

IX congresso ibérico de
AGROENGENHARIA
IX congresso ibérico de
AGROINGENIERÍA

livro de atas · libro de actas

organização · organización



Sociedad Española de Agroingeniería

IX Congresso Ibérico de Agroengenharia

IX Congreso Ibérico de Agroingeniería

Livro de Atas

Libro de Actas

Valorização de produtos na produção de extrudidos

Altino Choupina¹, Maria de Fátima Lopes-da-Silva², Luís Santos³, Luísa Beirão-da-Costa⁴

¹Centro de Investigação de Montanha (CIMO) e Dep.^{to} de Biologia e Biotecnologia da Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança; albracho@ipb.pt

²Centro de Investigação de Montanha (CIMO) e Dep.^{to} de Produção e Tecnologia Vegetal da Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança; lopes.silva@ipb.pt

³Dep.^{to} de Produção e Tecnologia Vegetal da Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança; lsantos@ipb.pt

⁴Dep.^{to} de Agro Industria e Agronomia Tropical / Secção de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto Superior de Agronomia, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa; lbeirao@isa.utl.pt

Resumo

Constituiu objetivo deste trabalho estudar a possibilidade tecnológica de produção de extrudidos à base de farinha de castanha. Delineou-se um plano experimental do processo de extrusão-cozedura, considerando três factores (X1, X2 e X3), cinco níveis para cada fator (0; 1; 1; 1,68179; -1,68179) e seis réplicas do ponto central (0). Numa extrusora de parafuso simples, fizeram-se variar parâmetros como a proporção das matérias-primas, milho (M) e castanha (C) –80M:20C; 64M:36C; 40M:60C; 16M:84C; 0M:100C; o teor de humidade (%) das misturas a processar – 12, 14, 16, 18 e 20; e a temperatura de processamento (°C) – 150, 164, 185, 205 e 220. Avaliaram-se comparativamente as características dos produtos extrudidos obtidos nas diversas combinações das farinhas de milho e de castanha, nas múltiplas condições ensaiadas, através das modificações funcionais dos amidos, designadamente, pelo comportamento amilográfico, e por avaliação instrumental da textura, através de parâmetros como a taxa de expansão, a força de ruptura e a energia de ruptura. Com base nestes resultados estabeleceu-se, numa segunda fase, um novo plano, substituindo a variável X3 (% de incorporação de castanha) pela velocidade do parafuso (r.p.m.) - 120, 155, 170, 185 e 220 – mantendo-se fixa a composição (100% castanha). A farinha de castanha apresenta uma baixa temperatura de gelatinização (59 °C), e elevada consistência nas suas pastas. Verificou-se que o seu amido - que constitui cerca de 49%, em base seca – apresenta uma relação amilose/amilopectina de 0,75, que é superior à da maioria dos cereais, como o milho ensaiado (cerca de 0,32). As maiores alterações ocorreram nas matérias-primas com baixos teores de humidade e a temperaturas de extrusão elevadas. O comportamento amilográfico das diversas misturas e as características de textura dos produtos extrudidos mostraram que a farinha de castanha tem potencial para ser utilizada como ingrediente na formulação de produtos por extrusão.

Palavras-chave: Extrusão, Castanha, Amido, Farinhas.

Valuation of products in extreme production Abstract

The goal of this work was to study the technological possibilities of production of extrudates based on chestnut flour. An experimental plan of the extrusion process was drawn, considering three factors (X1, X2 and X3), with five levels for each factor (0; 1; 1,68179; -1,68179) and six replicates for the center point (0). In a single-screw extruder, were varied parameters such as the proportion of raw materials, corn (M) and chestnut flours (C) - 80M: 20C; 64M: 36C; 40M: 60C; 16M: 84C; 0M: 100C; the moisture content (%) of the blends to be processed - 12, 14, 16, 18 and 20; and the processing temperature (° C) - 150, 164, 185, 205 and 220. The characteristics of the extruded products obtained in the various combinations of maize and chestnut flour in the multiple conditions tested were evaluated by means of the functional modifications of starches, namely by the amilographic behaviour, and by instrumental evaluation of the texture, through parameters such as expansion rate, rupture force and rupture energy. On the basis of these results, a new plan was established, which basically differed from the first one by the substitution of variable X3 (% of nut incorporation) by screw speed (rpm) - 120, 155, 170, 185 and 220 - keeping the composition (100% chestnut) fixed. Chestnut flour has a relatively low gelatinization temperature (59 °C), and high consistency in its pastes. Its starch - which constitutes about 49% on a dry basis - has been found to have an amylose / amylopectin ratio of 0,75, which is higher than that of most cereals, such as maize tested (about 0,32). The major changes occurred in raw

materials with low moisture content and processed with high extrusion temperatures. The amylographic behaviour of the various blends and the texture characteristics of the extruded products showed that chestnut flour has potential to be used as an ingredient in the formulation of foods by extrusion-cooking.

Key-words: Extrusion, Chestnut, Starch, Flours.

1. Introdução

Portugal é um dos maiores produtores europeus de castanha, com a região de Trás-os-Montes apresentando a maior produção, de 86% das 35 000 t produzidas em Portugal (INE, 2011).

Apesar de já existirem no mercado diversos produtos alimentares à base de castanha, designadamente, castanha ultracongelada, doces de castanha, castanha confitada e diversos produtos de pastelaria que incorporam castanha como ingrediente, esta matéria-prima tem ainda potencial para obtenção de novos produtos, recorrendo a tecnologias de processamento que ainda não foram utilizadas neste fruto como, por exemplo, a extrusão-cozedura.

A extrusão é uma etapa de processamento de matéria-prima sólida que junta num único equipamento (extrusora), várias operações unitárias e modificações físico-químicas, como mistura, cozedura, batedura, corte, moldagem, gelatinização, fusão, torra, caramelização, secagem e esterilização, e processos como a texturização, culminando na saída do respetivo produto através de um orifício (Lopes-da-Silva *et al*, 2015). De entre as suas vantagens, salienta-se a elevada produtividade, a ausência de produção de efluentes, a eficiência energética e a elevada diversidade de produtos obtidos, permitindo a valorização de lotes de matérias-primas de categorias de menor valor, por redução a farinha, seguida da obtenção de produtos a partir desta por extrusão-cozedura.

Este estudo pretendeu avaliar as possibilidades da utilização de farinha de castanha em extrusão-cozedura, avaliando alterações físico-químicas e funcionais do amido de castanha e caracterizando os produtos obtidos, face às modalidades tecnológicas ensaiadas.

2. Metodologia

Foram utilizados como matérias-primas “grits” de milho e castanha pilada, ambos adquiridos no comércio. As farinhas de castanha empregues nos ensaios de extrusão foram obtidas após trituração em moinho (Armfield, cat. ref. FT2), utilizando um crivo 0,71 mm de malha. O mesmo moinho foi usado posteriormente para moer os produtos extrudidos, com crivo de malha 0,42 mm.

A operação de extrusão iniciou-se pela pré-mistura dos ingredientes, incluindo o acerto de humidade das misturas de farinhas de castanha com ou sem milho, de acordo com o estabelecido no delineamento experimental correspondente e com a humidade original das farinhas. A água foi adicionada paulatinamente à mistura, que era agitada num misturador, de modo a que adquirisse uma boa homogeneização. Após este procedimento as diversas combinações foram estabilizadas em contentores selados à temperatura ambiente por um período de 24 h antes de serem processadas.

Ensaiou-se a produção dos produtos extrudidos com o uso de extrusora laboratorial de parafuso simples (Brabender, 20 DN), com taxa de compressão 3:1, velocidade de alimentação de 40 r.p.m. e diâmetro interno do orifício de saída de 3 mm, fazendo variar parâmetros como a velocidade do parafuso, a proporção das matérias-primas, milho (M) e castanha (C), o teor de humidade (%) das misturas a processar e a temperatura de processamento. Nas três zonas da extrusora, as temperaturas eram: na secção de alimentação de 150°C; nas secções de compressão e de cozedura as temperaturas eram idênticas, em ambas variando entre 150 e 220 °C.

Após a extrusão, os produtos extrudidos foram embalados em sacos de plástico, sob vácuo, a fim de evitarem alterações de humidade até serem moídos para posteriores análises.

O teor de humidade das matérias-primas foi determinado por gravimetria após dessecação em estufa a 100-105 °C, até massa constante.

Determinou-se o teor de amido nas farinhas de castanha e de milho, bem como nas farinhas obtidas pela moagem dos extrudidos, utilizando-se o método polarimétrico de Lintner (AOAC, 1999). Os valores finais foram obtidos da seguinte forma: % de amido = leitura polarimétrica (em grau) x 10.

A determinação da relação amilose/amilopectina nos amidos de castanha e de milho foi levada a cabo por cromatografia de filtração sobre gel, tendo sido empregue o gel Sepharose CL-2B (Pharmacia Fine Chemicals) e, como eluente, uma solução 0,02% (v/v) de NaN_3 à taxa de $0,5 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$, garantida por bomba peristáltica (LKB Bromma 2232 Microperpex S) ligada a um detetor (LKB Bromma 2138 Uvicord S). Para a estimativa das massas moleculares dos fragmentos dos diversos amidos usaram-se três padrões de dextrano. As amostras, após agitação em DMSO a 90% (v/v), foram aquecidas em banho-maria a 96°C , arrefecidas em banho a 25°C . De cada uma delas retirou-se uma alíquota, misturou-se em etanol a 95% para precipitar o amido, que foi redissolvido em água destilada e centrifugado. Do sobrenadante recolhido, 5 ml foi aplicado na coluna.

A taxa de expansão dos produtos extrudidos foi calculada pela razão entre o diâmetro dos produtos extrudidos (medido por craveira) e o diâmetro do orifício de saída da extrusora.

A consistência das pastas de farinha de castanha, milho e produtos extrudidos foi determinada num amilógrafo (Brabender, Duisburg). Este viscosímetro de torsão regista as variações de consistência devidas a um aumento gradual da temperatura. A execução prévia de vários ensaios determinou uma percentagem de amido na suspensão a introduzir no aparelho de 8,5%. Os ensaios foram conduzidos até 92°C , seguindo-se o arrefecimento, a uma taxa controlada de $1,5^\circ\text{C}/\text{min}$, até 20°C .

Na determinação instrumental dos parâmetros de textura dos produtos de extrusão usou-se um texturómetro (Stable Micro Systems, TAX-T2) com uma célula do tipo Warner-Bratzler. Os parâmetros escolhidos para o teste de compressão, que se baseia na tensão à ruptura das amostras, foram os seguintes: taxa de deformação = 5 mm s^{-1} , distância de penetração = 10 mm; *trigger point* = 10 g; limite de detecção de força = 5 g; *distance threshold* = 0,5 mm; *force scaling* = 100 g; *distance scaling* = 10 mm; pontos por segundo = 50; área de contacto = $0,8 \text{ mm}^2$; força de contacto = 10 g. O texturómetro foi calibrado com um peso de 5 kg e a célula foi centrada em relação ao suporte da amostra. As amostras foram colocadas perpendicularmente ao eixo de corte da célula, cujo ângulo de corte é de aproximadamente 6° . Obtiveram-se gráficos Força vs Distância, a partir dos quais foram determinados os valores relativos ao pico (Força de ruptura, N), área (Energia de ruptura, N.mm), largura da base (mm), primeiro gradiente (N/m), segundo gradiente (N/m) e distância de meia altura (mm), obtendo-se os valores médios e desvios-padrão de cinco repetições de cada amostra.

O delineamento experimental do processo de extrusão-cozedura teve por base uma matriz fatorial composta, por 3 fatores, cinco níveis para cada fator e seis réplicas do ponto central (Tabela 1).

Numa primeira fase, foi definido um ensaio experimental, que incluía diferentes incorporações de farinha de castanha à farinha de milho (ensaio A – Tabela 2).

Numa segunda fase, com base no mesmo delineamento, fixou-se o teor de castanha em 100%, passando os fatores a testar a serem a percentagem de humidade, a temperatura e a velocidade do parafuso da extrusora (ensaio B - Tabela 3).

O tratamento estatístico dos resultados dos amilogramas e dos resultados de textura seguiu a Metodologia das Superfícies de Resposta (RSM), depois dos resultados obtidos nos ensaios terem sido sujeitos às análises de regressão múltipla pelo método Phillip Corridan's PC Statistic Package.

Tabela 1 – Delineamento experimental, para três fatores (X_1 , X_2 , X_3), com cinco níveis para cada fator (-1,68179; -1; 0; +1; +1,68179) e seis réplicas do ponto central

	Fatores	Níveis		
		X_1	X_2	X_3
Fatores: X_1 = Humidade (%) X_2 = Temperatura (°C) X_3 = Incorporação de castanha, % (ensaio A) ou Velocidade do parafuso, r.p.m. (ensaio B) Níveis: 0 = ponto central +1,68179= nível superior -1,68179 = nível inferior $+1 = 0 + (\Delta/2)/\sqrt{p}$ $+1 = 0 + (\Delta/2)/\sqrt{p}$ Sendo Δ = amplitude e $p = n^{\circ}$ fatores	Bloco 1	-1	-1	-1
		-1	+1	+1
		+1	-1	+1
		+1	+1	-1
		0	0	0
		0	0	0
	Bloco 2	-1	-1	1
		-1	+1	-1
		+1	-1	-1
		+1	+1	+1
		0	0	0
		0	0	0
	Bloco 3	+1,68179	0	0
		-1,68179	0	0
		0	+1,68179	0
		0	-1,68179	0
		0	0	+1,68179
		0	0	+1,68179
		0	0	0

Tabela 2 – Níveis estabelecidos, com variação da incorporação de castanha

Fatores	Níveis				
	-1,68179	-1	0	1	1,68179
X_1 (Humidade, %)	12,00	13,62	16,00	18,38	20,00
X_2 (Temperatura, °C)	150,0	164,2	185,0	205,8	220
X_3 (Incorporação de castanha, %)	20,0	36,2	60,0	83,78	100,00

Tabela 3 – Níveis estabelecidos, mantendo a percentagem de incorporação de castanha a 100%

Fatores	Níveis				
	-1,68179	-1	0	1	1,68179
X_1 (Humidade, %)	10,0	11,6	14,0	16,5	18,0
X_2 (Temperatura, °C)	150,0	160,1	175,0	189,9	200,0
X_3 (Velocidade do parafuso, rpm)	120,0	155,1	170,0	184,9	220,0

3. Resultados e Discussão

Caracterização das matérias-primas

O teor de amido (base seca) na farinha de castanha usada na extrusão foi de 48,9%. Quanto à razão amilose/amilopectina, para a mesma farinha, foi de 0,75 (43% amilose e 57% amilopectina), enquanto na farinha de milho usada esta relação foi de 0,32 (24% amilose e 76% de amilopectina).

A Figura 1 mostra os perfis amilográficos obtidos a partir das várias combinações das matérias-primas.

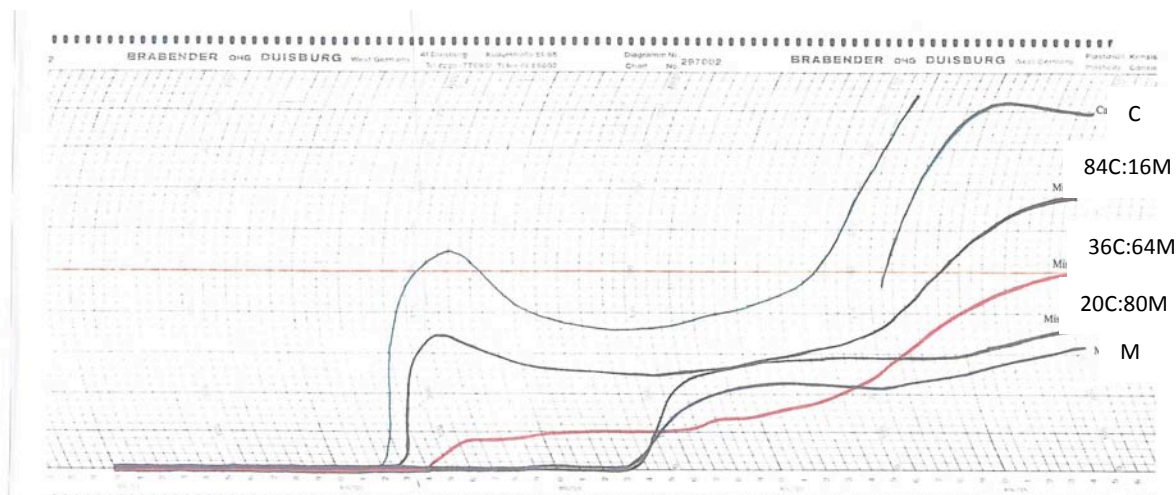


Figura 1 – Amilogramas das matérias – primas usadas na extrusão

A observação destes amilogramas mostra que, para uma mesma concentração de amido, o início de gelatinização da farinha de castanha ocorre mais cedo relativamente às outras matérias-primas (Tabela 4). O início de gelatinização vai sendo retardado à medida que a incorporação de castanha diminui e a de milho aumenta, sendo o início mais tardio na curva correspondente ao milho. É de salientar o valor da temperatura de início de gelatinização de castanha, 59°C, comparativamente com a do milho, 70°C. Esta observação vem de encontro ao que já se referiu na caracterização química quanto à relação amilose/amilopectina encontrada. De facto, iniciando-se o aumento de volume nas zonas mais desorganizadas, amorfas e intercristalinas dos grânulos, ou seja, nas regiões onde predomina a amilose, é de esperar que o amido de castanha apresente o início mais precoce de gelatinização e que este seja antecipado à medida que aumenta a incorporação de castanha.

Pelo mesmo motivo se compreendem os valores obtidos nos amilogramas para a consistência máxima, os quais, de uma forma geral, decrescem à medida que diminui a incorporação de castanha, sendo mínima para o milho.

Tabela 4 – Temperatura de início de gelatinização, consistência máxima (Unidades Brabender, U.B.) e temperatura a que se alcança para as combinações ensaiadas de matérias-primas

Matérias-primas	Temperatura de início de gelatinização (°C)	Consistência máxima (U.B.)	Temperatura no máximo de consistência (°C)
Castanha	59	545	61
Mistura 84%C + 16%M	60	340	63
Mistura 36%C + 64%M	63	100	68
Mistura 20%C + 80%M	69	280	67
Milho	70	230	72

Há portanto um aumento do fenómeno de lixiviação das moléculas de amilose à medida que se passa de milho para incorporações crescentes de castanha. Isto também poderia ser explicado pela

maior dilatação que os grânulos de amido de castanha sofrem no processo de gelatinização face aos grânulos de amido de milho, constatada por observação microscópica (dados não exibidos).

A quebra na consistência que se verificou após o registo do pico máximo, normalmente denominada liquefação do amido, foi mais acentuada na castanha. Esta quebra é devida à orientação das moléculas solúveis no sentido do escoamento (fase de reofluidificância).

Posteriormente, as moléculas de amilose que foram lixiviadas dos grânulos de amido têm tendência a reassociarem-se, ligando-se fortemente entre si por ligações de hidrogénio. Em soluções relativamente concentradas e - como é o caso da castanha - com elevado teor de amilose, isto conduz à formação de um gel "emborrachado", e posteriormente à saída de água do gel (sineresis) à medida que as ligações de hidrogénio aumentam e o gel se contrai. À medida que o gel arrefece, as cadeias tornam-se menos energéticas e as pontes de hidrogénio mais fortes, resultando um gel mais firme, que se traduz num aumento da consistência (Tabela 5).

Tabela 5 – Consistência na fase "set-back" (Unidades Brabender) para as diferentes matérias-primas

Matérias-primas	Consistência no "set-back" (U.B.)
Castanha	1380
Mistura 84%C + 16%M	685
Mistura 36%C + 64%M	495
Mistura 20%C + 80%M	360
Milho	320

Como seria de esperar, face aos resultados anteriormente obtidos, também a consistência após arrefecimento, ou seja, a retrogradação do amido, é muito mais acentuada no caso da castanha já que, sendo quantitativamente menores as zonas cristalinas, menos importância terão estas zonas para a estrutura do gel e mais acentuada a libertação de água para o exterior.

Caracterização dos produtos extrudidos

RSM dos parâmetros amilográficos

A partir dos amilogramas dos produtos extrudidos obtiveram-se os valores da consistência correspondentes a: consistência inicial a 20°C, consistência a 92°C e consistência no "set-back". Procedeu-se à determinação da equação matemática que melhor descreve a relação entre os fatores e a resposta, e dos seus coeficientes. O modelo resultante foi testado quanto ao seu grau de ajustamento, sendo a análise da superfície de resposta dada em termos da superfície mais ajustada.

Em função do valor do coeficiente de correlação (R^2) fez-se uma seleção dos resultados de RSM, tendo-se considerado, no ensaio experimental em que variava a percentagem de castanha, resultados a 20°C, a 92°C e no "set-back". No ensaio experimental exclusivamente com farinha de castanha apenas os resultados a 20°C (tabela 6). Os resultados de RSM correspondentes à consistência a 92°C e no "set-back" apresentam R^2 de 0,59 e 0,52, respetivamente. Estes valores de correlação, por serem baixos, não justificaram uma avaliação.

Tabela 6 – Equações de regressão correspondentes aos valores de resposta nos produtos extrudidos e respectivos valores de R^2

Resposta	Equação de regressão	R^2
Consistência a 20°C (U.B.)	$Y = 292,94 + 102,71 X_1 - 191,80 X_3 + 58,91 X_1^2 + 68,63 X_3^2$ (ensaio A)	0,90
	$Y = 559,48 + 74,67 X_1 + 127,79 X_2$ (ensaio B)	0,79
Consistência a 92°C (U.B.)	$Y = 12,58 - 40,62 X_3 + 23,36 X_1^2 + 14,52 X_2^2 + 13,63 X_3^2 - 15,62 X_1 X_2$ (ensaio A)	0,89
Consistência no "set-back" (U.B.)	$Y = 116,68 - 60,33 X_3 + 39,43 X_1^2$ (ensaio A)	0,71
Taxa de expansão	$Y = 1,683 - 0,1698 X_1 - 0,293 X_2 - 0,301 X_3 + 0,188 X_1 X_3$ (ensaio A)	0,89
	$Y = 1,683 - 0,173 X_1 - 0,166 X_2$ (ensaio B)	0,86
Força de ruptura (N)	$Y = 4,274 - 2,471 X_2 - 1,227 X_3^2$ (ensaio A)	0,97
	$Y = 2,166 - 0,849 X_1 - 0,891 X_2$ (ensaio B)	0,79
Energia de rutura (N.mm)	$Y = 0,0148 - 0,00442 X_1 - 0,00603 X_2$ (ensaio B)	0,82

Verifica-se que a consistência amilográfica inicial (20°C) dos extrudidos depende linear e quadraticamente da percentagem inicial de humidade, e de uma forma quadrática e linearmente inversa da percentagem de incorporação de castanha. A respetiva equação matemática, sob a forma de um polinómio de 2ª ordem, está traduzida no diagrama da figura 2.

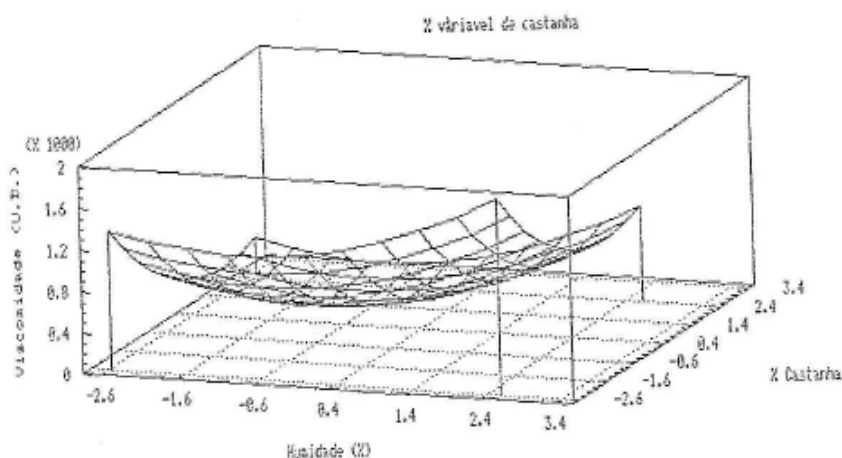


Figura 2 – Diagrama para a consistência a 20°C em função da percentagem de humidade (X_1) e da percentagem de incorporação de castanha (X_3)

A consistência a 20°C toma os maiores valores para humidades mais elevadas e para os menores valores de incorporação de castanha. Os valores mais baixos de consistência registam-se para humidades intermédias e também valores intermédios de castanha incorporada. Este último dado justifica-se porque a castanha possui uma percentagem de amido muito inferior ao milho e, adicionalmente, tem uma razão amilose-amilopectina superior ao milho. Por outro lado, é também sabido que o teor de humidade tem uma significativa influência no processo de gelatinização dos produtos extrudidos, devendo-se isso ao facto dos grânulos de amido exibirem uma maior dilatação e, conseqüentemente, maior desintegração (Atwell, 1986).

Já a consistência a 92°C varia quadraticamente com a temperatura, humidade e percentagem de castanha. Existe também uma interação entre a percentagem de humidade e a temperatura. Podemos constatar que para um mesmo teor de humidade inicial, a consistência amilográfica a 92°C toma os maiores valores para temperaturas de extrusão extremas e percentagens de incorporação de castanha mínimas, o que se compreende porque a castanha possui um teor de amido bastante inferior ao do milho. Os produtos extrudidos a elevadas temperaturas têm uma consistência a 92°C mais elevada, pois o seu ponto de partida (a 20°C) é já mais elevado, porque as temperaturas elevadas provocam um maior grau de gelatinização do amido, e portanto, o perfil global da resposta é mais elevado. As temperaturas mais baixas levaram a uma menor gelatinização do amido dentro da extrusora, de forma que a gelatinização continuou depois no amilógrafo, daí a consistência elevada para estes valores de temperatura. Fixando a incorporação de castanha, os valores mais elevados de consistência (a 92°C) registam-se para temperaturas de extrusão elevadas e simultaneamente humidades baixas, e destas duas variáveis, a percentagem de humidade mostra maior importância que a temperatura de extrusão, o que é também confirmado pelos respectivos coeficientes na equação (Tabela 6).

Quanto à consistência na fase "set-back", a consistência a 92°C varia quadraticamente com o teor de humidade. Nesta fase, a temperatura constante, a consistência amilográfica das farinhas dos ensaios A, toma os valores mais altos para humidades extremas, em simultâneo com a percentagem de incorporação de castanha também extremas. Os amidos com elevado teor de amilose conduzem a baixa viscosidade durante a cozedura e a um gel firme no arrefecimento (Medcalf, 1973). É na capacidade das moléculas lineares de amilose de serem hidratadas, de se dispersarem durante a cozedura e ainda de se reassociarem facilmente no arrefecimento (retrogradação), que resulta a

consistência no "set-back", tomando aqui valores na ordem de 1000 U.B. Em soluções concentradas, a retrogradação conduz à formação de um gel "emborrachado", seguido da exudação da água do gel à medida que aumenta o número de ligações de hidrogénio (sineresis).

Quando se fez a utilização de farinha de castanha a 100% a consistência amilográfica inicial (20°C) dos extrudidos dependia linearmente da percentagem de humidade e da temperatura de extrusão, tomando os valores mais altos para temperaturas de extrusão e humidade elevadas (Figura 3).

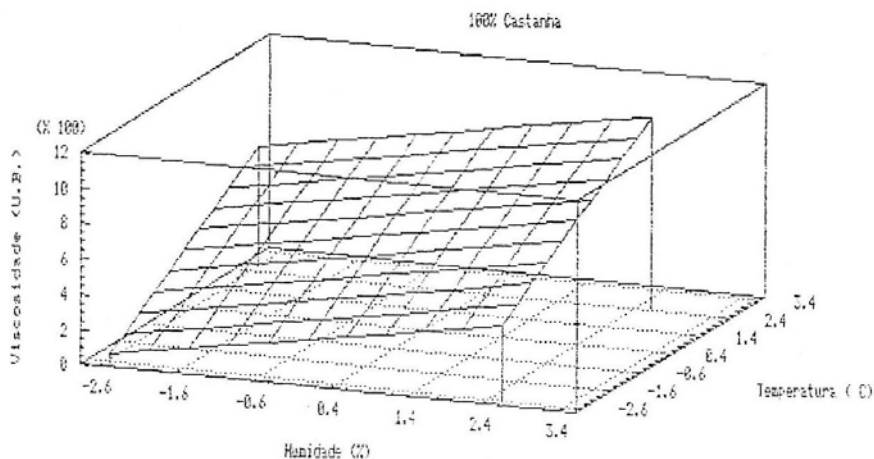


Figura 3 – Diagrama para a consistência a 20°C em função da percentagem de humidade (X_1) e da temperatura na extrusora (X_2)

Verifica-se também que esta consistência tem uma maior dependência da temperatura que da humidade, o que é confirmado pelos coeficientes respetivos na equação (Tabela 6).

Nos ensaios a percentagem de castanha variável, já se tinha constatado que, à medida que o teor de humidade das farinhas para extrusão aumenta, a consistência a 20°C também aumenta, mas aqui, nos extrudidos só de castanha, esse efeito parece ser mais evidente, porque os grânulos de amido de castanha exibem maior dilatação, e portanto, estão mais suscetíveis à desintegração que os grânulos de amido de milho. Por outro lado, este estudo revelou que a castanha uma relação amilose/amilopectina superior à do milho, sendo a amilose a principal responsável pelo aumento da consistência das pastas de amido.

RSM dos parâmetros de textura

Na sequência da avaliação instrumental da textura dos produtos obtidos por extrusão e do seu tratamento estatístico, fez-se uma seleção dos resultados de RSM em função do valor do coeficiente de correlação, R^2 , tendo sido considerados os valores: a) da taxa de expansão, no ensaio experimental A ($R^2=0,89$) e no ensaio experimental B ($R^2=0,86$); b) da força de rutura, no ensaio A ($R^2=0,97$) e no ensaio B ($R^2=0,79$); c) da energia de rutura, no ensaio B ($R^2=0,82$), cujas equações de regressão se apresentam na Tabela 6.

Relativamente à taxa de expansão nos produtos extrudidos obtidos com misturas de castanha e de milho, a mesma varia de uma forma inversamente proporcional com a humidade, a temperatura e a percentagem de incorporação de castanha (Figura 4). A interação positiva detetada entre a humidade e a percentagem de incorporação de castanha atenua o efeito negativo destas duas variáveis.

Assim, a maior taxa de expansão ($2,33 \pm 0,09$) ocorre nos produtos processados com uma temperatura final de 206°C, com 14% de humidade e com 36% de castanha incorporada.

Nos produtos extrudidos só com farinha de castanha, a taxa de expansão também varia de forma inversamente proporcional com a percentagem de humidade e com a temperatura, não dependendo da velocidade do parafuso (X_3) (Figura 5).

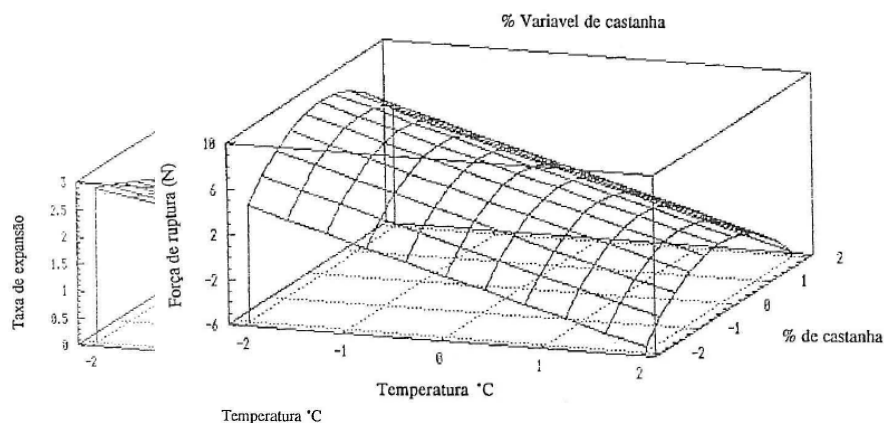


Figura 4 – Diagrama para a taxa de expansão em função da temperatura de extrusão (X_2) e da percentagem de incorporação de castanha (X_3)

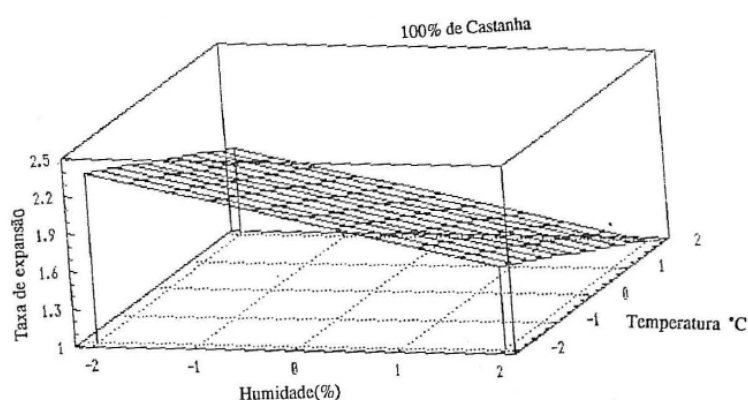


Figura 5 – Diagrama para a taxa de expansão em função da percentagem de humidade (X_1) e temperatura (X_2)

A taxa de expansão atinge valores mais elevados ($1,90 \pm 0,03$) quando o teor de humidade da farinha de castanha é reduzido (10%) e quando a temperatura é baixa (175°C).

A diminuição da taxa de expansão com a percentagem de incorporação de castanha pode ser explicada pelo menor teor de amido desta comparativamente com o milho. A importância do teor de amido na expansão do produto final já tinha sido constatada por Mercier e Feillet (1975) e Linko *et al.*, (1986). A diminuição da taxa de expansão com o aumento do teor de humidade foi também verificada por Gomez e Aguilera (1984) e esta explicação foi complementada por Guy e Horne (1988) quando afirmaram que se o extrudido é demasiado húmido, depois de atravessar o orifício de saída da extrusora pode expandir significativamente, mas contrai-se antes de arrefecer e solidificar criando uma textura muito dura. No ensaio de produtos extrudidos com misturas de milho e castanha, a presença de farinha de milho veio conferir melhores propriedades de expansão, o que é consequência do maior teor em amido, comparativamente com a farinha de castanha.

Assim, verificou-se neste trabalho ser a quantidade e o tipo de amido mais importantes na variação da taxa de expansão do que a humidade da matéria-prima, o que vem corroborar estudos anteriores de Chinnaswamy e Hanna (1988a), os quais também adiantaram que uma maior percentagem de amilose no amido exige uma maior temperatura de extrusão para se obterem produtos extrudidos mais valorizados pelos consumidores.

Quanto ao parâmetro força de rutura, nos produtos extrudidos com misturas de castanha e de milho, para uma dada percentagem de humidade a força de rutura varia de forma inversamente proporcional com a temperatura e de forma quadraticamente inversa com a incorporação de castanha. Para uma mesma humidade, a força de rutura é máxima para percentagens de incorporação de castanha intermédias e temperaturas baixas.

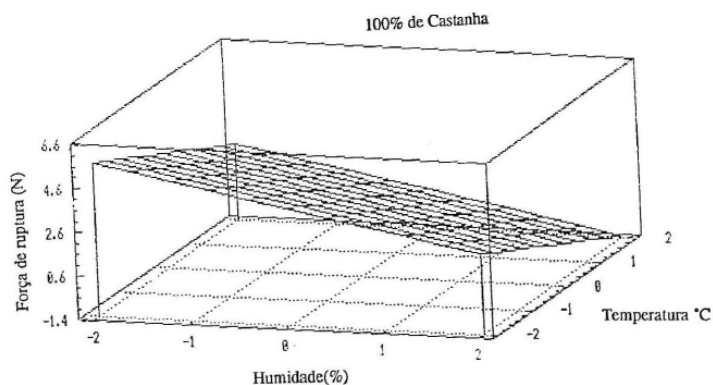


Figura 6 – Diagrama da força de ruptura em função da percentagem de humidade (X_1) e da temperatura (X_2)

Já nos produtos com 100% de castanha, a força de rutura varia linear e inversamente com a percentagem de humidade e com a temperatura, para uma dada velocidade de parafuso. O valor máximo da força de rutura ocorre para os mais baixos teores de humidade e as mais baixas temperaturas, como se pode ver na Figura 6.

O valor mais elevado da força de rutura (5,18 N) obteve-se no extrudido processado a 175°C, com 10% de humidade e com uma velocidade do parafuso de 170 r.p.m.. Este produto extrudido também é o que apresenta o maior valor para a taxa de expansão, como foi indicado anteriormente.

Relativamente à energia de rutura, no ensaio de extrudidos só de castanha, a mesma varia linear e inversamente com a percentagem de humidade e com a temperatura, ou seja, os valores mais baixos para a energia de rutura correspondem aos valores mais elevados de percentagem de humidade e de temperatura, como se pode observar no diagrama da figura 7.

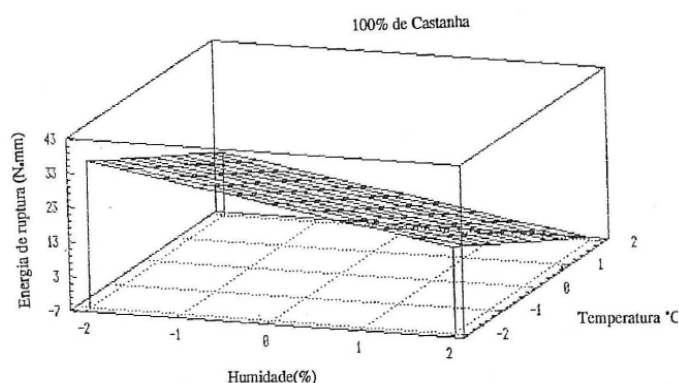


Figura 7 – Diagrama da energia de rutura em função da percentagem de humidade (X_1) e temperatura (X_2)

Os resultados da avaliação sensorial da textura (dados não apresentados) permitiram-nos verificar que as características de um bom produto extrudido são, genericamente, uma boa taxa de expansão, uma força de rutura média e em equilíbrio com a energia de rutura. Já uma força de rutura média resulta das características crocantes do produto extrudido. Por outro lado, um valor de força de rutura e um valor de energia de rutura simultaneamente elevados resultam de um produto mais plástico, o que é desvalorizado sensorialmente.

Nesta perspectiva, deve ser admitida na extrusora uma mistura a temperaturas intermédias e baixos teores de humidade ou compensar uma ligeira subida de humidade com aumento de temperatura. Estas afirmações justificam-se ainda mais nos extrudidos produzidos com castanha a 100%.

4. Conclusões

Os produtos obtidos por extrusão-cozedura são valorizados pelos consumidores, de um modo geral, pela sua taxa de expansão, elevada crocância, baixa plasticidade, elevada solubilidade na boca e pelo seu sabor.

Neste estudo, obtiveram-se produtos de extrusão à base de misturas de milho com castanha que apresentaram uma boa taxa de expansão e uma força de rutura intermédia e em equilíbrio com a

energia de rutura. São por isso produtos estaladiços e "crocantes" que apresentarão boa solubilidade na boca.

Apesar da concentração de amido ser menor na farinha de castanha que na farinha de milho, os produtos obtidos só com farinha de castanha apresentam uma taxa de expansão que constitui cerca de 76% do valor da maior taxa de expansão conseguida nos produtos de mistura, podendo isto dever-se à maior concentração de amilose e à maior massa molecular da amilopectina do amido de castanha relativamente às de milho.

Apreciando os resultados dos ensaios experimentais selecionados para avaliar algumas alterações físico-químicas nos amidos, verificou-se que a castanha possui na sua composição um elevado teor de amido – cerca de 49%, em base seca - e estas moléculas de amido de castanha possuem uma concentração de amilose elevada (na ordem dos 43%) e superior à da maioria dos cereais, como o milho ensaiado (cerca de 24%). Por outro lado, a massa molecular da amilopectina do amido de castanha é relativamente elevada e superior à da amilopectina do amido de milho. Estes dados justificam as curvas de consistência observadas nos amilogramas da farinha de castanha e explicam as alterações sofridas no processo de extrusão-cozedura. Neste processo, os grânulos de amido são alterados de forma diferente consoante as condições de extrusão. As condições mais drásticas, isto é, as que conduzem a maiores alterações são as de baixa humidade e elevada temperatura.

A dilatação dos grânulos de amido da castanha no processo de extrusão-cozedura é mais elevada que no milho, mantendo-se, no entanto, em maior extensão sem sofrer rutura.

Da apreciação global dos resultados podemos concluir que a farinha de castanha tem boas potencialidades para uma utilização como ingrediente na formulação de produtos obtidos por novas tecnologias, nomeadamente pela extrusão-cozedura.

Bibliografia

- AOAC. 1999. *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 16th Edition, Volume II, Arlington, Virginia
- Atwell, W. 1986. *Viscosity of flour and starch in high water systems*. Fundamentals of Doughs Rheology. Ed. Hamed Faridi & Jon M. Faubion: 12-18
- Chinnaswamy, E; Hanna, M. 1988a. *Relationship Between Amylose Content and Extrusion-Expansion Properties of Corn Starches*. Cereal Chemistry, 65 (2):138-143.
- Gomez, M. & Aguilera, J. 1984. A physicochemical model for extrusion of corn starch. *J. Food Sci.*, 49, p. 40-43.
- Guy, R. & Horne, A. 1988. *Extrusion and co-extrusion of cereals*. FoodStructure – its creation and evaluation. Eds. Blanshard, J.M.V. e Mitchell, J.R. Butterworths. England. p. 331-349
- Instituto Nacional de Estatística. 2011. *Recenseamento Agrícola 2009 – Análise dos principais resultados*. Edição Instituto Nacional de Estatística. Lisboa
- Linko, P.; Colonna, P.; Mercier, C. 1986. High-temperature, short-time extrusion cooking. *Advances in Cereal Science and Technology*, Vol. 4. P. 145-235. 145-235
- Lopes-da-Silva, M.; Santos, L.; Choupina, A. 2015. A extrusão em tecnologia alimentar: tipos, vantagens e inconvenientes. *Revista de Ciências Agrárias*, Volume 38, Nº1, p. 3-10
- Medcalf, D. 1973. *Structure and Composition of Cereal Components as Related to their Potential Industrial Utilization - Starch*. Industrial Uses of Cereals. p. 121 - 137
- Mercier, C. e Feillet, P. 1975. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. *Cereal Chem.* 52: 283