,667				
2	4	1,12500	25	145	0,28333	6,80667	9,8433	614,367	6146,30	171,333				
2	4	1,12500	30	125	0,28667	5,62000	6,4467	661,267	6266,43	232,333				
2	4	1,12500	30	135	0,20000	5,90667	4,3867	638,600	6120,92	270,667				
2	4	1,12500	30	145	0,19000	5,72333	5,3500	674,433	6176,60	222,667				
2	4	1,12500	35	125	0,28667	5,57000	3,1633	579,100	6276,67	252,333				
2	4	1,12500	35	135	0,33667	5,49333	7,3767	576,067	6164,63	264,000				
2	4	1,12500	35	145	0,32000	5,51000	8,7233	563,067	6277,37	240,000				
1	5	0,41667	20	125	0,44333	5,83333	6,8879	389,933	7160,90	73,667				
1	5	0,41667	20	135	0,31000	4,59333	8,5637	498,867	7362,63	97,667				
1	5	0,41667	20	145	0,26333	4,64667	12,5744	587,833	7276,17	155,000				
1	5	0,41667	25	125	0,55333	5,42000	11,4930	290,333	7338,70	128,333				
1	5	0,41667	25	135	0,43667	5,67667	6,6269	360,767	7131,27	181,333				
1	5	0,41667	25	145	0,52000	5,77667	6,8196	334,300	7182,23	116,333				
1	5	0,41667	30	125	0,40667	4,31333	6,8195	499,700	7261,57	278,667				
1	5	0,41667	30	135	0,42000	3,94667	6,1128	570,500	7351,73	228,000				
1	5	0,41667	30	145	0,45000	3,41000	4,7871	463,600	7067,27	120,000				
1	5	0,41667	35	125	0,30333	3,71333	7,9927	669,033	7161,34	140,333				
1	5	0,41667	35	135	0,26333	4,53000	8,9370	576,867	6270,40	181,333				
1	5	0,41667	35	145	0,26333	3,52667	3,6701	590,867	7083,63	145,333				
5	6	0,41667	20	125	0,34667	5,88333	3,6700	537,733	7064,43	176,000				

¹ Continua na página seguinte

5	6	0,41667	20	135	0,31000	7,46000	2,5933	663,567	7037,40	135,000
5	6	0,41667	20	145	0,32667	7,42000	4,3967	585,000	7032,67	131,667
5	6	0,41667	25	125	0,33000	4,80000	2,7267	528,667	7142,23	271,000
5	6	0,41667	25	135	0,37667	5,55000	3,6000	582,967	7300,00	259,000
5	6	0,41667	25	145	0,47000	4,60000	8,6133	483,300	7252,50	275,000
5	6	0,41667	30	125	0,42667	4,43333	3,3200	387,433	5083,50	243,667
5	6	0,41667	30	135	0,40667	4,48667	3,2800	366,700	7323,07	272,667
5	6	0,41667	30	145	0,32667	4,25667	4,5300	354,833	7160,23	264,333
5	6	0,41667	35	125	0,40667	4,47333	5,3933	379,167	6161,77	244,000
5	6	0,41667	35	135	0,36000	4,67333	2,3200	446,700	6245,27	247,000
5	6	0,41667	35	145	0,39667	4,33667	4,4400	423,433	6047,37	245,000
3	7	0,06250	20	125	0,62333	5,52333	5,3967	335,667	7159,05	101,333
3	7	0,06250	20	135	0,55333	6,89000	11,2500	402,000	7060,97	106,000
3	7	0,06250	20	145	0,50000	6,60000	3,6533	287,933	7030,46	108,000
3	7	0,06250	25	125	0,30667	6,91333	6,1933	441,633	7051,48	88,667
3	7	0,06250	25	135	0,45000	7,38667	5,6467	269,867	7167,93	91,000
3	7	0,06250	25	145	0,33333	6,74000	7,5500	412,100	7043,17	77,000
3	7	0,06250	30	125	0,38333	5,33667	13,2700	499,567	7157,14	108,667
3	7	0,06250	30	135	0,29667	5,16667	10,4567	528,433	7069,63	127,667
3	7	0,06250	30	145	0,38667	5,85667	5,7400	516,667	7173,37	134,667
3	7	0,06250	35	125	0,29800	4,60333	9,6233	569,667	7135,70	165,000
3	7	0,06250	35	135	0,42667	4,26667	12,7000	470,967	7244,90	210,667
3	7	0,06250	35	145	0,34667	5,27667	2,9467	471,800	7157,30	199,333
6	8	0,06250	20	125	0,35667	5,60333	2,6400	465,100	6173,84	115,333
6	8	0,06250	20	135	0,54667	5,56667	3,5767	282,067	6061,53	115,667
6	8	0,06250	20	145	0,53000	6,30667	3,5633	323,033	6240,50	105,667
6	8	0,06250	25	125	0,36333	5,17000	5,5600	477,200	7354,03	229,333
6	8	0,06250	25	135	0,28000	5,18000	3,2233	460,100	7169,07	241,667
6	8	0,06250	25	145	0,31667	4,47667	3,6533	444,500	7251,07	233,667
6	8	0,06250	30	125	0,48667	3,66667	7,5367	291,233	7255,03	185,333
6	8	0,06250	30	135	0,50667	4,43667	4,5667	283,567	7161,63	185,667
6	8	0,06250	30	145	0,51333	4,40333	3,4400	291,330	7235,72	193,000
6	8	0,06250	35	125	0,54667	4,14333	5,7600	255,533	7051,57	196,333
6	8	0,06250	35	135	0,57667	3,82667	5,5833	244,067	7154,59	195,000
6	8	0,06250	35	145	0,34667	4,45333	4,3867	412,700	7283,61	193,667

-
- KEY = Identificação da batelada
- ID = Identificação da fórmula
- F = Valor proporcional da fórmula (amido de mandioca: farinha de milho)
- UMID = Umidade da mistura durante o processamento (%)
- TEMP = Temperatura de Extrusão (°C)
- DENS = Densidade aparente (g/cm³)
- IAA = Índice de absorção de água (g gel/g matéria seca)
- ISA = Índice de solubilidade em água (%)
- TEXT= Textura no instron (energia no ponto de quebra, Kg/mm)
- SE = Susceptibilidade enzimática (mg de amido susceptível/g de amostra)
- RVA = Viscosidade no Rapid Visco Amylograph (Unidades Viscoamilográficas)