

EFEITO DO COZIMENTO POR EXTRUSÃO NA ESTABILIDADE OXIDATIVA DE PRODUTOS DE MOAGEM DE AVEIA¹

LUIZ CARLOS GUTKOSKI² e AHMED ATTIA EL-DASH³

RESUMO - O objetivo do presente trabalho foi estudar os efeitos de umidade e de temperatura de extrusão na estabilidade oxidativa de produtos de aveia (*Avena sativa* L.). Cariopses de aveia foram moídas em moinho de rolos Brabender e obtidas frações de granulometrias superior e inferior a 532 µm. A fração de granulometria superior a 532 µm, de alto teor de proteínas, lipídios e fibra alimentar, foi condicionada na umidade desejada (15,5-25,5%) e extrusada em extrusor de laboratório Brabender monorosca. As condições usadas na extrusão foram taxa de compressão de 3:1, rotação de 100 rpm, matriz de 6 mm de diâmetro e temperaturas entre 77,6 e 162,4°C nas 2ª e 3ª zonas e de 80°C na 1ª zona. O material extrusado foi seco em estufa, moído, acondicionado em sacos de plástico e utilizado periodicamente nas determinações de peróxidos e de n-hexanal. O óleo da fração estudada apresentou quantidade relativamente alta de ácidos graxos insaturados (79,47%), sendo linoléico o principal representante. Independentemente do conteúdo inicial de umidade, todos os produtos extrusados em temperaturas inferiores a 120°C apresentaram baixa rancidez oxidativa, ou seja, essas temperaturas se mostraram adequadas ao processamento de aveia.

Termos para indexação: *Avena sativa*, lipídios, peróxidos, n-hexanal.

EXTRUSION COOKING EFFECTS ON OXIDATIVE STABILITY OF OAT COARSE MILLING PRODUCT

ABSTRACT - The objective of the present research was to study the effects of extrusion cooking on oxidative stability of oat (*Avena sativa* L.) milling product. The dehulled grains were ground in a Brabender Quadrumat Senior mill and separated in two fractions, coarse over 532 µm and fine less than 532 µm. The coarse fraction, with higher amount of crude protein, lipids and dietary fiber content was conditioned to moisture levels (15.5-25.5%) and extruded in a Brabender single-screw laboratory extruder (C/D= 20:1). The extrusion conditions were compression ratio of 3:1, screw speed of 100 rpm, a die of 6 mm in diameter and temperatures between 77.6 and 162.4°C in the 2nd and 3rd zones while the 1st zone was maintained at 80°C. The extruded material was dried, ground, conditioned in plastic bags and periodically determined the peroxide value and n-hexanal. The unsaturated fatty acids content of the oil of fraction was higher (79.47%). Independently of the initial moisture, all the products extruded at temperatures lower than 120°C showed low oxidative rancidity.

Index terms: *Avena sativa*, lipids, peroxide, n-hexanal.

INTRODUÇÃO

O processamento de grãos de aveia é diferenciado em virtude de sua estrutura anatômica e composição química (Fulcher, 1986). A casca é cerosa, fibrosa e totalmente indigerível pelo sistema digestivo do homem, devendo ser eliminada com o descascamento. O conteúdo de gordura da cariopse,

¹ Aceito para publicação em 22 de abril de 1998.

² Eng. Agr., Ph.D., Prof. Titular, Dep. de Fitotecnia, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, UPF, Caixa Postal 611, CEP 99001-970 Passo Fundo, RS.
E-mail: gutkoski@upf.tche.br

³ Eng. Alimentos, Ph.D., Prof. Livre-docente, Dep. de Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Caixa Postal 6121, CEP 13083-970 Campinas, SP.

entre 6 e 11%, está distribuído em todo o grão, com maiores concentrações no germe e no farelo. As camadas externas apresentam enzimas ativas capazes de hidrolisar os lipídios presentes e produzir ácidos graxos livres. O conteúdo protéico é alto, variando entre 14 e 18%, com balanço de aminoácidos adequado, porém, as proteínas quando misturadas com água não formam glúten. O farelo é relativamente fino, claro e normalmente não separado do endosperma.

Durante o processamento e desenvolvimento de novos produtos de aveia, as principais preocupações são tornar o grão adequado ao consumo humano, de sabor agradável, longa vida-de-prateleira e bom valor nutricional. Para isso é necessário que se combinem os processos tecnológicos e se induzam as modificações físico-químicas, funcionais e nutricionais. As enzimas hidrolíticas e oxidativas presentes naturalmente no grão devem ser inativadas; o amido, parcialmente pré-gelatinizado; e o sabor característico de aveia, realçado.

Na indústria, a inativação de enzimas é realizada pelo tratamento hidrotérmico (Deane & Commers, 1986). O monitoramento da intensidade de tratamento térmico aplicado aos produtos de aveia é realizado pela determinação de atividade de enzimas residuais, como a tirosinase ou a peroxidase (Webster, 1986). Além do tratamento térmico pelo uso de vapor à pressão atmosférica, outras formas de estabilização enzimática foram estudadas em escalas laboratorial ou piloto. Frey & Hammond (1975) propuseram a moagem úmida de grãos em solução de etanol a 95%, ou a fervura em água, seguida de secagem a vácuo. Liukkonen et al. (1995) realizaram dispersão de farinha de aveia em solução fracamente alcalina. A inativação enzimática pelo uso de energia de microondas foi proposta por Vetrmani et al. (1992), e pela extrusão termoplástica por Fretzdorff & Seiler (1987).

A extrusão vem se tornando uma alternativa promissora no processamento de cereais tanto para consumo humano, como para aplicações industriais. Embora o processo seja citado como uma forma eficiente de processamento (El-Dash, 1981), seu emprego em aveia ainda não foi suficientemente investigado.

O objetivo do presente trabalho foi estudar os efeitos de umidade da matéria-prima e de temperatura de extrusão na estabilidade oxidativa durante o armazenamento de produtos extrusados da fração de moagem de aveia de granulometria superior a 532 μm , por meio das determinações de peróxidos e de n-hexanal.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados grãos de aveia (*Avena sativa* L.), cultivar UPF-16, selecionada pela Universidade de Passo Fundo. A aveia, colhida na safra agrícola de 1994, foi submetida às operações de pré-limpeza de secagem e posteriormente armazenada em silos. Os grãos foram limpos em máquinas de ar e peneiras e descascados em moinho de impacto; as cariopses foram condicionadas para 10% de umidade e moídas em moinho experimental de rolos Brabender, modelo Quadrumat Senior, utilizando a seção de quebra e o sistema de peneiragem. A fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , com rendimento de extração de 50%, foi recolhida separadamente, extraído o óleo de acordo com método proposto por Bligh & Dyer (1959) e determinada a composição em ácidos graxos, método Ce 1-62 da American Oil Chemists' Society (1990).

As amostras foram condicionadas à umidade desejada (15,5-25,5%) e extrusadas em extrusor de laboratório, marca Brabender (modelo 20 D/N-GNF1014/2, Brabender OHG, Duisburg, Alemanha), do tipo monorosca, utilizando taxa de compressão de 3:1, rotação de 100 rpm, matriz de 6 mm de diâmetro, taxa de alimentação constante de 70 g/minuto e temperaturas entre 77,6 e 162,4°C nas segunda e terceira zonas e de 80°C na primeira zona. O material extrusado foi seco em estufa com circulação de ar, a 45-50°C por 15 horas, moído em moinhos de facas e de rolos (< 500 μm) e acondicionado em sacos de plástico de polietileno de baixa densidade (70 μm de espessura). As amostras, após identificação e vedação hermética, foram armazenadas à temperatura ambiente (25°C \pm 2) e ao abrigo de luz e utilizadas periodicamente nas determinações do índice de peróxidos e de n-hexanal.

O índice de peróxidos foi determinado de acordo com o método número Cd 8-53 da American Oil Chemists' Society (1990). A extração do óleo foi realizada a frio pelo emprego de éter de petróleo, proporção de 3:1 (éter: amostra), por 90 minutos e sob agitação constante. O produto extraído foi centrifugado por 15 minutos a 2.000 g, e traços de água retirados pela adição de sulfato de sódio

anidro e depois filtrado. Finalmente, o éter de petróleo foi separado do óleo pelo uso de rotavapor a 35-40°C, sob vácuo e os peróxidos quantificados por titulação com tiosulfato de sódio 0,005 N.

O n-hexanal foi determinado de acordo com método proposto por Fritsch & Gale (1977), por meio da pesagem de 15 g de amostra em erlenmeyer de 250 mL, adição de 0,2 µL/mL de padrão interno, diluído previamente em etanol pela adição de 50 µL de 4-heptanona em 250 mL, e completado o volume para 150 mL com água destilada em ebulição. O frasco foi vedado hermeticamente com rolha de borracha e fita vedarosa e mantido sob agitação; após um minuto, foi coletado com seringa apropriada (Precision Sampling Corp., Boton Rouge, Louisiana - USA) 1 mL de espaço de cabeça para injetar no cromatógrafo gasoso Varian, modelo 3.400, acoplado com o integrador Varian, modelo 4.400. As condições usadas no cromatógrafo foram: coluna empacotada de aço inoxidável, de 2 m de comprimento x 1/8" de diâmetro, 4% OV101/6% OV210 CWHF (80 a 100 mesh); detector de ionização de chama, injetor do tipo *on column*, atenuação de 2×10^{-12} ; temperaturas de 100°C da coluna, 150°C do injetor e 200°C do detector. Os cromatogramas foram plotados e integrados eletronicamente no integrador. O valor da relação entre a área do pico de n-hexanal da amostra e a área do pico de padrão interno (PI) foi utilizado para calcular a concentração de n-hexanal das amostras e expressos em mg/kg.

Para estudar o efeito combinado das variáveis independentes nas respostas estudadas foi estabelecido o delineamento estatístico do tipo central composto rotacional de 2ª ordem, aplicável à Metodologia de Superfície de Resposta (Box & Draper, 1987). As variáveis independentes e os níveis de variação estudados estão apresentados na Tabela 1. Neste experimento foram usados 11 tratamentos, sendo quatro fatoriais (combinam os níveis -1 e +1), quatro axiais (uma variável no nível $\pm\alpha$ e a outra em 0) e três centrais (as duas variáveis no nível 0).

O processamento de dados e a análise estatística foram elaborados com auxílio de computador do programa estatístico SAS Institute (1985). A significância do modelo foi testada pela análise de variância (ANOVA) e os efeitos individuais da variável resposta ajustados pelo procedimento *stepwise* a 10% de significância ($p \leq 0,10$). Os termos não significativos foram automaticamente retirados do modelo, a um novo ajuste, e com emprego no modelo final somente dos termos significativos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição em ácidos graxos do óleo da cariopse e da fração de moagem de aveia estudada encontra-se na Tabela 2. As variações encontradas foram relativamente pequenas. Os menores teores em ácidos graxos insaturados foram verificados na cariopse.

TABELA 1. Variáveis e níveis de variação do experimento de extrusão.

Variáveis independentes	Níveis de variação ¹				
	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
Temperatura de extrusão (°C)	77,58	90	120	150	162,4
Umidade da matéria-prima (%)	15,55	17	20,5	24	25,45

¹ $\alpha = 1,414$ para $k = 2$ (duas variáveis independentes).

TABELA 2. Composição em ácidos graxos do óleo de aveia da cariopse e da fração de granulometria superior a 532 µm.

Ácido graxo	Cariopse (%)	Fração > 532 µm (%)
Mirístico C14:0	0,11	0,11
Palmítico C16:0	18,21	18,21
Esteárico C18:0	1,39	1,41
Araquídico C20:0	0,94	0,80
Total de saturados	20,65	20,53
Oléico C18:1	38,99	38,90
Linoléico C18:2	39,16	39,38
Linolênico C18:3	1,20	1,19
Total de insaturados	79,35	79,47

Do total de ácidos graxos presentes no óleo da fração de granulometria superior a 532 μm , 20,53% corresponderam aos ácidos graxos saturados e 79,47 aos insaturados. Linoléico, oléico e palmítico foram os maiores representantes, com 39,38, 38,90 e 18,21%, respectivamente, correspondendo a 96,49% do total de ácidos graxos. Mirístico, esteárico, araquídico e linolênico contribuíram com apenas 3,51%. Tais valores estão em acordo com os resultados obtidos por Kahlon (1989) e Peterson (1992).

A composição de lipídios na aveia é favorecida pelo alto teor de ácidos graxos insaturados. Entre esses, o linoléico, considerado essencial para a nutrição humana, é o mais abundante. Por outro lado, essa composição contribui para a frágil estabilidade dos produtos de aveia e para a formação de compostos indesejáveis (Galliard, 1983). Para monitorar a extensão da rancidez oxidativa pode-se determinar os voláteis individuais ou totais de compostos carbonílicos formados pela degradação dos hidroperóxidos (Shahidi, 1995). O n-hexanal, um dos principais produtos secundários formados durante a oxidação do ácido linoléico (Frankel et al., 1981), bem como outros aldeídos e cetonas têm sido usados para monitorar a rancidez oxidativa de grãos de cereais e de seus produtos.

A estabilidade oxidativa dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm foi determinada nos tempos zero ($t= 48$ horas), 21, 42, 63, 84 e 126 dias de armazenamento pela determinação de compostos primários e secundários de rancidez. Como indicador de alterações primárias de rancidez utilizou-se o índice de peróxidos, enquanto para monitorar as modificações secundárias, foi avaliado o teor de n-hexanal por cromatografia gasosa.

Na Tabela 3 apresentam-se os resultados das determinações do índice de peróxidos dos produtos extrusados da fração estudada, obtidos em função das condições experimentais empregadas. De acordo com os dados experimentais, estabeleceu-se o modelo de regressão completo para o tempo zero de armazenamento (48 horas após a extrusão). O modelo é significativo ($p \leq 0,05$) e o resíduo não apresenta falta de ajuste. A partir do modelo completo, eliminaram-se os coeficientes não significativos pelo procedimento *stepwise* ($p > 0,10$), obtendo-se o modelo ajustado.

O modelo de regressão ajustado, com seus respectivos coeficiente de determinação e nível de significância, encontra-se na Tabela 4. Verifica-se que tanto o termo linear quanto o quadrático da variável temperatura interferiram significativamente

TABELA 3. Valores experimentais do índice de peróxidos obtidos durante o armazenamento dos produtos extrusados de aveia da fração de granulometria superior a 532 μm .

Tratamento ¹	Variáveis ²		Índice de peróxidos (mmoles de peróxidos/kg de óleo)			
	T	U	48 horas	42 dias	84 dias	126 dias
1	90	17	traços	traços	traços	traços
2	150	17	5,43	36,98	47,39	50,30
3	90	24	0,88	1,39	2,69	3,96
4	150	24	2,08	30,50	42,99	28,90
5	77,6	20,5	traços	traços	traços	traços
6	162,4	20,5	5,97	30,34	34,10	64,36
7	120	15,5	4,83	21,43	31,32	42,50
8	120	25,5	2,89	12,74	15,38	29,81
9	120	20,5	5,31	16,13	20,70	34,90
10	120	20,5	5,68	14,01	22,87	30,58
11	120	20,5	6,05	15,31	24,46	32,54
Aveia não processada			traços	traços	traços	traços

¹ Tratamentos do delineamento experimental tipo composto rotacional para duas variáveis independentes (T e U) e três níveis, sendo 4 fatoriais, 4 axiais e 3 repetições do ponto central.

² T: temperatura de extrusão (°C); U: umidade de condicionamento da matéria-prima (%).

TABELA 4. Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância para o índice de peróxidos durante o armazenamento dos produtos extrusados de aveia da fração de granulometria superior a 532 μm em função da temperatura de extrusão.

Tempo	Modelo ¹	R^2	Prob > F
48 horas	$y = -24,08 + 0,4137T - 0,0015T^2$	0,6530	0,0145
42 dias	$y = -39,51 + 0,4761T - 0,00009T^2$	0,9138	0,0001
84 dias	$y = -82,22 + 1,1990T - 0,0026T^2$	0,8645	0,0003
126 dias	$y = -102,04 + 1,5272T - 0,0034T^2$	0,8280	0,0009

¹ T: temperatura de extrusão ($^{\circ}\text{C}$).

no modelo ajustado. Porém, a baixa variância explicada pelo coeficiente de determinação (0,65), indica que a equação deve ser empregada apenas para a observação da tendência de variação da resposta estudada.

O índice de peróxidos do tempo zero de armazenamento dos produtos extrusados da fração de granulometria superior 532 μm aumentou com a elevação da temperatura de extrusão (Fig. 1), e a variação encontrada foi entre traços e 6,05 mmoles/kg de óleo (Tabela 3).

Na avaliação dos peróxidos durante o armazenamento dos produtos extrusados de aveia, tempos zero, 42, 84 e 126 dias, verifica-se, pelos modelos ajustados (Tabela 4), que somente o fator temperatura de extrusão foi significativo ($p \leq 0,05$), termos lineares e quadráticos. O índice de peróxidos apresentou uma relação quadrática convexa, aumentando com a elevação da temperatura de extrusão (Fig. 1). Em relação aos tempos de armazenamento dos produtos extrusados (zero, 42, 84 e 126 dias), verifica-se que os peróxidos aumentaram de forma proporcional.

Contudo, nos tratamentos um, cinco, bem como na aveia não processada, os níveis de peróxidos foram de apenas traços, mesmo após 126 dias de armazenamento. Já nos produtos extrusados a 162,4 $^{\circ}\text{C}$, os valores passaram de 5,97, tempo zero, para 64,36 mmoles de peróxidos/kg de óleo aos 126 dias de armazenamento. Segundo Mustakas et al. (1970), os limites mínimos de peróxidos para que sejam satisfeitos os requerimentos de estabilidade de produtos extrusados são de 20 mmoles/kg de óleo. Se considerarmos esse valor de corte para analisar os produtos obtidos, veremos que, após 126 dias de armazenamento, além dos tratamentos um e cinco, pode ser considerado aceitável o extrusado número

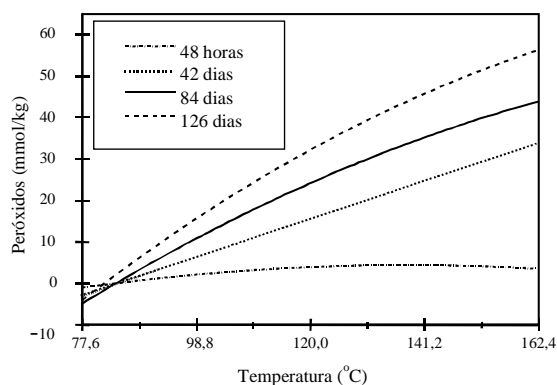


FIG. 1. Efeito da temperatura de extrusão no índice de peróxidos dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm em função do tempo de armazenamento (48 horas, 42 dias, 84 dias e 126 dias).

três. Todos os demais tratamentos atingiram valores superiores a 20 mmoles de peróxidos/kg de óleo, o que mostra que está ocorrendo rancidez oxidativa, alterando-se, conseqüentemente, o sabor e a qualidade dos produtos extrusados.

Poskocilova et al. (1988) verificaram que extrusados de aveia podem ser armazenados por 1,5 mês sem perda de qualidade. Contudo, ao submeter os extrusados a operações como moagem ou tostagem, a qualidade dos produtos reduziu significativamente. O aumento de umidade da matéria-prima original teve efeito favorável na manutenção de qualidade dos produtos extrusados. No trabalho realizado por Oda et al. (1988), o índice de peróxidos foi de apenas traços na aveia não processada, enquanto na farinha extrusada a 177 $^{\circ}\text{C}$, os valores foram de 9,6 e 32,8 mmoles/kg aos 10 dias e 12 meses, respectivamente.

Assim, ao definir as condições ótimas de extrusão da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , considerando as modificações nas propriedades de gelatinização, inativação enzimática, produção de ácidos graxos livres e estabilidade dos produtos extrusados, determinadas pelo índice de peróxidos após 126 dias de armazenamento, observa-se que temperaturas inferiores a 120°C mostraram-se adequadas ao processamento de aveia em extrusor monorosca, independentemente do nível de umidade inicial da matéria-prima. Em temperaturas iguais ou superiores a 120°C, os níveis de peróxidos aumentaram rapidamente mostrando uma baixa estabilidade ao armazenamento dos produtos extrusados. O aumento de peróxidos deveu-se à degradação dos lipídios pelas temperaturas usadas no extrusor.

Na Tabela 5 apresentam-se os resultados das determinações de n-hexanal dos produtos extrusados da fração estudada, obtidos em função das condições experimentais empregadas. De acordo com os dados experimentais, estabeleceu-se o modelo de regressão completo para o tempo zero de armazenamento (48 horas após extrusão). O modelo não é significativo ($p > 0,05$). O teor de n-hexanal dos produtos extrusados variou entre 0,49 e 3,24 mg/kg de amostra, com valor médio de 1,90, portanto, superior aos 0,44 encontrados na aveia não processada.

Embora tenha ocorrido variação no teor de n-hexanal entre as condições de extrusão estudadas, a magnitude foi pequena e insuficiente para interferir significativamente na resposta.

Na avaliação do teor de n-hexanal durante o armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , tempos 21, 42, 63, 84 e 126 dias, verifica-se, pela análise de variância (ANOVA), que os modelos são significativos ($p \leq 0,05$). A partir do modelo completo, eliminaram-se os coeficientes não significativos pelo procedimento *stepwise* ($p > 0,10$), obtendo-se os modelos ajustados.

Os modelos de regressão ajustados, com seus respectivos coeficientes de determinação e nível de significância, encontram-se na Tabela 6. Tanto os termos lineares quanto os quadráticos da variável temperatura de extrusão interferiram significativamente nos modelos ajustados.

Ao avaliar o efeito de temperatura de extrusão em função da estabilidade ao armazenamento dos extrusados de aveia, tempos zero, 21, 42, 84 e 126 dias (Fig. 2), observa-se que o n-hexanal apresentou uma relação quadrática convexa, aumentando com a elevação da temperatura de extrusão. Em relação aos tempos de armazenamento dos extrusados, a concentração de n-hexanal aumentou de forma proporcional. Bruechert et al. (1988) também verificaram

TABELA 5. Valores experimentais de n-hexanal obtidos durante o armazenamento dos produtos extrusados de aveia da fração de granulometria superior a 532 μm .

Tratamento ¹	Variáveis ²		n-hexanal (mg/kg de amostra)					
	T	U	48 horas	21 dias	42 dias	63 dias	84 dias	126 dias
1	90	17	0,49	0,59	0,90	1,02	1,61	1,79
2	150	17	1,11	3,21	3,96	4,41	7,87	9,33
3	90	24	0,95	0,98	1,04	1,15	1,17	1,46
4	150	24	1,58	3,58	4,75	5,77	7,59	8,56
5	77,6	20,5	0,64	0,65	0,69	0,71	0,84	1,09
6	162,4	20,5	1,79	3,71	6,49	7,69	7,87	8,26
7	120	15,5	2,71	5,85	4,07	4,91	5,01	5,92
8	120	25,5	3,24	4,24	4,86	5,74	7,13	9,61
9	120	20,5	2,59	5,19	6,25	6,55	7,35	7,59
10	120	20,5	2,77	5,11	6,07	6,27	7,46	7,66
11	120	20,5	2,94	5,15	5,97	7,18	7,58	8,02
Aveia não processada			0,44	0,64	0,68	0,77	1,63	0,82

¹ Tratamentos do delineamento experimental tipo composto rotacional para duas variáveis independentes (T e U) e três níveis, sendo 4 fatoriais, 4 axiais e 3 repetições do ponto central.

² T: temperatura de extrusão (°C); U: umidade de condicionamento da matéria-prima (%).

TABELA 6. Modelo de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância do teor de n-hexanal durante o armazenamento dos produtos extrusados de aveia da fração de granulometria superior a 532 μm em função da temperatura de extrusão.

Tempo	Modelo ¹	R^2	Prob > F
48 horas	$y = -14,72 + 0,2767T - 0,0011T^2$	0,7261	0,0056
21 dias	$y = -27,42 + 0,4955T - 0,0019T^2$	0,8148	0,0012
42 dias	$y = -22,58 + 0,3975T - 0,0014T^2$	0,7557	0,0036
63 dias	$y = -23,84 + 0,4073T - 0,0013T^2$	0,8807	0,0002
84 dias	$y = -28,12 + 0,4853T - 0,0016T^2$	0,9023	0,0001
126 dias	$y = -32,20 + 0,5591T - 0,0019T^2$	0,8891	0,0002

¹ T: temperatura de extrusão ($^{\circ}\text{C}$).

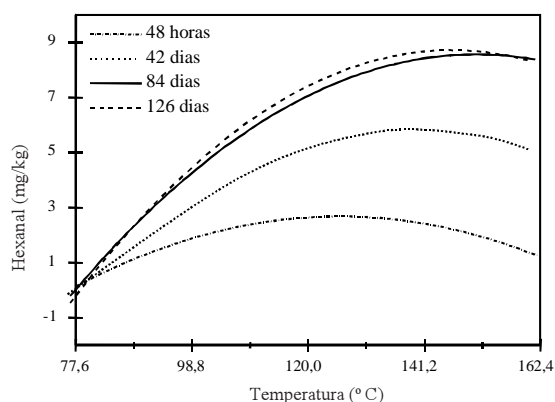


FIG. 2. Efeito da temperatura de extrusão no teor de hexanal dos produtos extrusados de aveia da fração de granulometria superior a 532 μm em função do tempo de armazenamento (48 horas, 42 dias, 84 dias e 126 dias).

que os componentes voláteis aumentaram com a elevação da temperatura de extrusão. Ekstrand et al. (1993) observaram que a formação de n-hexanal em produtos de aveia foi dependente das condições de processamento e não verificaram correlação com as quantidades de ácidos graxos livres, o que corrobora os resultados obtidos neste trabalho.

De forma análoga ao que ocorreu com o índice de peróxidos, os tratamentos um, cinco e a aveia não processada apresentaram níveis de n-hexanal relativamente baixos, mesmo após 126 dias de armazenamento. Já nos produtos extrusados a 162,4 $^{\circ}\text{C}$, os valores passaram de 1,79, tempo zero, para 8,26 mg de n-hexanal/kg de amostra aos 126

dias de armazenamento, ou seja, a rancidez oxidativa aumentou com a elevação da temperatura de extrusão.

Fritsch & Gale (1977), em estudo sobre a rancidez oxidativa de produtos de cereais processados, verificaram que o início da formação de odor a ranço ocorreu quando a concentração de n-hexanal aumentou entre 5 e 10 mg/kg. Com produtos de aveia, os autores observaram boa correlação entre a avaliação sensorial e concentração de n-hexanal na faixa entre 0,3 e 5 mg/kg. Os autores afirmam que, nos cereais recém-processados e com quantidades substanciais de ácido linoléico, a concentração de n-hexanal está abaixo de 1 mg/kg, porém, durante o armazenamento, esses valores aumentam para 5 mg/kg de n-hexanal ou mais, o que indica perdas significativas na estabilidade causada pela oxidação lipídica. Se a deterioração continuar a partir desse ponto, ocorre um aumento de n-hexanal, aparecendo outros picos à medida que aumenta a deterioração. Segundo os autores, a deterioração é afetada não só pela composição química mas também pelo conteúdo de umidade dos produtos, condições de processamento, área superficial e outros fatores ainda não determinados. O aumento da concentração de n-hexanal bem como o aparecimento de um novo pico nos produtos extrusados de aveia podem ser visualizados nos cromatogramas apresentados na Fig. 3.

Se considerarmos 5 mg de n-hexanal/kg de amostra como valor de corte para analisar os produtos obtidos, veremos que, após 126 dias de armazenamento, além dos tratamentos um e cinco, pode ser considerado aceitável o extrusado número três. To-

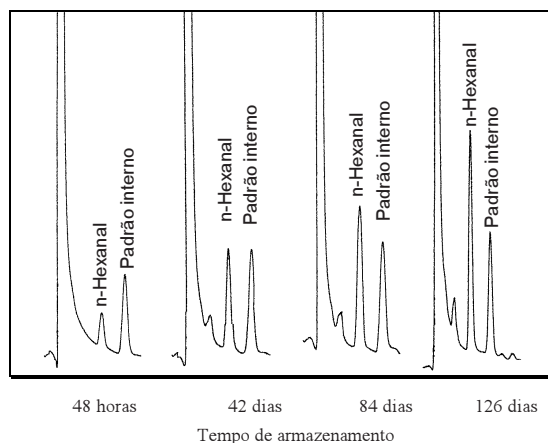


FIG. 3. Cromatogramas representativos da formação de n-hexanal dos produtos de aveia da fração de granulometria superior a 532 μm extrusados à temperatura de 120°C e de 20,5% de umidade da matéria-prima em função do tempo de armazenamento (48 horas, 42 dias, 84 dias e 126 dias).

dos demais tratamentos atingiram valores superiores aos estabelecidos por Fritsch & Gale (1977), o que mostra que está ocorrendo rancidez oxidativa, conseqüentemente, alterando o sabor e a qualidade dos produtos extrusados. Os tratamentos realizados nas temperaturas iguais ou superiores a 120°C foram eliminados, independentemente do teor de umidade inicial da matéria-prima.

Assim, ao definir as condições ótimas de extrusão da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm , considerando as modificações na estabilidade dos produtos extrusados, determinada pelo teor de n-hexanal após 126 dias de armazenamento, observa-se que temperaturas inferiores a 120°C mostraram-se adequadas ao processamento de aveia em extrusor monorosca, independentemente do nível de umidade inicial da matéria-prima. Para realizar o processamento em maiores temperaturas, é necessário controlar outros fatores, como atividade de água dos produtos processados, área superficial, embalagem de acondicionamento (Fritsch & Gale, 1977), ou adicionar antioxidantes (Percheron & Lölinger, 1990). Usos de menores taxas de compressão e maiores velocidades de rosca durante o processo também podem interferir favoravelmente no aumento da estabilidade no armazenamento dos produtos extrusados da fração de aveia estudada.

CONCLUSÕES

1. O óleo da fração de aveia de granulometria superior a 532 μm apresenta alta quantidade de ácidos graxos insaturados e o linoléico é o principal representante.
2. A variável que limita o tempo de armazenamento quanto à estabilidade oxidativa de produtos extrusados de aveia é a temperatura de extrusão.
3. O processamento de aveia por extrusão pode ser realizado utilizando temperaturas inferiores a 120°C, independentemente do conteúdo inicial de umidade da matéria-prima.
4. É possível avaliar as alterações primárias e secundárias da rancidez oxidativa de produtos extrusados de aveia por meio dos indicadores índice de peróxidos e concentração de n-hexanal, respectivamente.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo-FAPESP, pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. (Champaign, IL). **Official methods and recommended practices**. 3.ed. Champaign, 1990. 1. v., métodos Cd 8-53 e Ce 1-62, paginação irregular.
- BLIGH, E.G.; DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal Biochemistry Physiology**, Ottawa, v.46, n.1, p.31-37, 1959.
- BOX, G.P.; DRAPER, N.R. **Empirical model-building and response surfaces**. New York: J. Wiley & Sons, 1987. 669p.
- BRUECHERT, L.J.; ZHANG, Y.; HUANG, T.-C.; HARTMAN, T.G.; ROSEN, R.; HO, C.-T. Contribution of lipids to volatile generation in extruded corn-based model systems. **Journal of Food Science**, Chicago, v.53, n.5, p.1444-1447, 1988.
- DEANE, D.; COMMERS, E. Oat cleaning and processing-general steps. In: WEBSTER, F.H. (Ed.). **Oats chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1986. p.371-412.

- EKSTRAND, B.; GANGBY, I.; AKESSON, G.; STÖLLMAN, U.; LINGNERT, H.; DAHL, S. Lipase activity and development of rancidity in oats and oat products related to heat treatment during processing. **Journal of Cereal Science**, New York, v.17, n.3, p.247-254, 1993.
- EL-DASH, A.A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y.; MUNCH, L. **Cereals: a renewable resource, theory and practice**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1981. p.165-216.
- FRANKEL, E.N.; NEFF, W.E.; SELKE, E. Analysis of autoxidized fats by gas chromatography-mass spectrometry: VII. Volatile thermal decomposition products of pure hydroperoxides from autoxidized and photosensitized methyl oleate, linoleate and linolenate. **Lipids**, Austin, v.16, n.5, p.279-292, 1981.
- FRETZDORFF, B.; SEILER, K. The effects of twin-screw extrusion cooking on cereal enzymes. **Journal of Cereal Science**, New York, v.5, n.1, p.73-82, 1987.
- FREY, K.J.; HAMMOND, E.G. Genetics, characteristics, and utilization of oil in caryopses of oat species. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Champaign, v.52, n.9, p.358-362, 1975.
- FRITSCH, C.W.; GALE, J.A. Hexanal as a measure of rancidity in low fat foods. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Champaign, v.54, n.3, p.225-228, 1977.
- FULCHER, R.G. Morphological and chemical organization of the oat kernel. In: WEBSTER, F. (Ed.). **Oats chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1986. p.47-74.
- GALLIARD, T. Rancidity in cereal products. In: ALLEN, J.C.; HAMILTON, R.J. (Eds.). **Rancidity in foods**. London: Applied Science, 1983. p.109-130.
- KAHLON, T.S. Nutritional implications and uses of wheat and oat kernel oil. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v.34, n.10, p.872-874, 1989.
- LIUKKONEN, K.; JOHNSON, T.; LAAKSO, S. Alkaline sensitivity of lipase activity in oat flour: factors contributing to inhibition. **Journal of Cereal Science**, New York, v.21, n.1, p.79-85, 1995.
- MUSTAKAS, G.C.; ALBRECHT, W.J.; BOOKWALTER, G.N.; MCGHEE, J.E.; KWOLEK, W.F.; GRIFFIN JUNIOR, E.L. Extruder-processing to improve nutritional quality, flavor, and keeping quality of full-fat soy flour. **Food Technology**, Chicago, v.24, n.11, p.102-108, 1970.
- ODA, T.; AOE, S.; NAKAOKA, M.; IDO, K.; OHTA, F.; AYANO, Y. Changes in the dietary fiber content of oats with extrusion cooking and their effect on cholesterol metabolism in rats. **Journal of Japanese Society Nutrition and Food Science**, Tokyo, v.41, n.6, p.449-456, 1988.
- PERCHERON, E.; LÖLIGER, J. Influence of drying technology on precooked cereal autoxidation. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, London, v.23, n.5, p.400-403, 1990.
- PETERSON, M.P. Composition and nutritional characteristics oat grain and product. In: MARSHALL, H.G.; SOLLELLS, M.S. (Eds.). **Oat science and technology**. Madison: American Society of Agronomy, 1992. p.266-287.
- POSKOCILOVA, H.; VIERECKLOVA, M.; HOLAS, J. Extrusion processing of huskless oats. **Mlynsko-Pekarensky Prumysl**, Prague, v.34, n.7/8, p.219-222, 1988.
- SAS INSTITUTE. **User's guide: statistics**. 5.ed. Cary, NC, 1985. 956p.
- SHAHIDI, F. Stability of fats and oils. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO LATINOAMERICANO SOBRE PROCESSAMENTO DE ÓLEOS E GORDURAS, 6., 1995, Campinas. **Anais...** Campinas: R. Vieira, 1995. p.47-54.
- VETRIMANI, R.; JYOTHIRMAYI, N.; HARIDAS RAO, P.; RAMADOSS, C.S. Inactivation of lipase and lipoxygenase in cereal bran, germ and soybean by microwave treatment. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, London, v.25, n.6, p.532-535, 1992.
- WEBSTER, F.H. Oat utilization: past, present and future. In: WEBSTER, F.H. (Ed.). **Oats chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1986. p.413-426.