



IZAARA CARVALHO ALVARENGA

**ARMAZENAMENTO E FORNEAMENTO DE
LINHAÇA**

LAVRAS – MG

2012

IZAARA CARVALHO ALVARENGA

ARMAZENAMENTO E FORNEAMENTO DE LINHAÇA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora

Dra. Maria de Fátima Piccolo Barcelos

LAVRAS – MG

2012

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Alvarenga, Izaara Carvalho.

Armazenamento e fornecimento de linhaça / Izaara Carvalho
Alvarenga. – Lavras : UFLA, 2012.
128 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.
Orientador: Maria de Fátima Piccolo Barcelos.
Bibliografia.

1. *Linum usitatissimum* L. 2. Antioxidante. 3. Processamento. 4.
Propriedades funcionais. 5. Alimentos funcionais. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 664.725

IZAARA CARVALHO ALVARENGA

ARMAZENAMENTO E FORNEAMENTO DE LINHAÇA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 12 de julho de 2012.

Dr. Eric Batista Ferreira

UNIFAL-MG

Dr. Eduardo Valério de Barros Vilas Boas

UFLA

Dra. Maria de Fátima Piccolo Barcelos
Orientadora

LAVRAS – MG

2012

*Aos que lutam incansavelmente por um mundo melhor e seguem seus
ideais.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Meu Deus, graças e louvores a ti, pela vida que me destes, pelas pessoas maravilhosas que, de presente, colocou em meu caminho, pela oportunidade de crescimento. Obrigada!

Minha mãe e meu pai, que desde sempre me apoiam nas decisões e também nos mais difíceis momentos da minha vida. Lindona e papito, amo vocês! Muito obrigada e que Deus os abençoe.

Meu grande e lindo amor, Rafa, que nas horas de desalento e tristeza, me fez sorrir, obrigada de coração pelo apoio, carinho, amizade e minhas desculpas pelo cansaço e muitas vezes, mau-humor, venci!!!

Minha tão estimada avó Cidoca e minha querida sogra, pelas constantes orações.

Profª Dra. Maria de Fátima Piccolo Barcelos, pela orientação deste trabalho, pela oportunidade de crescimento pessoal e de estudar um alimento que gosto tanto.

Prof. Dr. Eric Batista Ferreira, meu coorientador e estatístico, meu muito obrigada pelo apoio e saiba que se tornou um grande amigo.

Prof. Dr. Wilson Cesar de Abreu, que me ensinou e socorreu nas minhas análises, o meu muitíssimo obrigada!

Prof. Dr. Eduardo Valério de Barros Vilas Boas, que aceitou participar da minha banca e pelo apoio.

Prof. Dr. Raimundo e Prof. Dr. Michel, pela participação na qualificação deste projeto e pelas sugestões bem-vindas. E aos demais professores do Depto, pela convivência.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo apoio financeiro.

Queridos amigos do laboratório, Tina, Sr. Miguel (*in memorian*), Denisinha, que muito me ajudaram e incentivaram. Renato, Andrea, Luciana e Rafaela, obrigada no valioso auxílio na trajetória das minhas análises, cálculos e dúvidas (risos). Cintia, minha companhia e hoje minha amiga querida que por horas e horas me ajudou a lavar meus inúmeros tubos de ensaio. Roseane, obrigada pela amizade, foi um verdadeiro presente!

Minha tão querida, gentil e especial Dra. e prima Heloisa, que esteve ao meu lado em TODOS os momentos, não tenho palavras para agradecer!

Às secretárias do departamento, Lucelene, Adriana e Rhaimá, pela convivência e paciência.

À amiga Anne que muito me ajudou em todas as dúvidas e com carinho me acalmou, meu amigo Américo, que acompanhou toda a luta, meu obrigadaaaa!

À Empresa Vitao/PR, nome de Melba, que cederam as linhaças utilizadas na realização deste trabalho.

A todos que de alguma forma compartilharam comigo esses dois anos de trabalho e crescimento pessoal.

Minhas amigas lindas, Dani, que sempre esteve comigo com palavras que soavam como brisa leve no meu coração, Luzia, não encontro palavras para agradecer a amizade que começou no mestrado e com certeza nunca morrerá, obrigada pela presença na minha vida, Mônica, amiga de “longe”, mas a distância não faz diferença alguma, você foi luz neste caminhar, Mel, minha amiga irmã, você é meu presente de Deus, meu tesouro, e seu esposo e grande amigo, Cosme, pela paciência das muitas vezes que “roubei” a Mel, Amo vocês!

“Talvez não tenhamos conseguido fazer o melhor, mas lutamos para que o melhor fosse feito. Não somos o que deveríamos ser, não somos o que iremos ser, mas Graças a Deus, não somos o que éramos.”

Martin Luther King

"Isso, porque sou o Senhor, o teu Deus, eu te pego pela mão e digo: Não temas, que Eu te ajudarei.”

Isaías 41, 13

RESUMO GERAL

Entre os alimentos considerados funcionais encontra-se a linhaça (*Linum usitatissimum* L.), um pequeno grão de formato oval com grande valor nutritivo, por ser fonte de fibras, ácidos graxos essenciais e proteína. O presente trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades funcionais de duas variedades de linhaça (marrom e dourada) em diferentes condições de armazenamento temperatura 23°C e de 8°C e submetidas a diferentes temperaturas de forneamento (120, 140, 160, 180 e 200°C). As amostras de linhaça foram cedidas pela Empresa Vitao, Curitiba/PR e as análises foram realizadas no Departamento de Ciência dos Alimentos – UFLA, Lavras/MG. Na condição de armazenamento os grãos de linhaça foram moídos em moinho Multi-uso TE – 631/2 Tecnal, até obtenção das farinhas, ambas foram envasadas, etiquetadas, armazenadas em embalagens de vidro, das quais uma foi mantida à temperatura de 23°C e a outra foi mantida sob temperatura de 8°C. A cada 30 dias foi homogeneizada e retirada, o suficiente (em triplicata) para a realização das análises químicas (perfil de ácidos graxos, compostos fenólicos e atividade antioxidante, esta sendo pelos métodos β -caroteno/ácido linoleico e ABTS - 2,2'-azinobis(3-ethylbenzotiazolina-6-acidosulfonico)) até completar o período de 120 dias. Na etapa de forneamento os grãos de linhaça foram submetidos, inteiros, a tratamento térmico nas temperaturas de 120, 140, 160, 180 e 200°C por um período de 40 minutos, em seguida foram moídos em moinho Multi-uso TE – 631/2 Tecnal até obtenção das farinhas, ambas foram envasadas, etiquetadas, armazenadas em embalagens de vidro, das quais uma foi mantida à temperatura de 23°C e feitas as análises de perfil de ácidos graxos, compostos fenólicos e atividade antioxidante, esta sendo pelos métodos β -caroteno/ácido linoleico e ABTS. Quanto aos resultados da composição centesimal feita com os grãos verificou-se que as variedades de linhaça, marrom e dourada utilizadas neste estudo contêm, respectivamente: umidade (6,82% e 6,05%), extrato etéreo (35,84% e 35,73%), proteína (17,65% e 21,35%), cinzas (3,43% e 2,59%), fibra solúvel (8,42% e 8,33%), fibra insolúvel (15,65% e 15,48%), carboidratos (12,18% e 7,45%) e valor energético (441,88% e 436,77%). No armazenamento e forneamento foram observados mais de 10 compostos de ácidos graxos. Os teores de compostos fenólicos e a atividade antioxidante apresentaram, em ambas as variedades e tratamentos, um decréscimo até os 40 primeiros dias com posterior elevação. Houve aumento nos teores de compostos fenólicos e na atividade antioxidante. É possível afirmar que a linhaça manteve suas propriedades funcionais quando armazenadas e submetidas a tratamento térmico.

Palavras-chave: *Linum usitatissimum* L. Antioxidante. Processamento. Armazenamento. Alimentos funcionais

GENERAL ABSTRACT

It is found the flaxseed (*Linum usitatissimum* L.), among the considered functional foods; a small grain of oval shape with great nutritional value, being a source of fiber, protein and fatty acids essences. This study had as objective to evaluate the functional properties of two flaxseed varieties (brown and golden) at different storage conditions at temperature of 23°C and 8°C and subjected to different heat temperatures (120, 140, 160, 180 and 200°C). Flaxseed samples were provided by the Vitao Company, Curitiba/PR, and analyzes were performed in the Food Science Department - UFPA, Lavras/MG. In the storage condition the flaxseeds were ground in a mill Multi-use TE - 631/2 Tecnal, until obtain the meal, both were packaged, labeled and stored in glass bottles, one of which was kept at temperature of 23°C and the other was kept under temperature of 8°C. Every 30 days was homogenized and removed enough (in triplicate) to perform chemical analysis (fatty acids profile, phenolic compounds and antioxidant activity, this being the methods β -carotene/linoleic acid and ABTS - 2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)) until to complete the period of 120 days. In the heat stage the flaxseed were submitted, whole, to heat treatment at temperatures of 120, 140, 160, 180 and 200°C for a period of 40 minutes, then were milled in a mill Multi-use TE - 631/2 Tecnal until to obtain the meal, both were packaged, labeled and stored in glass bottles, one of which was kept at temperature of 23°C and made the analysis of fatty acid profile, phenolic compounds and antioxidant activity, this being by methods β -carotene/linoleic acid and ABTS. As for the results of the centesimal composition made from the seeds was found that the varieties of flaxseed (brown and gold) used in this study contains respectively: moisture (6.8% and 6.05%), ether extract (35.84% and 35.73%), protein (17.65% and 21.35%), ash (3.43% and 2.59%), soluble fiber (8,42% e 8,33%), insoluble fiber (15,65% e 15,48%), carbohydrate (12,18% e 7,45%) and energetic value (441,88% e 436,77%). In the storage and heat were found more than 10 fatty acid compounds. The phenolic compounds and antioxidant activity showed, in both varieties and treatments, a decrease until the first 40 days with a subsequent rise. There was an increase in phenolic compounds content and antioxidant activity. It can be argued that flaxseed maintained their functional properties when stored and subjected to heat treatment.

Keywords: *Linum usitatissimum* L. Antioxidant. Processing. Storage. Functional foods.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1 Ilustração da planta e de uma plantação do Linho evidenciando os talos ramificados e suas flores de coloração azul 20
- Figura 2 Grãos de linhaça dourada e marrom..... 21
- Figura 3 Competição metabólica entre as séries ômega 6 e ômega 3 no organismo 29
- Figura 4 Enterolactona e Enterodiol 40
- Figura 5 Secoisolariciresinol diglicosídeo 41
- Figura 6 Estrutura química da lignana vegetal secoisolariciresinol diglicosídeo e seus metabólitos 41

CAPÍTULO 2

- Figura 1 Estabilização do radical ABTS^{•+} por um antioxidante e sua formação pelo persulfato de potássio 89

CAPÍTULO 3

- Figura 1 Estabilização do radical ABTS.⁺ por um antioxidante e sua formação pelo persulfato de potássio 121

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1	Concentração dos ácidos linoleico, alfa-linolênico e razão n-6/n-3, em alimentos de origem vegetal.....	30
Tabela 2	Classe de compostos fenólicos em plantas e suas estruturas químicas	37
Tabela 3	Conteúdo de lignanas de alguns alimentos.....	42
Tabela 4	Comparação do valor nutritivo das farinhas de linhaça e de soja	43

CAPÍTULO 2

Tabela 1	Valores médios da composição centesimal (%) e valor calórico de grãos de linhaça marrom e dourada ⁽¹⁾	72
Tabela 2	Ácidos graxos (%) presentes no óleo extraído do grão de linhaça da variedade marrom, submetida em diferentes ambientes, durante o armazenamento.....	74
Tabela 3	Ácidos graxos (%) presentes no óleo extraído do grão de linhaça da variedade dourada, submetida em diferentes ambientes, durante o armazenamento.....	75
Tabela 4	Teor dos ácidos α -linolênico (ω 3) e ácido linoleico (ω 6) em grãos de linhaça da variedade marrom submetidas a duas temperaturas, durante o armazenamento, em g/100g de grão	81
Tabela 5	Teor dos ácidos α -linolênico (ω 3) e ácido linoleico (ω 6) em grãos de linhaça da variedade dourada submetidas a duas temperaturas, durante o armazenamento, em g/100g de grão	81
Tabela 6	Teores de compostos fenólicos totais (mgE AG .100 g ⁻¹) nas linhaças marrom e dourada trituradas e armazenadas por 120 dias em temperaturas de 23°C e 5° C	82

Tabela 7	Valores médios de atividade antioxidante total (AAT) (%I) de grãos de linhaça pelo método β -caroteno/ácido linoleico	87
Tabela 8	Valores médios de atividade antioxidante total (AAT) (Mm Trdox 1g) de grãos de linhaça dourada e marrom pelo método ABTS.....	88

CAPÍTULO 3

Tabela 1	Perfil e teores (%) dos ácidos graxos de grãos de linhaça marrom (LM) e dourada (LD), <i>in natura</i> e submetidas a diferentes temperaturas de forneamento por 40 minutos	110
Tabela 2	Contendo (g/100g) de ácidos α -linolênico (ω 3) e ácido linoleico (ω 6) em grão de linhaça marrom e dourada submetidas a diferentes temperaturas de forneamento.....	113
Tabela 3	Teor médio de compostos fenólicos (mgEAG.100 g ⁻¹) em grãos de linhaça marrom e dourada sob o efeito de temperaturas de forneamento (120, 140, 160, 180 e 200°C) por 40 minutos	116
Tabela 4	Atividade antioxidante total (AAT) (%I) em grãos de linhaça dourada e marrom sob o efeito de temperaturas de forneamento (120, 140, 160, 180 e 200°C) por 40 minutos pelo método β -caroteno/ ácido linoleico	119
Tabela 5	Atividade antioxidante total (AAT) (μ M trolox/g) em grãos de linhaça dourada e marrom sob o efeito de temperaturas de forneamento (120, 140, 160, 180 e 200°C) por 40 minutos pelo método ABTS.....	120

LISTA DE SIGLAS

DCNT	Doença crônica não transmissível
ALA	ácido α -linolênico
LA	ácido linoléico
ω 3	ômega 3
ω 6	ômega 6
EPA	ácido eicosapentaenóico
DHA	ácido docosahexaenóico
AAT	atividade antioxidante total
ABTS	2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácidosulfônico)
DIC	delineamento inteiramente casualizado
AGPI	ácido graxo poliinsaturado
AGMI	ácido graxo monoinsaturado
AG	ácido graxo
AA	atividade antioxidante
AI	adequate intake
LDL	low density lipoprotein
Kcal	quilocaloria

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1 Introdução Geral	16
1	INTRODUÇÃO	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	Considerações gerais sobre a linhaça	19
2.2	Consumo da linhaça e benefícios para a saúde humana	22
2.2.1	Compostos lipídicos da linhaça	23
2.2.2	Fibra alimentar	31
2.2.3	Ácidos fenólico e tocoferóis da linhaça	35
2.2.4	Lignananas em linhaças	38
2.2.5	Demais constituintes da linhaça	43
2.3	Produtos alimentares à base de linhaça	44
2.4	Processamento, armazenamento e estabilidade da linhaça	46
	REFERÊNCIAS	49
	CAPITULO 2 efeito de tempos de armazenamento de linhaças marrom e dourada sob temperatura de 5°C nos compostos fenólicos, atividade antioxidante e perfil lipídico	59
1	INTRODUÇÃO	61
2	MATERIAL E MÉTODOS	66
2.1	Obtenção e preparação da amostra	66
2.2	Composição centesimal e valor energético	66
2.3	Perfil de ácidos graxos	68
2.4	Compostos fenólicos	68
2.5	Atividade antioxidante	69
2.6	Análise estatística	71
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
3.1	Composição centesimal e valor energético da linhaça	72
3.2	Perfil de ácidos graxos	73
3.3	Compostos fenólicos	82
3.4	Atividade Antioxidante total pelo Sistema β-caroteno/ácido linoleico	86
3.5	Atividade Antioxidante pelo método ABTS	88
4	CONCLUSÃO	91
	REFERÊNCIAS	92
	CAPITULO 3 Efeitos de diferentes temperaturas de forneamento de grãos de linhaças marrom e dourada no perfil lipídico e capacidade antioxidante	99
1	INTRODUÇÃO	101
2	MATERIAL E MÉTODOS	104
2.1	Obtenção e preparação da amostra	104

2.2	Perfil de ácidos graxos	104
2.3	Compostos fenólicos	105
2.4	Atividade antioxidante	106
2.5	Análise estatística	107
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	109
3.1	Perfil de ácido graxo	109
3.2	Compostos fenólicos	116
3.3	Atividade Antioxidantes pelo Sistema β-caroteno/ácido linoleico e pelo ABTS⁺	119
4	CONCLUSÃO	123
	REFERÊNCIAS	124

CAPÍTULO 1 Introdução Geral

1 INTRODUÇÃO

É reconhecida a importância do consumo da linhaça, o grão do linho (*Linum usitatissimum* L.) pelas evidências dos efeitos benéficos sobre os fatores de riscos para doenças crônicas não transmissíveis, DCNT (obesidade, doenças cardiovasculares, cânceres, diabetes, algumas síndromes oculares e outras).

Além de macro e micronutrientes, a linhaça tem compostos bioativos de ação benéfica ao homem. São destacados os ácidos graxos poli-insaturados, mais especificamente o elevado teor de ácido α -linolênico, ω 3, ALA e considerado teor de ácido linoleico, ω 6, LA, também pelo notável conteúdo de fibras alimentares, possui ainda elevada quantidade de lignanas com destaque para o secoisolariciresinol e matairesinol, possui tocoferóis (vitamina E), teor elevado de potássio e ácidos fenólicos, conferindo a linhaça atividades antioxidantes, anti-inflamatórias, estrogênicas, antiestrogênicas e anticarcinogênicas (ALMEIDA; BOAVENTURA; SILVA, 2009; BHATHENA; VELASQUEZ, 2002; COUTO; WICHMANN, 2011; FAINTUCH et al., 2006; HU; YUAN; KITTS, 2007; MARTINS et al., 2008; NEMES; ORSAT, 2011; PINHEIRO JÚNIOR et al., 2007).

Do linho são obtidas a fibra têxtil e o grão. A fibra têxtil é utilizada nas indústrias de tecidos e de papéis e o grão além do consumo, inteiro ou triturado, dele é extraído o óleo, liberando a torta ou farelo, resíduo desengordurado. O óleo de linhaça pode ser encapsulado, comercializado em farmácias e usado como suplementos de dietas, e com destacado uso nas indústrias de tintas, vernizes, sabões, cosméticos, além de combustível e lubrificante de motores, enfatizando que o farelo de linhaça é utilizado na alimentação humana e animal

(COSKUNER; KARABABA 2007; COUTO; WICHMANN, 2011; FONSECA; YOSHIDA, 2009).

São cultivadas as variedades de linhaça de colorações marrom e dourada. Grãos de linhaças inteiras e/ou trituradas são comumente comercializadas em embalagens de polietileno de 200g a 500g com data de validade de 12 meses, com a seguinte indicação na embalagem “conserva em local seco e fresco com embalagem bem fechada e depois de aberta consumir em 30 dias”.

Em virtude da grande concentração de ALA e considerada de LNA, o grão de linhaça, quando quebrado é mais suscetível à oxidação, gerando radicais livres. Daí a necessidade de se consumir rapidamente e nunca guardar nem mesmo na geladeira, enfatiza Antoniassi, pesquisadora da EMBRAPA Agroindústria de Alimentos-RJ (MENDONÇA, 2012).

A linhaça é consumida crua pura ou combinada com outros alimentos, adicionada ao leite (mingaus), iogurtes, frutas, sorvetes e ainda adicionada a farinha de trigo para a obtenção de produtos cujas massas sofrerão tratamento térmico por tempo determinado, 200 a 220°C/ 20 a 35 minutos a exemplo de pães, bolos, biscoitos e *muffins* (BORGES et al., 2011; OLIVEIRA; PIROZI; BORGES, 2007).

O tratamento térmico é a principal causa da alteração do teor de antioxidantes naturais em alimentos, sendo que o processamento e alguns procedimentos realizados para a preservação dos alimentos podem ser responsáveis tanto pelo aumento quanto pelo decréscimo da ação antioxidante (KAUR; KAPPOR, 2001; NICOLI et al., 1997; NICOLI; ANESE; PARPINEL, 1999).

O perfil lipídico também pode mostrar-se modificado frente ao calor, sendo que o forneamento de massas contendo a linhaça (180°C /40minutos)

provocou redução nos teores de ácidos graxos saturados e de ácidos graxos poli-insaturados, quando comparados com o grão *in natura* (MARQUES, 2008).

Couto e Wichmann (2011) também informam que frente à presença de ALA, LA e outros ácidos graxos no grão de linhaça, cuidados especiais devem ser tomados durante seu armazenamento como temperaturas refrigeradas, embalagens opacas e locais secos, evitando possível processo de rancidez auto-oxidativa.

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo geral verificar em linhaças marrom e dourada o efeito do tempo e da temperatura de armazenamento e de forneamento sobre compostos fenólicos, atividade antioxidante e perfil lipídico e como objetivos específicos:

- a) verificar a composição centesimal das linhaças marrom e dourada;
- b) verificar o efeito das temperaturas de armazenamento e de processamento em diferentes tempos na atividade antioxidante de linhaças marrom e douradas trituradas;
- c) determinar o perfil lipídico das linhaças submetidas a diferentes temperaturas e tempos de armazenamento e forneamento;
- d) determinar a porção fibra alimentar de ambas variedades de linhaça marrom e dourada;
- e) determinar os compostos fenólicos e atividade antioxidante das linhaças marrom e douradas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Considerações gerais sobre a linhaça

A linhaça é uma oleaginosa originária do linho (*Linum usitatissimum*, Linaceae), trata-se de uma planta nativa do Oeste asiático e do mediterrâneo. Os relatos mais antigos sobre essa planta são datados de 5.000 anos a. C. Foi introduzida nas Américas pelos espanhóis e depois trazida para o Chile no início do século XIX, seu plantio está difundido por todo o mundo e o consumo da linhaça é muito comum nos países da Europa e na América do Norte (BERGLUND; ZOLLINGER, 2002).

A linhaça também é conhecida por outros nomes populares como: Linho, Linho-da-terra, Linho-do-inverno, Linho-galego, Linho-mourisco e Lino. As seguintes características devem ser citadas: a) plantas de talos entre 50 a 100cm, b) ramificação na parte superior da planta, c) flores de cor azul-clara, d) cada flor de cinco pétalas carrega cerca de 50 grãos, e) grão chato e arredondado, com extremidade pontiaguda, medindo 2 mm de diâmetro de cor amarela a marrom-claro, f) floração durante todo o ano (JACINTO, 2007; LINHAÇA, 2012; MATIAS, 2005). A Figura 1 ilustra a planta e uma plantação de linho.



Figura 1 Ilustração da planta e de uma plantação do Linho evidenciando os talos ramificados e suas flores de coloração azul

Fonte: Linhaça (2012)

O maior produtor de linhaça no mundo é o Canadá, com 40% da produção mundial, este grão é amplamente produzido por outros países como China e Argentina. A cultura, no Brasil, teve início no século XVII, na ilha de Santa Catarina região Sul do Brasil, hoje o Estado com maior produção é o Rio Grande do Sul, mais especificamente a região Noroeste, sendo que a quantidade produzida de grão de linhaça no ano de 2010 foi da ordem de 16.159 toneladas (BOMBO, 2006; JACINTO, 2007).

Por tratar-se de uma cultura de inverno e com ciclo de aproximadamente 150 dias, no Canadá os grãos são semeados em abril, com colheita no final de agosto ou início de setembro e no Brasil são semeadas no início do mês de junho e colhidas em outubro ou início de novembro (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2010). A Figura 2 ilustra a foto da linhaça dourada e marrom.



Figura 2 Grãos de linhaça dourada e marrom

Fonte: Diferença... (2012)

O grão marrom é cultivado com auxílio de agrotóxicos e em regiões de clima quente e úmido como exemplo do Brasil, enquanto que a dourada é plantada de forma orgânica e em regiões frias como o Canadá e o Norte dos Estados Unidos (CAMPOS, 2007).

As indústrias que se beneficiam do linho são as de tecidos, papéis, tintas, cosméticos, lubrificantes e de alimentos. Da fibra têxtil são fabricados tecidos, “o linho”, e do grão além do seu consumo na alimentação humana e animal, são extraídos e comercializados o óleo, gerando a porção desengordurada, o farelo de linhaça, muito utilizado para a fabricação de rações animais. Grande atenção tem sido dada nos últimos tempos ao consumo do grão marrom e dourada (inteiros ou moídos) devido à sua composição de nutrientes e compostos bioativos (NOVELLO; POLLONIO, 2011; OOMAH; MAZZA, 2000).

O grão de linhaça possui uma textura crocante e mastigável e um sabor agradável. Sua coloração variando marrom-avermelhado ao amarelo, é determinada pela quantidade de pigmentos no tegumento interno, quanto maior a quantidade mais escuro é o grão, essa cor pode ser facilmente alterada por meio de simples técnicas de reprodução de plantas. Torna-se importante mencionar que muitas são as discussões e dúvidas quanto às propriedades dos grãos de

linhaça marrom e dourada, sendo considerado que ambas se assemelham na composição química (CAMPOS, 2007; CARTER, 1996; FREEMAN, 1995). Conforme Rubilar et al. (2010) a composição química da linhaça varia com a variedade e depende das condições de plantio e crescimento e conforme Tabela brasileira de composição de alimentos (OOMAH; MAZZA, 2000; TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS - TACO, 2011) os constituintes químicos do grão (%) se estabelecem em, proteínas (14,1 e 20,3), lipídeos (32,3 e 43,7), carboidratos (43,3 e 9,8 este último apenas o carboidrato solúvel) e cinzas (3,7 e 4,8) respectivamente. Linhaça contém 35 a 45% de fibras, sendo 2/3 de fibra insolúvel e 1/3 solúvel. Possui elevado teor em potássio, sendo cerca de sete vezes maior que o da banana. A Vitamina E está presente na linhaça como γ -tocoferol, atuando como antioxidante biológico (MORRIS, 2007; TARPILA; WENNBERG; TARPILA, 2005).

É considerado elevado o teor de óleo no grão de linhaça, se destacando o ácido graxo, o α -linolênico C18:3, seguido pelo ácido linoleico C18:2, pertencentes às famílias ω 3 e 3ω 6 respectivamente, ambos não são sintetizados pelo organismo humano devendo estar presentes na dieta diária em proporções adequadas (TARPILA; WENNBERG; TARPILA, 2005).

2.2 Consumo da linhaça e benefícios para a saúde humana

A linhaça é considerada um alimento funcional em alguns países a exemplo do Canadá (OOMAH, 2003; OOMAH; MAZZA, 2000).

No Brasil a legislação não define alimento funcional e sim “alegação de propriedade funcional e de saúde” para determinados alimentos e /ou ingredientes que possuem compostos bioativos comprovados caso a caso e, registrados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA (BRASIL, 2012).

Um alimento ou ingrediente com “alegação de propriedade funcional” é aquele que possui propriedade relativa ao papel metabólico ou fisiológico que o nutriente ou não nutriente tem no crescimento, desenvolvimento, manutenção e outras funções normais do organismo humano; o alimento ou ingrediente com “alegação de propriedade de saúde” é aquele cuja propriedade afirma, sugere ou implica a existência da relação entre o alimento ou ingrediente com doença ou condição relacionada à saúde Resolução nº 19 Anvisa, de 30 de abril de 1999 (BRASIL, 1999b).

Foram aprovadas pela Anvisa, Resolução nº 18/99, e atualizada em 2008, as Alegações de Propriedades Funcionais e/ou de Saúde para vários nutrientes e não nutrientes sendo para as fibras alimentares e para os ácidos graxos ômega 3 é relatado o seguinte: para as fibras alimentares “as fibras alimentares auxiliam o funcionamento do intestino. Seu consumo deve estar associado a uma alimentação equilibrada e hábitos de vida saudáveis”. Para os ácidos graxos ômega 3: “o consumo de ácidos graxos ômega 3 auxilia na manutenção de níveis saudáveis de triglicerídeos, desde que associado a uma alimentação equilibrada e hábitos de vida saudáveis” sendo colocado ainda: “essa alegação somente deve ser utilizada para os ácidos graxos ω -3 de cadeia longa provenientes de óleos de peixe (EPA – ácido eicosapentaenoico, EPA e DHA - ácido docosahexaenoico)” (BRASIL, 1999a).

2.2.1 Compostos lipídicos da linhaça

Os ácidos graxos poli-insaturados (AGPI) constituem-se de duas famílias de ácidos graxo (AG)s, são eles ômega 3 (ω 3 ou n-3), também denominado família do ácido alfa-linolênico (ALA) e ômega 6 (ω 6 ou n-6), conhecido como a família do ácido linoleico (LA) tratam-se de ácidos graxos distintos entre si pela localização da primeira dupla ligação contida na molécula

a partir do grupo metil terminal do ácido graxo (MOREIRA; MANCINI FILHO, 2004). Ambos ALA e LA são considerados ácidos graxos essenciais, pois os seres humanos não são capazes de sintetizá-los por não possuírem dessaturases que introduzam duplas ligações além do carbono 9 (MAHAN; ESCOTT-STUMP, 1998).

O conteúdo de óleo no grão de linhaça se apresenta entre 35 e 45%, sendo que desse total, 73% tratam-se de ácidos graxos poli-insaturados e 18% de monoinsaturados e 9% saturados. Encontra-se no óleo de linhaça elevado conteúdo de ácido graxo α -linolênico C18:3 ω 3 (45 a 60%) seguido pelo ácido linoleico C18:2 ω 6 (15 a 18%). Salientando que o teor de ácido α -linolênico no óleo de canola de 9,1%, e no de soja 6,8%, e teores menores ainda nos óleos de milho, algodão e de girassol, porém, esses óleos citados têm conteúdos de ácido linoleico (ω 6) variando entre 35 e 37% (TARPILA; WENNBERG; TARPILA, 2005).

Innis (2000) descreve sobre a ação benéfica do AG ω 3 a importante relação entre o AG ômega 3 no desenvolvimento do sistema nervoso central (embriogênese e infância) e no funcionamento ideal do mesmo. Os animais ou as crianças submetidos a dietas pobres em AGPI ômega 3 sofrem alterações na sua capacidade de aprendizado menor acuidade visual alterações nos eletroretinogramas, diminuição na tolerância ao etanol e a anestésicos. Estudos mostram que a principal fase em que é necessário haver AGPI ômega 3 na dieta é quando há o desenvolvimento rápido do cérebro o que depende da espécie, o que para humanos ocorre no terceiro trimestre de gestação até 18 meses após o nascimento. Já em ratos começa imediatamente após o nascimento e continua até 10 dias de idade.

Relatados como compostos essenciais das membranas das células do sistema imune, os ácidos graxos são necessários para o crescimento e a manutenção dessas células, os ácidos graxos ômega-3 e ômega-6 influenciam no

metabolismo dos eicosanoides, na expressão gênica e na comunicação intercelular (interações diretas com canais iônicos ou receptores nucleares). A composição dos ácidos graxos poli-insaturados das membranas celulares depende, em grande dimensão, da quantidade ingerida na dieta (ALMEIDA; BOAVENTURA; SILVA, 2009), portanto é necessário considerar as recomendações das quantidades apropriadas para o consumo diário, as duas classes devem ser muito bem diferenciadas, pois são metabolicamente diferentes e possuem funções fisiológicas opostas, desse modo o equilíbrio nutricional é importante para se conseguir a homeostase e desenvolvimento normal do organismo (SIMOPOULOS, 2000).

O metabolismo dessas duas famílias distintas de ácidos graxos ($\omega 3$ e $\omega 6$) utiliza as mesmas enzimas, resultando em competição, o excesso no consumo de ácidos graxos de uma interfere o metabolismo da outra, reduzindo a incorporação dos lipídeos nos tecidos, resultando na alteração dos seus efeitos biológicos (EMKEN, 1995).

Oomah e Mazza (2000) citam os seguintes efeitos biológicos atribuídos ao ácido graxo omega 3:

- a) modulação da síntese e metabolismo dos eicosanoides derivados do ácido araquidônico;
- b) redução na produção de leucotrienos;
- c) reserva como precursor para a síntese de lipídios cerebrais;
- d) alívio de sintomas clínicos neurológicos;
- e) proteção contra doenças cardiovasculares e infarto do miocárdio;
- f) controle da pressão arterial;
- g) diminuição dos níveis de colesterol e triacilglicerois séricos;
- h) redução da mortalidade por câncer;
- i) possíveis efeitos antitrombogênicos e antiarrítmicos;

- j) inibição da proliferação de linfócitos;
- k) diminuição no crescimento de tumores;
- l) atividades antiparasíticas e antimaláricas;
- m) essencial para o desenvolvimento neurológico ótimo em seres humanos.

Do metabolismo do ácido linoleico (ω -6) resulta a formação do ácido araquidônico (AA), que é precursor de poderosos eicosanoides dos muitos que promovem a aglutinação/agregação das plaquetas do sangue e reações inflamatórias. Dietas ricas nesse ácido graxo essencial levam a uma ação do sistema imunológico acima do requerido, o que contribui no desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis, DCNT (SIMOPOULOS, 2000).

Do metabolismo do ALA, ácido α -linolênico (ω 3), por sua vez, resulta os eicosanoides com menor poder inflamatório e vasomotor do que os derivados dos n-6 apresentando portanto funções antagônicas, apesar de utilizarem as mesmas enzimas conversoras (ALMEIDA; BOAVENTURA; SILVA, 2009).

O consumo do óleo de linhaça conduz a elevação no sangue dos ácidos graxos ω -3 ALA e lentamente uma elevação do EPA e do DHA. Estudos constatarem que o EPA mostra-se como um precursor de citocinas com menor poder inflamatório e compensando, inibe a metabolização de ácido araquidônico (AA) responsável pela síntese de citocinas com maior poder inflamatório (SIMOPOULOS, 1999).

São citados três principais efeitos benéficos do ácido α -linolênico ω 3, ALA, para a saúde humana: primeiro por ser o precursor dos ácidos eicosapentaenoico (EPA) 20:5n-3 e docosahexaenoico (DHA) 22:6n-3. Pesquisas mostram que o aumento do consumo de ALA eleva nos tecidos os conteúdos de ALA, EPA e docosapentaenoico (DPAn-3) 22:5n-3 e em alguns casos, o conteúdos de DHA. Os eicosanoides sintetizados a partir de ALA (ω -3)

possuem menor poder inflamatório e vasomotor dos que os dos derivados (ω -6); segundo, o ALA compete com as mesmas enzimas metabólicas do ácido linoleico (ω -6), LNA, portanto o consumo de ALA pode ser uma boa estratégia para diminuir o alongamento dos ácidos graxos (ω -6) levando a redução do conteúdo do ácido araquidônico (ω -6), enfatiza-se que os ácidos graxos da família ω -6 estão presentes em níveis elevados na dieta ocidental que se pensa existir um desequilíbrio entre os ácidos graxos das famílias (ω -3) e (ω -6) e terceiro o ALA pode produzir efeitos benéficos por sua interação direta com os canais iônicos ou receptores nucleares “receptor ativado por proliferador peroxissomal” (PPAR) e “receptor do ácido 9-cis retinoico” (RXR). Assim semelhante ao EPA e ao DHA, o ALA pode também apresentar numerosos efeitos benéficos para o organismo (BARCELÓ-COBLIJN; MURPHY, 2009; GUIZI et al., 2008; SIMOPOULOS, 2000; URQUIZA et al., 2000).

Connor et al. (2000) também enfatiza quanto ao metabolismo do ácido α -linolênico (ALA) sendo destacados três importantes ocorrências: a β -oxidação, que produz energia; armazenado na forma de triacilgliceróis e fosfolípídeos nas membranas celulares e a conversão do mesmo em ácido eicosapentaenoico (EPA) e docosahexaenoico (DHA).

Barceló-Cobljin e Murph (2009) informam que ALA é acumulado em diversos tecidos do organismo humano, apesar de uma certa porcentagem ser submetida a β -oxidação. Informam que ao entrar no tecido, o ALA é substrato de alongamento sob ação das dessaturações enzimáticas “de uma forma dependente de cada tecido”, levando a síntese de AG de cadeias mais longas e que, tendo em conta os valores estimados de exigências diárias para o DHA e considerando os valores cinéticos e de meia vida de ALA e DHA, os autores propõem que ALA na dieta é capaz de cumprir as exigências de DHA. Com base ainda num relativo número de trabalhos *in vitro* e *in vivo*, ALA exerce efeitos idênticos aos do DHA, contudo necessitando de situações de tratamentos

mais longos e concentrações mais elevadas de ALA, isso quando comparados com DHA consumido na dieta (óleos de peixes). Sugerindo que em muitos casos ALA usa idênticos mecanismos do DHA para exercer sua ação, enquanto em outros casos, seus efeitos acontecem através de sua conversão em DHA. Enfatizam ainda que com base nas provas cinéticas, estudos tendo ALA na dieta e estudos com humanos, a conversão de ALA em DHA pelo fígado e em tecidos específicos que necessitam de DHA, como o cérebro, o ALA irá fornecer DHA quando ampla quantidade de ALA (□que 1200mg) for consumida.

Sintomas de síndromes de deficiências de AG ômega 3 não estão bem definidos. A deficiência de AGPI essenciais está relacionada a alterações na atividade de diversas enzimas associadas a membranas, receptores e sistemas transportadores. Sabe-se como esperado, que há alteração no perfil lipídico do sistema nervoso central com acúmulo de AGPI ômega 6 e/ou ômega 9 (CURI et al., 2002).

O ácido 5,8,11-eicosatrienoico (ômega 9), índice de deficiência de AGPI essenciais, somente se acumula quando há deficiência tanto de ômega 6 como ômega 3, uma vez que as dessaturases que participam de sua síntese tem ação preferencial por AG ômega 3, depois ômega 6 e, por último, ômega 9 assim, a falta de acúmulo do ácido 5,8,11 eicosatrienoico não é índice seguro de disponibilidade adequada de AG ômega 3. Outra classe de lipídeos cuja distribuição se altera na deficiência de AG ômega 3 é a dos esfingolipídios. Tais lipídios são importantes na estrutura dos neurônios e na síntese da bainha de mielina. Seu conteúdo diminui na deficiência de AGPI essenciais, assim como há alteração dos seus grupamentos acila, que passam a ter predominantes AG saturados, monoinsaturados ou ômega 6 (INNIS, 2000).

A Figura 3 representa a competição metabólica entre as séries ômega 6 e ômega 3.

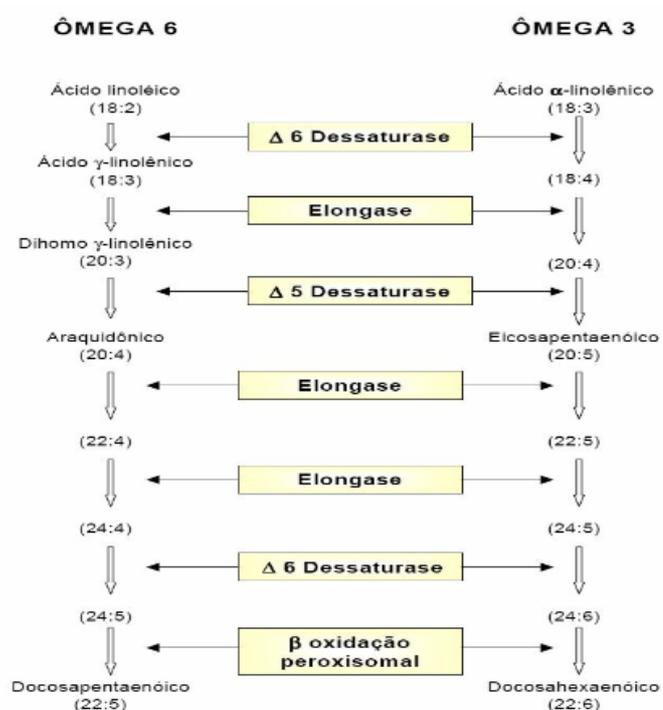


Figura 3 Competição metabólica entre as séries ômega 6 e ômega 3 no organismo

Fonte: Salem (1999)

Os ácidos linoleico e alfa-linolênico estão distribuídos na natureza, nas hortaliças de coloração verde-escuras, cereais e leguminosas como aveia, milho e soja são ricos em $\omega 6$ enquanto que o óleo de linhaça é considerado uma rica fonte de $\omega 3$. O que pode ser observado na Tabela 1 (MARTIN et al., 2006).

Tabela 1 Concentração dos ácidos linoleico, alfa-linolênico e razão n-6/n-3, em alimentos de origem vegetal

ALIMENTO	18:2 n-6(mg/g)	18:3 n-3(mg/g)	n-6/n-3
Hortalças			
Agrião	0,4	1,8	0,2
Alface	0,4	0,9	0,4
Brócolis	0,5	1,1	0,5
Beldroega	0,9	4,1	0,2
Couve	1,4	1,8	0,8
Couve-flor	0,5	1,7	0,3
Espinafre	0,3	1,3	0,2
Hortelã	0,3	2	0,2
Frutas			
Abacate	16,7	1,3	12,5
Banana	0,5	0,3	1,7
Mamão	0,1	0,3	0,3
Manga	0,4	0,1	4
Morango	1,8	0,7	2,6
Cereais e leguminosas			
Arroz	0,6	0,1	4,8
Arroz (parbolizado)	3,1	0,2	17,9
Aveia	24,4	1,1	22
Ervilha	1,4	0,3	4,9
Feijão	0,8	1,1	0,7
Lentilha	1,4	0,4	3,7
Milho	58,6	1,8	32,5
Soja	44,6	6	7,5
Óleos			
Canola	203	93	2,2
Linhaça	127	533	0,2
Milho	523	11,6	45,1
Oliva	97,6	7,6	12,8
Soja	510	68	7,5

Fonte: Martin et al. (2006)

¹Alimento cru; ²Alimento cozido

Quanto às funções cognitivas e o papel dos ácidos graxos na bioquímica do cérebro devem ser consideradas as concentrações dos ácidos graxos poli-insaturados e também é sugerida a proporção dos ácidos ω -3 e ω -6 de 1:4 responsável por exercer efeitos benéficos para as funções cerebrais, como memória, aprendizado, cognição e humor. Dada a importância dos ácidos graxos e a ocorrência de peroxidação lipídica para as funções cerebrais estão relacionadas a mudanças no comportamento, como por exemplo a anorexia, que é um dos fatores mais importantes para o desenvolvimento da caquexia em portadores de tumor. Portanto, muitas outras funções podem ainda ser descobertas para os ácidos graxos no complexo órgão chamado cérebro (CURI et al., 2002).

Os valores da ingestão adequada, *Adequate Intake* (AI) de ácido α -linolênico (ω -3) ALA, para indivíduos de 14 a 70 anos é de 1,6g/dia (homens) e 1,1g/dia (mulheres) e de ácido linoleico (ω -6), LA, para indivíduos de 19 a 50 anos e 51 a 70 anos de 17g/dia e 14g /dia respectivamente (homens) e 12g/dia e 11g/dia respectivamente (mulheres) (INSTITUTE OF MEDICINE - IOM, 2005).

Uma ingestão de ALA de 2g/dia pode ser obtida em 4-5 g de óleo de linhaça (TARPILA; WENNBERG; TARPILA, 2005), o que equivale à quantidade em torno de 10g de grãos e em medida caseira, uma colher de sopa.

2.2.2 Fibra alimentar

As fibras estão presentes nas paredes celulares das plantas, desempenhando importante função estrutural nos vegetais, sendo denominada fibra dietética a porção não digestível do alimento, sendo quimicamente caracterizada na sua maioria como carboidratos, porção que passa relativamente

intacta pelo trato digestório, porém desempenhando funções específicas no cólon, classificada como fibras solúveis e fibras insolúveis em água.

Embora as fibras alimentares sejam consideradas como um grupo, fibras solúveis e insolúveis, elas exercem efeitos fisiológicos distintos, em qualidade e intensidade. Dentre as características que as distinguem destacam-se a diferença na composição e ordem dos monossacarídeos, o número de ligações glicosídicas, o grau de polimerização e as configurações de cadeia (MATIAS, 2007).

As fibras solúveis em água (certas gomas a exemplo da β -glucana, maioria das pectinas, algumas hemiceluloses, os frutanos: inulinas e frutooligosacarídeos e outras), quando consumidas trazem diversos benefícios fisiológicos a saúde humana como redução do colesterol sérico, redução da absorção da glicose, efeitos anticarcinogênicos e efeitos imunorregulatórios. Mucilagem de linhaça é semelhante à mucilagem da goma guar, portanto é esperado que desempenhe efeito semelhante, estudos mostram que o efeito da fibra solúvel ocorre local, atuam aumentando a viscosidade do conteúdo no intestino delgado e atrasando a digestão e absorção de carboidratos. A adição de polissacarídeos viscosos frente à solução de glicose além de retardar o esvaziamento gástrico pode limitar a absorção de glicose de outros solutos. Uma dieta rica em fibra aumenta a excreção fecal de ácidos biliares levando a uma diminuição do colesterol total no soro (TARPILA; WENNBORG; TARPILA, 2005).

As fibras insolúveis em água (celulose, lignina e algumas hemiceluloses) quando consumidas, conferem volume às fezes, promovem a normalização da função colônica, previnem o câncer de cólon, elas reduzem o tempo do trânsito intestinal aumentando os movimentos peristálticos. Alguns estudos citados na publicação do *National Cholesterol Education Program, NCEP*, defendem a ideia de que esse tipo de fibra não reduz os níveis de colesterol sérico (ASSIS, 1997).

As fibras insolúveis têm pouco efeito sobre o esvaziamento gástrico, o mecanismo pelo qual a fibra aumenta o bolo fecal, ocorre de duas maneiras, por meio de fermentação bacteriana no cólon que degrada ativamente as fibras e assim aumenta a massa bacteriana no cólon, e por meio físico, isto é, agindo como “esponjas” frente à água, aumentando dessa forma o teor e o peso de água das fezes, sendo fator crucial a capacidade de retenção de água após a exposição da fibra as bactérias do cólon. Partículas de Linhaça com tamanho de 2 a 4 mm mostram boa capacidade de ligação com a água, quando comparada a linhaças finamente moídas ou grãos inteiros (BANNISTER et al., 1987).

As maiores frações de fibra da linhaça consistem em celulose, principal material que estrutura as paredes celulares, mucilagem ou goma, polissacarídeos que se tornam viscosos quando misturados à água e demais fluidos e a lignina, fibra altamente ramificada encontrada na parede celular vegetal (MURPHY; HENDRICH, 2002).

Segundo o *Institute of Medicine – IOM* (2005), as frações de fibra da linhaça podem ser classificadas como fibra dietética ou fibra funcional, essa denominação depende se a fibra for encontrada intacta na linhaça ou extraída da mesma, purificada e adicionada aos alimentos e outros produtos.

Assim, tanto a linhaça inteira como moída são fontes de fibra dietética, enquanto a mucilagem ou goma são extraídas do grão de linhaça e adicionadas a laxantes e xarope para tosse, atuando assim como fibra funcional (BEMILLER; WHISTLER; BARKALOW, 1993).

A fibra alimentar do grão de linhaça apresenta boa proporção entre fibra solúvel e insolúvel, as primeiras são em parte fermentadas pelas bactérias do cólon e desempenham no organismo atividade hipoglicemiante, enquanto as segundas, atuam aumentando o volume das fezes pela sua própria massa e também pela água que mantêm ligada ou adsorvida, o que é benéfico para o tratamento da constipação (BOMBO, 2006).

Pesquisas demonstram, por exemplo, que mulheres na menopausa que consumiram 40g/dia de linhaça triturada tiveram um decréscimo médio de 5,3% na glicose sanguínea (LEMAY et al., 2002).

O alto consumo de fibra alimentar na dieta está associado ao baixo risco de doenças crônicas não transmissíveis. O incremento de 10 g/dia na alimentação está associado à redução de 14% no risco de todos os eventos coronarianos e de 27% no risco de morte cardiovascular (SALES, 2009).

Os valores da ingestão adequada, *Adequate Intake (AI)* de fibra total para homens na faixa etária de 19-50 anos é de 38 g e acima de 50 anos, 30 g/dia, para as mulheres na mesma faixa etária (19-50 anos) este valor é de 25g e, quando acima de 50 anos, o valor indicado é de 21g/dia, sendo necessária, concomitantemente a ingestão adequada de água, sendo preconizado o valor de 3,7 litros/dia para homens e 2,7 litros/dia para mulheres, ambos na faixa etária a partir de 19 anos de idade (INSTITUTE OF MEDICINE - IOM, 2005). Devroede (apud TARPILA; WENBERG; TARPILA, 2005) relata que com as quantidades adequadas de fibras consumidas diariamente espera-se normalizar o funcionamento intestinal, com o aumento do peso das fezes e adequando a sua consistência.

Cunnane et al. (1995), estudaram a influencia do consumo de 50g de linhaça/dia durante 4 semanas em 10 adultos jovens e saudáveis, o número de evacuações aumentou em 30% ($p < 0,05$) e o ácido α -linolênico aumentou significativamente no tecido adiposo, com aumento dos ácidos graxos $\omega 3$ no plasma. O LDL-colesterol do plasma reduziu em até 8% e a excreção urinária de lignana aumentou mais de cinco vezes.

2.2.3 Ácidos fenólico e tocoferóis da linhaça

Os compostos fenólicos são originados do metabolismo secundário das plantas, sendo essenciais para o seu crescimento e reprodução, além disso, se formam em condições de estresse, como é o caso de infecções, ferimentos, radicais UV, dentre outros. Existem cerca de cinco mil fenóis, dentre eles, destacam-se os flavonoides, ácidos fenólicos, fenóis simples, cumarinas, taninos, lignanas e tocoferóis (NACZK; SHAHIDI, 2004).

Segundo Morris (2007) para o conselho de linhaça do Canadá, a vitamina E se apresenta na linhaça principalmente como gama-tocoferol, com função antioxidante, protege as proteínas celulares e o DNA dos danos oxidativos causados pelos radicais livres, atuando na prevenção de doenças crônicas, além de promover a excreção de sódio na urina, levando a diminuição da pressão sanguínea.

Os ácidos fenólicos são algumas das substâncias que constituem o grupo dos compostos fenólicos. Caracterizam-se por terem um anel benzênico, um grupamento carboxílico e um ou mais grupamentos de hidroxila e/ou metoxila na molécula, conferindo propriedades antioxidantes tanto para os alimentos como para o organismo. (SOARES, 2002).

Ribéreau-Gayon (1968) classificou esses compostos em três grupos distintos, os poucos distribuídos na natureza, os polímeros e os largamente distribuídos na natureza. No primeiro grupo, estão em número reduzido, embora sejam encontrados com certa frequência, são eles os fenóis simples, pirocatecol, hidroquinona e resorcinol. O segundo grupo, os compostos fenólicos se apresentam na forma de polímeros, no qual estão os taninos e ligninas. Já os compostos largamente distribuídos na natureza estão os fenólicos encontrados geralmente em todo o reino vegetal, são eles os flavonoides e derivados e as cumarinas e ácidos fenólicos, como ácido benzoico, cinâmico e seus derivados.

Os fenólicos, em plantas, são essenciais no crescimento e reprodução dos vegetais, além de atuarem como agente antipatogênico e contribuírem na pigmentação. Em alimentos, são responsáveis pela cor, adstringência, aroma e estabilidade oxidativa. Os compostos fenólicos são incluídos na categoria de interruptores de radicais livres, sendo muito eficientes na prevenção da autoxidação. Os antioxidantes fenólicos interagem, preferencialmente, com o radical peroxil por ser mais prevalente na etapa da autoxidação e por possuir menor energia do que outros radicais, fato que favorece a abstração do seu hidrogênio (ÂNGELO; JORGE, 2007).

Os antioxidantes por sua vez são descritos como substâncias capazes de prevenir os efeitos deletérios da oxidação pela inibição da lipoperoxidação, sequestro de radicais livres e/ou quelação de íons metálicos. Os antioxidantes podem ser divididos em duas classes: com atividade enzimática e sem atividade. No primeiro grupo encontram-se os compostos capazes de bloquear a iniciação da oxidação, ou seja, as enzimas que removem as espécies reativas ao oxigênio. No segundo grupo estão as moléculas que interagem com as espécies radicalares e são consumidas durante a reação. Nesse grupo incluem-se os antioxidantes naturais, como os compostos fenólicos (GALVÃO et al., 2008).

Os compostos fenólicos são potentes antioxidantes, podendo agir como redutores de oxigênio singlete, atuando nas reações de oxidação lipídica, assim como na quelação de metais (HOPIA; HEINONEM, 1999). Funcionam como sequestradores de radicais e algumas vezes como quelantes de metais, agindo tanto na etapa de iniciação como na propagação do processo oxidativo (SHAHIDI; JANITHA; WANASUNDARA, 1992).

São atribuídos aos ácidos fenólicos várias funções biológicas, como a de antioxidantes, antimicrobiana e anticancerígena. Os produtos das oleaginosas contêm ácidos fenólicos que são derivados hidroxilados dos ácidos benzoicos e cinâmico (RIBEREAU-GAYON, 1972). As concentrações de ácidos fenólicos

totais e esterificados em farinha de cereal da linhaça descascada e desengordurada são respectivamente, 81 e 73,9 mg/100g (DABROWSKI et al., 1984).

Segundo Maciel (2006), a vitamina E está presente na linhaça como γ -tocoferol, atuando como um antioxidante biológico, além de outras vitaminas como A, B, D e K. O grão apresenta 12 mg de tocoferóis/100 g, o que permite concluir que a linhaça é um alimento fonte de vitamina E. (OOMAH; MAZZA, 2000), já Basset et al. (2009), relata um teor de 19,95 mg de γ -tocoferol em 100 g do grão de linhaça.

Alguns compostos fenólicos e suas respectivas estruturas químicas podem ser visualizadas na tabela 2.

Tabela 2 Classe de compostos fenólicos em plantas e suas estruturas químicas

Classe de compostos fenólicos	Estrutura química
Fenólicos simples, benzoquinonas	C_6
Ácidos hidroxibenzoicos	$C_6 - C_1$
Acetofenol, ácidos fenilacéticos	$C_6 - C_2$
Ácidos hidroxicinâmicos, fenilpropanóides	$C_6 - C_3$
Nafitoquinonas	$C_6 - C_4$
Xantonas	$C_6 - C_1 - C_6$
Estirbenos, antoquinonas	$C_6 - C_2 - C_6$
Flavonóides, isoflavonóides	$C_6 - C_3 - C_6$
Lignanais, neolignanais	$(C_6 - C_3)_2$
Bioflavonóides	$(C_6 - C_3 - C_6)_2$
Lignanais	$(C_6 - C_3)_n$
Taninos condensados	$(C_6 - C_3 - C_6)_n$

Fonte: Adaptado de Angelo e Jorge (2007)

Os principais ácidos fenólicos da linhaça *trans*-ferúlico, *trans*-sinápico, *p*-cumárico e *trans*-cafeico, sendo as quantidades desses ácidos na linhaça descascada e desengordurada: *trans*-ferúlico (46%), *trans*-sinápico (36%), *p*-cumárico (7,5%) e *trans*-cafeico (6,5%). A linhaça contém 8-10 g/kg de ácidos

fenólicos totais e em torno de 5g/kg de ácidos fenólicos esterificados. As variações no conteúdo de ácidos fenólicos se devem principalmente ao efeito sazonal (MAZZA, 2000).

Segundo o estudo de Galvão et al. (2008) no qual foi pesquisado o potencial antioxidante do óleo de linhaça, concluiu-se que todos os extratos da linhaça apresentaram atividade antioxidante e presença de compostos fenólicos.

Em investigações de ácidos fenólicos presentes em grãos de soja, farinha de soja desengordurada, concentrado e isolado proteico de soja e dos ácidos cinâmicos encontrados nesses produtos, quatro ácidos apresentaram uma atividade antioxidante significativa, são eles o ácido clorogênico, encontrado em maior quantidade e com maior atividade antioxidante, cafeico, *p*-cumárico e ferúlico (PRATT, 1992).

Esse fato foi também observado em nove cultivares de soja produzidas no Brasil, entre os quais o UFV 5', com a maior concentração desses ácidos fenólicos; nesse caso o ácido ferúlico apresentou a maior atividade antioxidante (NAGEM et al., 1992).

2.2.4 Lignanas em linhaças

As lignanas pertencem a um grupo de substâncias conhecidas como fitoestrógenos. Linhaça é a fonte mais rica em lignanas dentre os alimentos vegetais, as quais exercem seus efeitos fitoestrogênicos por ações metabólicas, ou seja, após o consumo de lignanas, ocorre a ação de bactérias intestinais transformando-as em enterodiol e enterolactona, denominadas lignanas mamíferas. Estudos com essas lignanas mostram que elas protegem o organismo contra tumores hormônio-dependente como cânceres de mama e de próstata. Mostram ainda efeitos protetores contra as doenças crônicas não transmissíveis, DCNT por meio de uma variedade de mecanismos, incluindo a sua atividade

antioxidante. Trabalhos têm sido desenvolvidos na otimizar da extração do óleo do grão de linhaça, visando conservar ao máximo teores de lignanas no óleo visando maiores benefícios a saúde (DIXON, 2004; LUCAS et al., 2002; WESTCOTT; MUIR, 2003).

A estrutura da lignana, 2,3-dibenzilbutano, foi primeiramente identificada em 1970, por estudos observados com macacos, no qual os compostos foram identificados na urina com aparente similaridade dos metabólitos esteroides hormonais (HUMFREY, 1998).

Muitas são as plantas que contêm fitoquímicos, como isoflavonas, cumestanos, lignanas, flavonoides, fitoesteróis, que por sua vez apresentam semelhantes, porém fraca ação à do estrogênio em animais e humanos. Lignanas são amplamente distribuídas no reino vegetal e desempenham o papel no crescimento da planta e atuam na sua defesa contra predadores (DINKOVA-KOSTOVA et al., 1996).

Os precursores das lignanas estão presentes nas películas que recobrem os cereais, no processo de refinamento tais películas são removidas, tratam-se dos produtos da transformação da lignina em compostos fenólicos, são consideradas fitoestrogênos e apresentam, nos humanos, propriedades anticarcinogênicas e antioxidantes. Podem as lignanas ser encontradas em plantas ricas em fibras incluindo grãos como trigo, cevada, aveia, feijão, lentilha, alho, aspargo, brócolis, cenoura e algumas frutas. Grãos oleosos como a linhaça contêm maiores concentrações de lignanas, sendo as principais, biologicamente ativas, o enterodiol e a enterolactona os quais podem ser visualizados na figura 4 (CLAPAUCH et al., 2002; CORDEIRO; FERNANDES; BARBOSA, 2009; MURPHY; HENDRICH, 2002).

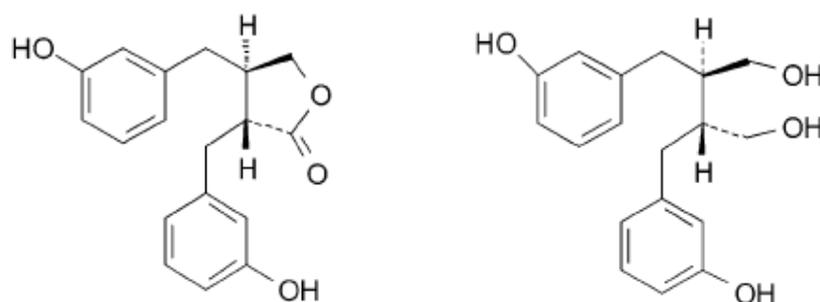


Figura 4 Enterolactona e Enterodiol

Fonte: Westcott e Muir (2003)

O grão de linhaça é considerado a fonte mais rica em lignanas, contendo 75-800 vezes mais do que os demais alimentos (HOSSEINIANET al., 2006). O secoisolariciresinol-diglicosídeo (SDG) é a principal lignana presente no grão de linhaça e pode conter de 0,82 a 10,55 mg de SDG/g (THOMPSON, 2003). Essa mesma lignana é convertida por ação bacteriana no trato gastrointestinal a lignanas mamíferas, no caso, enterolactona e enterodiol (BOMBO, 2006). A Figura 5 e 6 ilustra estruturas das lignanas de plantas e as lignanas mamíferas.

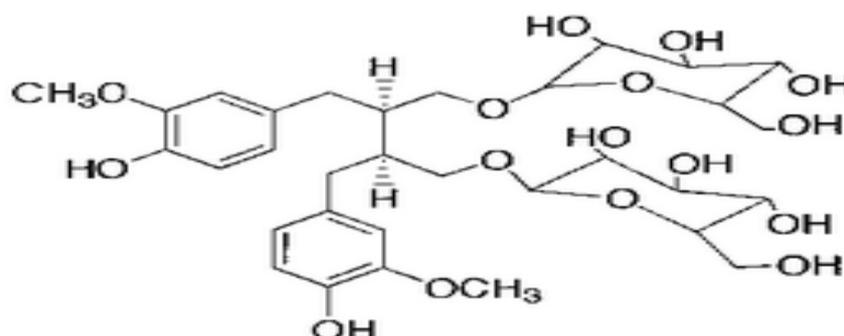


Figura 5 Secoisolariciresinol diglicosídeo

Fonte: Westcott e Muir (2003)

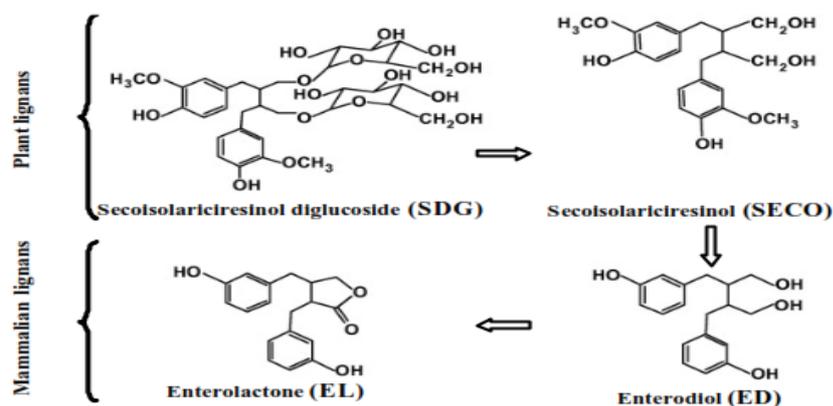


Figura 6 Estrutura química da lignana vegetal secoisolariciresinol diglicosídeo e seus metabólitos

Fonte: Petit (2009)

Segundo Thompson (2003), as lignanas mamíferas não são encontradas nas plantas e sim apenas depois da conversão pelas bactérias no cólon humano, o enterodiol e a enterolactona podem ser excretados pelas fezes e urina na sua forma conjugada, as concentrações variam de acordo com a ingestão de plantas

ricas em lignanas. A tabela 3, mostra o conteúdo de lignanas em alguns alimentos.

Tabela 3 Conteúdo de lignanas de alguns alimentos

Alimento	Lignanas (mg/100g)
Farinha de linhaça	52,7
Trigo	0,5
Aveia	0,3
Arroz integral	0,3
Milho	0,2
Centeio	0,2

Fonte: Clapauch et al. (2002)

Os fitoestrógenos, por definição, são compostos que ocorrem naturalmente em plantas, frutas e grãos. Após serem consumidos são convertidos por enzimas metabólicas no intestino, a composto fenol heterocíclico e por serem similares ao esteroide estrogênico, competem pelo receptor de estrogênio (MARTIN et al., 1978). A estrutura do fitoestrógeno e seus metabólicos variam grandemente, e assemelham-se com o estrogênio humano 17 β -estradiol (HUMFREY, 1998).

Em um estudo realizado em Santa Maria – RS, com 30 mulheres, 36,4% tiveram os sintomas da menopausa aliviados, consumindo 10g/dia do grão de linhaça (COLPO et al., 2006).

Mecanismos têm sido sugeridos para explicar as ações das lignanas, *in vivo*, como as atividades antiestrogênica, anticarcinogênica e antioxidante, sendo que esta última atividade das lignanas na linhaça funcionaria não somente inativando os radicais livres e as espécies reativas de oxigênio, tendo um efeito indireto *in vivo* nos sistemas antioxidantes endógenos, como, por exemplo, da enzima glutatona (YUAN; RICKARD; THOMPSON, 1999).

2.2.5 Demais constituintes da linhaça

Segundo Mazza (2000), a linhaça é comercializada como fonte de proteínas vegetais, seja em forma de grão ou farinha ambas as formas são menos refinadas da proteína da linhaça. A variedade na concentração de proteínas é atribuída a fatores genéticos e ambientais, sendo que o clima frio reduz a concentração desses macronutrientes, mas aumenta a quantidade de óleo.

Quando comparada aos grãos ou grão, o grão de linhaça possui o maior conteúdo de proteína, o qual é similar a albumina. Sendo relativamente rica em arginina, ácido aspártico e ácido glutâmico (GUTIÉRREZ et al., 2010). Pode ser visualizado na Tabela 4.

Tabela 4 Comparação do valor nutritivo das farinhas de linhaça e de soja

	Linhaça	Soja
Valor biológico	61,6 – 77,4	72,8
Utilização proteica	57,8	61,4
Digestibilidade	72,9 – 91,6	90,5
Coefficiente de eficiência proteica	0,79 – 1,76	2,32

Fonte: Adaptado de Mazza (2000)

Assim como outros grãos oleaginosos, a linhaça é livre de glúten, uma proteína encontrada no trigo, aveia, cevada e centeio. O agente específico do glúten que leva a condições enteropáticas já conhecidas é a gliadina, rica por sua vez nos aminoácidos prolina e glutamina, recebendo então a denominação de “prolamina”. O mecanismo pelo qual o glúten da dieta irrita a mucosa do trato gastrointestinal. As pessoas sensíveis ao glúten podem desfrutar do consumo de linhaça em suas dietas (CONNON, 1999).

Além da riqueza da linhaça em vitamina E, são constatados ainda vitaminas do complexo B e alguns minerais, sendo os mais abundantes o potássio e o fósforo, contendo ainda ferro, zinco, manganês e carotenoides como luteína e violaxantina (DAUN; BARTHET; CHORNICK, 2003).

Com relação aos minerais, uma colher de sopa de linhaça contém 34 mg de magnésio, aproximadamente a mesma quantidade encontrada na banana e 66 mg de potássio, sendo a linhaça pobre em sódio (MORRIS, 2007).

2.3 Produtos alimentares à base de linhaça

O grão de linhaça pode ser consumido *in natura*, inteiro ou moído, e acrescentado diretamente sobre alimentos tais como frutas, massas, leite ou iogurte. Também pode ser utilizado como ingrediente na preparação de bolos, pães, biscoitos, barras de cereal e produtos cárneos (BOMBO, 2006). Além disso, há ainda produtos derivados da linhaça, como o óleo, farelo e goma.

O grão de linhaça adiciona uma textura crocante aos produtos assados, barras de cereais e saladas. Quando utilizada em massas de pães, as padarias frequentemente, antes de misturar com a farinha e realizar o cozimento, submete o grão de linhaça em imersão em água por um período que varia entre 10 minutos a 2 horas, depois utiliza-se a água da imersão, que no caso é a mucilagem ou goma, com o objetivo de melhorar o volume do pão (MORRIS, 2007).

No caso da goma, substância viscosa e facilmente extraída do grão, possui boa capacidade de retenção hídrica, podendo ser usada como substituta da goma arábica em diversas preparações e também como substituta do ovo na alimentação de indivíduos vegetarianos (BOMBO, 2006; CHEN; XU; WANG, 2006).

Pode a linhaça ser usada em produtos forneados e como componentes de mistura de cereais matinais. Estão sendo pesquisados e desenvolvidos processos que incluem o óleo de linhaça em rações, de forma que produtos para consumo humano como a carne, ovos e leite possam estar enriquecidos com ácidos graxos ômega 3 (TURATTI, 2001).

Muitos são os estudos com o óleo de linhaça que por via oral atua como forma alternativa, no tratamento do olho seco em pacientes portadores da Síndrome de Sjogren, por reduzir a inflamação da superfície ocular (PINHEIRO et al., 2007).

Segundo Morris (2007), por apresentar alto teor de óleo, a linhaça pode substituir parte da gordura em determinados produtos, geralmente a relação de 3:1 para essa substituição é recomendada, como exemplo tem-se que três colheres de sopa de linhaça pode substituir uma colher de sopa de manteiga, margarina ou óleo de cozinha. A linhaça não possui as mesmas propriedades da farinha de trigo, podendo causar uma redução no volume do alimento, para compensar esse efeito, tem-se adicionado glúten.

Em estudo realizado por Faintughet al. (2006), 30 g/dia de farelo de linhaça dourada foram administradas, com igual oferta placebo de farinha de mandioca, durante duas semanas, em um grupo de pacientes obesos e candidatos a cirurgia bariátrica (n=40), no Hospital das Clínicas de São Paulo. O peso corporal e os índices bioquímicos dos indivíduos que receberam o farelo de linhaça permaneceram estáveis, entretanto houve redução significativa das proteínas de fase aguda, proteína C reativa, que em obesos é comum estar elevada, com consequências metabólicas e cardiovasculares não desejáveis.

2.4 Processamento, armazenamento e estabilidade da linhaça

Uma questão muito discutida por profissionais e pesquisadores da área de alimentos trata-se do aquecimento do grão e também do óleo de linhaça e de sua relação com a alteração do perfil lipídico, resultante principalmente da oxidação dos ácidos graxos com várias insaturações. A questão é se as temperaturas elevadas durante o forneamento ou fritura de produtos contendo linhaça reduzem, mantêm ou aumentam as propriedades funcionais do alimento.

São inúmeros os fatores que influenciam na estabilidade de óleos e gorduras, entre estes a temperatura de armazenamento, incidência de luz, disponibilidade de oxigênio, presença de substâncias catalisadoras de reações e emprego de antioxidantes. Quanto à lipólise, seu efeito no alimento pode ser reduzido por tratamento térmico, que inativa as lípases, evitando-se assim a hidrólise enzimática, enquanto que a hidrólise química pode ser retardada controlando-se as condições de armazenamento, como baixa temperatura e baixa umidade (CURI, 2002).

No decorrer do processamento industrial, principalmente durante o armazenamento, os ácidos graxos podem sofrer alterações do tipo oxidativa, modificando o *flavor* original, aparecimento de odores e gostos característicos de ranço e redução no valor nutritivo do alimento, como consequência na perda de ácidos graxos essenciais. Os mecanismos de oxidação dos ácidos graxos insaturados podem ocorrer em duas vias, a autooxidação e oxidação enzimática (AGUIAR et al., 2007). A exposição desses ácidos graxos ao oxigênio e à temperatura ambiente pode resultar na autooxidação transformando-as em peróxidos, o que resulta na alteração no valor nutricional (HOSSEINIAN et al., 2006).

O efeito nocivo das reações de oxidação pode ser minimizado com refrigeração e armazenamento em condições adequadas, como embalagens a vácuo ou com o uso de atmosferas modificadas (AGUIAR et al., 2007).

O ácido α -linolênico e o linoleico são sensíveis à luz, ao aquecimento e à presença de oxigênio, por esse fato, os ácidos graxos sofrem termo oxidação quando expostos a temperaturas entre 120°C e 270°C, de modo que a extração do óleo geralmente ocorre a frio. A velocidade de oxidação depende do grau de insaturação do ácido graxo, quanto maior o número de duplas ligações, maior a suscetibilidade à reação. Podem ocorrer mudanças químicas na fração lipídica oriundas do processo oxidativo, com a produção de substâncias indesejáveis, como peróxidos e radicais livres (MARQUES, 2008).

De acordo com Oomah (2003), o óleo de linhaça é produzido pelo craqueamento dos grãos, descamação por rolos e prensagem com equipamentos refrigerados com água, sendo então esse óleo extraído a frio sobre condições que limitam a temperatura durante o processo em no máximo 35°C.

A linhaça parece ser estável para armazenamento de longo prazo à temperatura ambiente, mesmo após 308 dias à temperatura de 22°C não houve mudanças nos níveis de peróxidos. O ácido alfa-linolênico, o ômega 3, no grão de linhaça, inteiro e moído parece ser estável à temperatura igual ou maior que as envolvidas na panificação (MORRIS, 2007).

Segundo Malcolmson, Przybylski e Daun (2000), o grão de linhaça pode ser estocada em temperatura ambiente por até um ano, enquanto que a linhaça moída até quatro meses. Przybylski e Daun (2001), relatam que a linhaça estocada em temperatura ambiente em armazéns por vinte meses mostrou notável estabilidade, indicando a presença de um forte sistema protetor que previne a oxidação, no entanto para manter o alimento fresco ou prolongar essa qualidade deve-se armazenar tanto a linhaça inteira quanto moída em refrigerador ou *freezer*.

Morris (2007) diz não ser verdade que a linhaça deve ser consumida até vinte minutos após sua moagem por motivo de rancificação, ainda relata que a linhaça é estável quando estocada à temperatura ambiente e permanece fresca por muitos meses, provavelmente por ser rica em lignanas, que por sua vez são antioxidantes poderosos e protegem os ácidos poli-insaturados da oxidação, sendo que a ação antioxidante do secoisolariciresinol é melhor que a exercida pela vitamina E.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. C. et al. Efeito do tempo e temperatura de estocagem sobre a estabilidade lipídica e composição centesimal de linhaça moída. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE ÓLEOS E GORDURAS, 12., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: [s. n.], 2007. 1 CD ROM.
- ALMEIDA, K. C. L.; BOAVENTURA, G. T.; SILVA, M. A. G. A linhaça (*Linum usitatissimum*) como fonte de ácido α -linolênico na formação da bainha de mielina. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 22, n. 5, p. 747-754, set./out. 2009.
- AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION REPORTS. Position of the American Dietetic Association: functional foods. **Journal of The American Association**, Washington, v. 104, n. 2, p. 814-826, 2004.
- ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos: uma breve revisão. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 66, n. 1, p. 232-240, 2007.
- ASSIS, M. A. A. **Consulta de nutrição**: controle e prevenção do colesterol elevado. Florianópolis: Insular, 1997. 166 p.
- BANNISTER, J. J. et al. Effect of the stool size and consistency of defaecation. **Gut**, London, v. 28, n. 12, p. 1246-1250, 1987.
- BARCELÓ-COBLIJN; MURPHY, E. J. Alpha-linolenic acid and its conversion on longer chain n-3 fattyacids: benefits for human health and a role in maintaining tissue n-3 fatty acid levels **Progress in Lipid Research**, Oxford, v. 48, p. 355-374, 2009.
- BEMILLER, J. N.; WHISTLER, R. L.; BARKALOW, D. G. Aloe, chia, flaxseed, okra, psyllium seed, quince seed and tamarind gums. In: _____. **Industrial gums**. 3rd ed. New York: Academic, 1993. p. 227-256.
- BERGLUND, D.; ZOLLINGER, R. **Flax production in North Dakota**. Fargo: North Dakota Agricultural Experimental Station, Extension Service North Dakota, 2002. 12 p. (Bulletin A-1038).

BHATHENA, S. J.; VELASQUEZ, M. Beneficial role of dietary phytoestrogens in obesity and diabetes. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 76, p. 1191-1201, May 2002.

BIANCHI, M. L.; ANTUNES, M. G. Radicais livres e principais antioxidantes da dieta. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 12, n. 2, p. 123-130, ago. 1999.

BOMBO, A. J. **Obtenção e caracterização nutricional de snacks de milho (*Zea mays L.*) e Linhaça (*Linum usitatissimum L.*)**. 2006. 96 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

BORGES J. T. S. et al. Caracterização físico-química e reológica de farinhas mistas de trigo e linhaça. **B. CEPPA**, Curitiba, v. 29, n. 2, p. 159-172, jul./dez. 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Alimentos com alegações de propriedades funcionais e ou de saúde, novos alimentos/ ingredientes, substâncias bioativas e probióticos: lista de alegações de propriedades funcionais aprovadas**. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/alimentos/comissoes/tecno_lista_alega.htm>. Acesso em: 7 mar. 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução nº 18 de 30 de abril de 1999**. Aprova o regulamento técnico que estabelece as diretrizes básicas para a análise e comprovação de propriedades funcionais e ou saúde alegadas em rotulagem de alimentos. 1999a Disponível em: <<http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=109>>. Acesso em: 7 abr. 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 19, de 30 de abril de 1999. Aprova o regulamento técnico de procedimentos para registro de alimento com alegação de propriedades funcionais e ou de saúde em sua rotulagem. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, de 3 de maio de 1999b. Disponível em: <<http://e-legis.bvs.br/leisref/public>>. Acesso em: 29 ago. 2011.

CAMPOS, V. M. C. **Produção e beneficiamento de grãos de linhaça**. 2007. Disponível em: <<http://www.sbrt.ibict.br>>. Acesso em: 28 ago. 2010.

CARTER, J. F. Sensory evaluation of flaxseed of different varieties. **Proceedings Flax Institute**, Fargo, v. 56, p. 201-203, 1996.

CHEN, H. H.; XU, S. Y.; WANG, Z. Gelation properties of flaxseed gum. **Journal of Food Engineering**, London, v. 77, n. 2, p. 295-303, 2006.

CLAPAUCH, R. et al. Fitoestrogênios: posicionamento do departamento de endocrinologia feminina da Sociedade Brasileira de Endocrinologia e Metabologia (SBEM). **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabologia**, São Paulo, v. 46, n. 6, p. 679-695, dez. 2002.

COLPO, E. et al. Benefícios do uso da grão de linhaça. **Nutrição em Pauta**, São Paulo, n. 81, p. 25-28, nov./dez. 2006.

CONNOR, J. J. Celiac disease. In: SHILS, M. E.; OLSON, J. A.; SHIKE, M. (Ed.). **Modern nutrition in health and disease**. 8th. ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 1999.

CONNOR, W. E. et al. Importance of n-3 fatty acids in health and disease. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 71, p. 171-175, 2000.

CORDEIRO, R.; FERNANDES, P. L.; BARBOSA, L. A. Grão de linhaça e o efeito de seus compostos sobre as células mamárias. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, Curitiba, v. 19, n. 3, jul./set. 2009.

COUTO, A. N.; WICHMANN, F. M. A. Efeitos da farinha de linhaça no perfil lipídico e antropométrico de mulheres. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 22, n. 4, p. 601-608, out./dez. 2011.

CROSS, R. H. et al. Heat-stress effects on reproduction and seed set on *Linum usitatissimum* L. (flax). **Plant Cell and Environment**, Oxford, v. 26, p. 1013-1020, 2003.

CROSSA, J. et al. AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 81, p. 27-37, 1991.

CUNNANE, S. C. et al. High alpha-linolenic acid flaxseed: some nutritional properties in humans. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 69, n. 2, p. 443-53, 1993.

CURI, R. et al. **Entendendo a gordura- os ácidos graxos**. Barueri: Manole, 2002.

DABROWSKI, K. J.; SOSULSKI, F. W. Composition of free and hydrolyzable phenolic acids in defatted flours of ten oilseeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 32, p. 128-130, 1984.

DAUN, J. K.; BARTHET, V. J.; CHORNICK, T. L. Structure, composition and variety development of flaxseed, 1-40p. In: THOMPSON, L. U.; CUNNANE, S. C. **Flaxseed in human nutrition**. 2nd ed. Champaign: AOCS, 2003. p. 1-40.

DIFERENÇA entre linhaça marrom e linhaça dourada. Disponível em: <<http://nutrigourmetho.me.blogspot.com.br>>. Acesso em: 23 mar. 2012.

DINKOVA-KOSTOVA, A. T. et al. Piroresinol e lariciresinol reductase from *Forsythia intermedia*. **Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v. 271, p. 29472-29482, 1996.

DIXON, R. A. Phytoestrogens. *Annual Review of Plant Biology*, Palo Alto, v. 55, p. 225-261, 2004.

EMKEN, E. A. Influence of linoleic acid on conversion of linolenic acid to Omega-3 fatty acids in humans. In: SCIENTIFIC CONFERENCE ON OMEGA-3 FATTY ACIDS IN NUTRITION, VASCULAR BIOLOGY, AND MEDICINE, 1., Dallas. **Proceedings...** Dallas: American Heart Association, 1995. p. 9-18.

FAINTUCH, J. et al. Propriedades antiinflamatórias da farinha de linhaça em pacientes obesos. **Revista Brasileira de Nutrição Clínica**, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 273-277, 2006.

FONSECA, M. M.; YOSHIDA, M. I. Análise térmica do óleo de linhaça natural e oxidado, **Vértices**, Campos dos Goytacazes, v. 11, n. 1/3, p. 61-75, jan./dez. 2009.

FREEMAN, T. P. Structure of flaxseed. In: CUNNANE, S. C.; THOMPSON, L. U. (Ed.). **Flaxseed in human nutrition**. Champaign: AOCS, 1995. p. 11-21.

GALVÃO, E. L. et al. Avaliação do potencial antioxidante e extração subcrítica do óleo de linhaça. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 551-557, jul./set. 2008.

GUIZI, M. et al. Modulation of the atrial specific Kv1.5 channel by the n-3 polyunsaturated fatty acid, alpha-linolenic. **Journal Molecular and Cellular Cardiology**, London, v. 44, p. 323-335, 2008.

GUTIÉRREZ, C. et al. Flaxseed and flaxseed cake as a source of compounds for food industry. **Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal**, Temuco, v. 10, n. 4, p. 454-463, 2010.

HOPIA, A.; HEINONEM, M. Antioxidant activity of flavonol aglycones and their glycosides in methyl linoleate. **Journal of the American Oil Chemists Society**, Champaign, v. 76, p. 139-144, 1999.

HOSSEINIAN, F. S. et al. Antioxidant capacity of flaxseed lignans in two model systems. **Journal of the American Oil Chemists Society**, Champaign, v. 83, n.10, P. 835-840, 2006.

HU, C.; YUAN, Y. V.; KITTS, D. D. Antioxidant activities of the flaxseed lignan secoisolariciresinol diglucoside, its aglycone secoisolariciresinol and the mammalian lignans enterodiol and enterolactone *in vitro*. **Food and Chemical Toxicology**, Oxford, v. 45, p. 2219-2227, 2007.

HUMFREY, C. D. N. Phytoestrogens and human health effects: weighing up the current evidence. **Natural toxins**, New York, v. 6, p. 51-59, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Culturas temporárias e permanentes. **Produção Agrícola Municipal**, Brasília, v. 37, p. 1-91, 2010.

INNIS, S. M. Essential fatty acids in infant nutrition: lessons and limitations from animal studies in relation to studies on infant fatty acid requirements. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 71, p. 238-44, 2000.

INSTITUTE OF MEDICINE. Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids. Washington: National Academic, 2005. 1331p.

JACINTO, K. A. **Efeito do consumo de farinha de linhaça (*Linum usitatissimum* L.) no crescimento de ratos wistar e sua relação com a digestibilidade de globulinas e fatores antinutricionais protéicos nas albuminas**. 2007. 82 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

KAUR, C.; KAPOOR, H. C. Antioxidants in fruits and vegetables: the millennium's health. **International Journal of Food Science and Technology**, Hoboken, v. 36, n. 7, p. 703-725, 2001.

LEMAY, A. et al. Flaxseed dietary supplement versus hormone replacement therapy in hypercholesterolemic menopausal women. **Obstetrics & Gynecology**, New York, v. 100, n. 3, p. 495-504, 2002.

LINHAÇA. Disponível em: <<http://cenbio.iee.usp.br/saibamais/bancobiomassa/vegetaisnaolenhosos/oleaginosas.htm>>. Acesso em; 21 dez. 2011.

LUCAS, E. A. et al. Flaxseed improves lipid profile without altering biomarkers of bone metabolism in postmenopausal women. **The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism**, Chevy Chase, v. 87, n. 4, p. 1527-1532, 2002.

MACIEL, L. M. B. **Utilização da farinha de linhaça (*Linum usitatissimum* L.) no processamento de biscoito tipo “cracker”: características físico-químicas, nutricionais e sensoriais**. 2006. 114 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

MAHAN, L. K.; ESCOTT-STUMP, S. **Krause: alimentos, nutrição e dietoterapia**. 9. ed. São Paulo: Roca, 1998. p. 1179.

MALCOLMSON, L. J.; PRZYBYLSKI, R.; DAUN, J. K. Storage stability of milled flaxseed. **Journal of the American Oil Chemists Society**, Champaign, v. 77, p. 235-238, 2000.

MARQUES, A. C. **Propriedades funcionais da linhaça (*Linum usitatissimum* L.) em diferentes condições de preparo e de uso em alimentos**. 2008. 15 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

MARTIN, C. A. et al. Ácidos graxos poliinsaturados Omega-3 e Omega-6: importância e ocorrência em alimentos. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 19, n. 6, p. 761-770, nov./dez. 2006.

MARTIN, P. M. et al. Phytoestrogen interaction with estrogen receptors in human breast cancer cells. **Endocrinology**, Baltimore, v. 103, p. 1860-1866, 1978.

MARTINS, M. B. et al. Propriedades dos ácidos graxos poli-insaturados – ômega 3 obtidos de óleo de peixe e óleo de linhaça, **Revista do Instituto de Ciências da Saúde**, São Paulo, v. 26, n. 2 p. 153-6, 2008.

MATIAS, A. C. G. **Avaliação dos efeitos fisiológicos da fração fibra alimentar dos grãos de amaranto (*Amaranthus cruentos* L.) e linhaça (*Linum usitatissimum* L.)**. 2007. 111 p. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Universidade de São Paulo – Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, 2007.

MAZZA, G. **Alimentos funcionales: aspectos bioquímicos y de procesado**. Zaragoza: Acríbia, 2000.

MENDONÇA, G. **Linhaça triturada na hora faz mais efeito**. Disponível em: <http://www.bonde.com.br/?id_bonde=1-39--184-20090720>. Acesso em: 22 jan. 2012.

MOREIRA, A. V. B.; MANCINI FILHO, J. Influência dos compostos fenólicos de especiarias sobre a lipoperoxidação e o perfil lipídico de tecidos de ratos. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 17, n. 4, p. 411-424, out./dez. 2004.

MORRIS, D. H. **Flax: a health and nutrition primer**. 4th ed. Winnipeg: [s. n.], 2007. Disponível em: <<http://www.flaxcouncil.ca>>. Acesso em: 22 dez. 2011.

MURPHY, P. A.; HENDRICH, S. Phytoestrogens in foods. **Advances in Food and Nutrition Research**, New York, v. 44, p. 195-246, 2002.

NACZK, M.; SHAHIDI, F. Extraction and analysis of phenolics in food. **Journal of Chromatography A**, New York, v. 1054, n. 1/2, p. 95-111, 2004.

NEMES, S. M.; ORSAT, V. Microwave-Assisted extraction of secoisolariciresinol diglucoside-method development. **Food Bioprocess Technology**, Heidelberg, v. 4, n. 7, 1219-1227, Oct. 2011.

NICOLI, M. C.; ANESE, M.; PARPINEL, M. T. Influence of processing on the antioxidante properties of fruit and vegetables. **Trends Food Science Technology**, Oxford, v. 10, p. 94-110, 1999.

NICOLI, M. C. et al. Loss and/or formation of antioxidants during food processing and storage. **Cancer Letters**, Amsterdam, v.114, p. 71-74, 1997.

OLIVEIRA, T. M.; PIROZI, M. R.; BORGES, J. T. S. Elaboração de pão de sal utilizando farinha mista de trigo e linhaça, **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 18, n. 2 p. 141-150, abr./jun. 2007.

OOMAH, B. D.; MAZZA, G. **Productos de linaza para la prevencion de enfermedades**: alimentos funcionales: aspectos bioquimicos y de procesado. Zaragoza: Acribia, 2000.

OOMAH, B. D. **Processing of flaxseed fiber, oil, protein, and lignan**. Champaign: AOCS, 2003. p. 363-386.

PETIT, H. V. Antioxidants and dairy production: the example of flax. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, p. 352-361, 2009.

PINHEIRO, J. R. et al. Uso oral do óleo de linhaça (*Linum usitatissimum L.*) no tratamento do olho seco de pacientes portadores da síndrome de Sjogren. **Arquivo Brasileiro de Oftalmologia**, São Paulo, v. 70, n. 4, p. 649-655, ago. 2007.

PINTO, F. **Produção de farinha**. 2007. Disponível em: <<http://www.sbri.ibict.br>>. Acesso em: 28 ago. 2010.

PRATT, D. E. Natural antioxidants from plant material. In: HO, C. T.; LEE, C. Y.; HUANG, M. T. **Phenolic compounds in food and their effects on health**. Washington : American Chemical Society, 1992. p. 54-71.

PRZYBYLSKI, R.; DAUN, J. K. Additional data on the storage stability of milled flaxseed. **Journal of the American Oil Chemists Society**, Champaign, v. 8, p. 105-106, 2001.

RIBÉREAU-GAYON, P. **Les composés phénoliques des végétaux**. Paris: Dunond, 1968. 254 p.

RIBÉREAU-GAYON, P. **Plant phenolics**. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1972. p. 254.

ROBERFROID, M. B. Concepts and strategy of functional food science: the European perspective. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 71, p. 1660-1664, 2000.

RUBILAR, M. et al. Flaxseed as a source of functional ingredients. **Journal Soil Science & Plant Nutrition**, Tokyo, v. 10, n. 3, p. 373-377, 2010.

SALEM, J. N. Introduction polyunsaturated fatty acids. **Backgrounder**, New Jersey, v. 3, p. 1-8, 1999.

SALES, R. L. **Efeitos do amendoim e da linhaça no perfil lipídico:** composição corporal e processo inflamatório em indivíduos com excesso de peso. 2009. 152 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

SHAHIDI, F.; JANITHA, P. K.; WANASUNDARA, P. D. Phenolic antioxidants. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 32, n. 1, p. 67-103, 1992.

SIMOPOULOS, A. P. Essential fatty acids in health and chronic disease. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 70, p. 5605-5695, 1999.

SIMOPOULOS, A. P. Symposium: role of poultry products in enriching the human diet with n-3 PUFA: human requirement for n-3 polyunsaturated fatty acids. **Poultry Science**, College Station, v. 79, p. 961-970, 2000.

SOARES, L. L. et al. Avaliação dos efeitos da grão de linhaça quando utilizada como fonte de proteína nas fases de crescimento e manutenção em ratos. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 22, n. 4, p. 483-491, jul./ago. 2009.

SOARES, S. E. Ácidos fenólicos como antioxidantes. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 71-81, jan./abr. 2002.

TABELA brasileira de composição de alimentos: TACO. 4. ed. Campinas: NEPA/UNICAMP, 2011. Disponível em: <<http://www.unicamp.br/nepa/taco/>>. Acesso em: 21 jan. 2012.

TARPILA, A.; WENNBERG, T.; TARPILA, S. Flaxseed as a functional food. **Current Topics in Nutraceutical Research**, Coppel, v. 3, p. 167-188, 2005.

THOMPSON, L. U. Analysis and bioavailability of lignans. In: THOMPSON, L. U.; CUNNANE, S. C. (Ed.). **Flaxseed in human nutrition**. 2nd ed. Champaign: AOCS, 2003. p. 92-116.

TRUCOM, C. **A Importância da linhaça na saúde**. São Paulo: Alaúde, 2006.
TURATTI, J. M. A importância dos ovos numa dieta saudável. **Revista Óleos e grãos**, São Paulo, v. 59, p. 22-24, 2001.

URQUIZA, A. M. et al. Docosahesanoic acid, a ligand for the retinoid X receptor in mouse brain, **Science**, Washington, v. 290, p. 2140-2144, 2000.

WESTCOTT, N. D.; MUIR, A. D. Flaxseed lignan in disease prevention and health promotion. **Phytochemistry Reviews**, Heidelberg, v. 2, p. 401–417, 2003.

YUAN, Y. V.; RICKARD, S. E.; THOMPSON, L. U. Short-term feeding of flaxseed or its lignan has minor influence on *in vivo* hepatic antioxidant status in young rats. **Nutrition Research**, New York, v. 19, n. 8, p. 1233-1243, 1999.

CAPITULO 2 Efeito de tempos de armazenamento de linhaças marrom e dourada sob temperatura de 5°C nos compostos fenólicos, atividade antioxidante e perfil lipídico

RESUMO

O grão de linhaça pode ser consumido *in natura*, inteiro ou moído, bem como pode ser acrescentado diretamente sobre alimentos ou ser utilizado como ingrediente na preparação de produtos de panificação, sobremesas e produtos cárneos. Este estudo teve por objetivo avaliar as propriedades funcionais de duas variedades de linhaça (marrom e dourada) em diferentes condições de armazenamento (temperatura 23°C e de 5°C). As amostras de linhaça foram cedidas pela Empresa Vitao - Curitiba/PR e as análises foram realizadas no Departamento de Ciência dos Alimentos – UFLA, Lavras/MG. Os grãos de linhaça foram moídos em moinho Multi-uso TE – 631/2 Tecnal, até obtenção das farinhas, ambas foram envasadas, etiquetadas, armazenadas em embalagens de vidro, das quais uma foi mantida à temperatura ambiente 23°C e a outra foi mantida sob temperatura de refrigeração 5°C. A cada 30 dias foi homogeneizada e retirada o suficiente (em triplicata) para a realização das análises químicas (perfil de ácidos graxos, compostos fenólicos e atividade antioxidante, sendo pelos métodos β -caroteno/ácido linoleico e ABTS) até completar o período de 120 dias. Quanto aos resultados da composição centesimal feito com os grãos verificou-se que as variedades de linhaça, marrom e dourada utilizadas neste estudo contêm, respectivamente: umidade (6,8% e 6,05%), extrato etéreo (35,84% e 35,73%), proteína (17,65% e 21,35%), cinzas (3,43% e 2,59%), fibra solúvel (8,42% e 8,33%), fibra insolúvel (15,65% e 15,48%), carboidratos (12,18% e 7,45%) e valor calórico (441,88% e 436,77%). Foram encontrados 20 ácidos graxos. Os teores de compostos fenólicos e a atividade antioxidante apresentaram, em ambas as variedades e tratamentos, um decréscimo até os 40 primeiros dias com posterior elevação. Assim, conclui-se que as variedades de linhaça marrom e dourada são grãos com boas características nutricionais que atendem as exigências do consumidor moderno que busca a saúde.

Palavras-chave: Linhaça. Antioxidante. Refrigeração.

ABSTRACT

The grain flaxseed can be eaten *in natura*, whole or ground and can be added directly to foods or used as an ingredient in the preparation of bakery products, desserts and meat products. This study had as objective to evaluate the functional properties of two flaxseed varieties (brown and golden) at different storage conditions (23°C temperature and 5°C). Flaxseed samples were provided by the Vitao - Company, Curitiba/PR, and analyzes were performed in the Food Science Department - UFLA, Lavras/MG. The flaxseeds were ground in a mill Multi-use TE - 631/2 Tecnal, until obtain the meal, both were packaged, labeled and stored in glass bottles, one of which was kept at temperature 23°C and the other was kept under cooling temperature 5°C. Every 30 days was homogenized and removed enough (in triplicate) to perform chemical analysis (fatty acids profile, phenolic compounds and antioxidant activity, this being the methods β -carotene/linoleic acid and ABTS) until to complete the period of 120 days. As for the results of the centesimal composition made from the seeds was found that the varieties of flaxseed (brown and gold) used in this study contains respectively: moisture (6.8% and 6.05%), ether extract (35.84% and 35.73%), protein (17.65% and 21.35%), ash (3.43% and 2.59%), soluble fiber (8,42% e 8,33%), insoluble fiber (15,65% e 15,48%), carbohydrate (12,18% e 7,45%) and calorific value (441,88% e 436,77%). It was found an 20 fatty acids. The phenolic compounds and antioxidant activity showed, in both varieties and treatments, a decrease until the first 40 days with a subsequent rise. Thus, it is conclude that the flaxseeds varieties (brown and golden) are grains with good nutritional characteristics that attend demands of the modern consumers who seeking health.

Keywords: Flaxseed. Antioxidant. Cooling.

1 INTRODUÇÃO

O hábito do consumo de determinados alimentos e /ou ingredientes com “alegação de propriedade funcional e de saúde”, como é designado no Brasil, ou “alimentos funcionais” em outros países, tem sido associado à redução da incidência de doenças crônicas não transmissíveis, DCNT. São denominados compostos bioativos, os constituintes presentes em alguns alimentos, que quando consumidos com frequência, são capazes de exercer funções especiais benéficas à saúde humana.

A linhaça, grão do linho (*Linum usitatissimum* L.) possui, além de nutrientes, compostos bioativos tais como fibras alimentares, ácidos graxos essenciais, ácido α - linolênico, ALA (18:3n-3), o ácido linoleico, LA (18:2n-6), compostos fenólicos incluindo as lignanas, além de outros. Esses compostos possuem mecanismos específicos no organismo, seja precedendo sínteses de compostos imprescindíveis à saúde, agindo como antioxidantes naturais, normalizando as funções intestinais, culminando dessa forma em ações anticolesterolemicas, anticarcinogenicas, imunomoduladoras e anti-inflamatórias (HU; YUAN; KITTS, 2007; MARTIN et al., 2008; MUELLER et al., 2010; STRANDAS et al., 2008).

A composição centesimal do grão de linhaça se estabelece em 4-8% de umidade, 30-40% de lipídeos, 20-25% de proteínas, 20-28% de fibra alimentar, 3-4% de cinzas. No grão de linhaça, em 100 gramas, encontra-se 22,7 gramas de ALA, enquanto que na mesma quantidade de óleo, tem-se 57,0 gramas desse ácido graxo essencial (AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE, 1999; MORRIS, 2007; OOMAH; MAZZA, 1998).

Conforme Barceló-Coblijn e Murphy (2009) existem apenas três fontes principais comerciais com quantidades significativas de ALA, as quais, óleo de linhaça (53%), óleo de colza ou de canola (9%) e óleo de soja (7%).

Estudos comprovam que os efeitos benéficos do consumo do ácido α -linolênico ALA ω 3 para a saúde humana estão baseados na sua ação precursora dos ácidos eicosapentaenoico (EPA) 20:5n-3 e docosahexaenoico (DHA) 22:6n-3, eicosanoides de menor poder inflamatório que os sintetizados da série ω 6, consumindo ALA elevam-se nos tecidos os conteúdos de ALA, EPA e em alguns casos o de DHA, os efeitos estão baseados também na ação competitiva das mesmas enzimas dessaturases do ácido linoleico(ω 6), portanto consumindo ALA consegue-se reduzir o alongamento dos ácidos graxos (ω 6) levando a redução do conteúdo do ácido araquidônico(ω 6) precursor de substâncias com maior poder inflamatório que os da série ω 3 e, finalmente o ALA pode produzir efeitos benéficos por sua interação direta com os canais iônicos ou receptores nucleares. Assim, semelhante ao EPA e ao DHA, encontrados já formados nos óleos de peixes de águas frias, o ALA, quando consumido, pode também apresentar numerosos efeitos benéficos para o organismo humano (BARCELÓ-COBLIJN; MURPHY, 2009; GUIZI et al., 2008; SIMOPOULOS, 2000; URQUIZA et al., 2000).

A produção de radicais livres é controlada nos seres vivos por ação de compostos antioxidantes os quais podem ter origem endógena, provenientes da dieta alimentar ou outras fontes, dessas últimas destacam-se uma série de compostos: tocoferóis (vitamina E), ácido ascórbico (vitamina C), polifenóis, carotenoides, além de outros. Quando há limitação na disponibilidade de antioxidantes, podem ocorrer lesões oxidativas de caráter cumulativo. Os antioxidantes são capazes de estabilizar ou desativar os radicais livres, causadores de sérios danos ao organismo, antes que ataquem os alvos biológicos nas células (ATOUI et al., 2005; VALKO et al., 2004; HASLAM, 1996 apud SOUSA et al., 2007; BARCELÓ-COBLIJN; MURPHY, 2009; HU et al., 2007; TARPILA; WENNBERG; TARPILA, 2005).

Na linhaça, os compostos antioxidantes citados são os compostos fenólicos (lignanas, ácidos fenólicos e flavonoides) os tocoferóis (vitamina E) (EL-BETALGI; SALAMA; EL-HARIRI, 2007; MUELLER et al., 2010). São relatadas ocorrências da inclusão de ALA na dieta humana por meio do consumo de grãos de linhaça, nozes e outras fontes de ALA em produtos assados à base de cereais, óleo de linhaça em molhos de saladas e ainda produtos de laticínios contendo ω -3 (BARCELÓ-COBLIJN; MURPHY, 2009).

O grão de linhaça é um pouco maior que o de gergelim com uma superfície lisa brilhante e sua cor varia do castanho avermelhado até amarelo-claro, denominada linhaça marrom e linhaça dourada respectivamente (COSKUNER; KARABABA, 2007).

A linhaça dourada é cultivada em clima muito frio como o do Canadá (maior produtor mundial da linhaça) e a linhaça marrom por sua vez, em países de clima quente e úmido, a exemplo do Brasil que a comercializa em preços bem mais acessíveis que a dourada. Embora estudos mostrem que a linhaça dourada apresenta teores superiores de lignanas frente à linhaça marrom, ambas as variedades demonstram semelhanças nas propriedades nutricionais e de benefícios à saúde, sendo que as diferenças, quando detectadas, são geralmente atribuídas às condições de cultivo, necessitando de mais estudos comparativos entre ambos os tipos de linhaça (MOLENA-FERNANDES et al., 2010).

O grão de linhaça possui tempo de validade ou de vida útil superior a doze meses quando a umidade dos grãos não ultrapassa de 9-10%, salientando que a degradação da qualidade ocorre em grãos com elevados teores de umidade e situações de calor excessivo. Formas simples e rápidas de detectar a ocorrência de alterações nos grãos de linhaças armazenadas são pelas descolorações internas e/ou externas do grão e pelo surgimento de odor característico de mofo (COSKUNER; KARABABA, 2007).

O armazenamento consiste em preservar as características que os grãos apresentam após a colheita. A vitalidade dos grãos pode ser preservada e a qualidade de moagem e das propriedades nutritivas como alimento podem ser mantidas (BROOKER et al., 1992). A busca por qualidade dos grãos e seus subprodutos devem ser prioridade dos produtores, processadores e para os distribuidores desses produtos.

Wiesenborn et al. (2005) relataram que os cotilédones da linhaça inteira tiveram maior estabilidade do que de linhaça moída quando armazenadas durante 30 semanas a 40°C.

As reações de oxidação exercem um efeito nocivo, o qual pode ser minimizado com a refrigeração e armazenamento em condições adequadas, como embalagens a vácuo ou com o uso de atmosfera modificada, não sendo possível deter tais reações por completo, visto que essas requerem energia de ativação reduzida (MORRIS, 2007).

Ainda segundo Brooker et al. (1992), as principais características que determinam a qualidade dos grãos são: teor de água baixo e uniforme; percentuais reduzidos de material estranho; de descoloração, de suscetibilidade a quebra, de danos pelo calor (trincas internas), danos causados por insetos e fungos; valores elevados de massa específica, concentração de óleos e proteínas e viabilidade dos grãos. Alguns fatores podem afetar essas características, como as condições ambientais durante a formação dos grãos ainda na planta, época e sistema de colheita, sistema de secagem, técnicas de armazenamento, transporte e características da espécie e da variedade.

Grãos de linhaças inteiros ou triturados são comumente comercializados no Brasil, em embalagens de polietileno de 200g a 500g com data de validade de 12 meses, com a seguinte indicação no rótulo: “conserva em local seco e fresco com embalagem bem fechada e depois de aberta consumir em 30 dias”.

Mendonça (2009) coloca que, pelo elevado teor de ácidos graxos poli-insaturados na linhaça, deve-se ter cuidados especiais com o grão, enfatizando que após triturados, os grãos de linhaça, ficam vulneráveis a sofrerem oxidações e devem ser rapidamente consumidos e que nem mesmo a temperatura de refrigeração deve ser utilizada para armazenar linhaça triturada.

Pelo fato da linhaça ser rica em ácidos graxos poliinsaturados e compostos antioxidantes e por muitas das vezes ser comercializada, existe grande interesse em verificar se o tempo de armazenamento influencia o seu perfil lipídico, bem como a preservação da capacidade antioxidante dos grãos.

Diante do exposto este trabalho teve por objetivo geral verificar o efeito do tempo de armazenamento sob temperaturas 23°C (ambiente), e de 5°C (refrigeração) sobre a atividade antioxidante, compostos fenólicos e perfil lipídico. Sendo os objetivos específicos:

- a) determinar a composição centesimal dos grãos de linhaças marrom e douradas;
- b) determinar o perfil de ácidos graxos de ambas linhaças;
- c) determinar os compostos fenólicos totais das linhaças marrom e dourada;
- d) avaliar a ação do tempo e temperaturas de armazenamento sobre a atividade antioxidante das linhaças em estudo por meio de dois métodos distintos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Departamento de Ciência dos Alimentos e as análises de Cromatografia Gasosa foram realizadas no Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, Minas Gerais. Foram utilizadas duas variedades de grãos de linhaça (marrom e dourada), fornecidos pela Empresa Vitao, Curitiba, PR.

2.1 Obtenção e preparação da amostra

Os grãos de linhaça marrom e dourada foram moídos em moinho Multi-uso TE – 631/2 Tecnal, até obtenção das farinhas, ambas foram envasadas, etiquetadas, armazenadas em embalagens de vidro, das quais uma parte de ambas foi mantida à temperatura 23°C e outra parte foi mantida sob temperatura de refrigeração 5°C. A cada 30 dias as amostras eram homogeneizadas com retirada de amostra (em triplicata) para a realização das análises químicas até completar o período de 120 dias.

2.2 Composição centesimal e valor energético

A composição centesimal foi realizada nas duas variedades de linhaça (marrom e dourada).

O teor de umidade foi determinado pelo método gravimétrico, com o emprego de calor (105°C), com determinações da perda de peso do material quando submetido ao aquecimento, até peso constante (ASSOCIATION OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC, 1998).

O extrato etéreo (lipídeos e substâncias lipossolúveis) foi extraído das amostras com solvente orgânico (éter etílico), utilizando o aparelho de extração contínua tipo *Soxhlet*, segundo método da AOAC (1998).

A proteína bruta foi determinada por meio do teor de nitrogênio por destilação em aparelho de *Microkjedahl* (AOAC, 1998), utilizando o fator de 6,25 para o cálculo.

As porções fibra solúvel e insolúvel foram determinadas pelo método enzimático, de acordo com método proposto pela *Association of Official Analytical Chemists - AOAC* (1997), que se baseia em análises enzimáticas e gravimétricas. As enzimas utilizadas na determinação de fibra (α -amilase, amiloglicosidase e protease) utilizando o *kit Sigma-Aldrich*.

A fração cinza, ou resíduo mineral fixo foi determinado gravimetricamente, avaliando-se a perda de peso do material submetido à incineração e conduzido mufla à temperatura de 550°C (AOAC, 1998).

A fração glicídica (FG), ou extrato não nitrogenado, foi calculado pela diferença, segundo a equação: $FG = 100 - (U + EE + P + F + C)$, sendo FG = fração glicídica (%); U = umidade (%); EE = extrato etéreo (%); P = proteína bruta (%); F = fibra bruta (%) e C = cinzas (%), considerando a matéria integral. Os resultados das variáveis citadas anteriormente foram expressos em g/100g.

O valor energético (kcal) foi calculado por método indireto, multiplicando os valores percentuais de proteínas, carboidratos e lipídios de cada amostra pelos seus valores calóricos 4 kcal, 4 kcal e 9 kcal, respectivamente (fatores de conversão de *Atwater*) (MAHAN; ESCOTT-STUMP, 2002), conforme a equação seguinte:

Valor energético (kcal/100g) = (proteína x 4,0 kcal) + (carboidrato x 4,0 kcal) + (lipídio x 9,0 kcal).

2.3 Perfil de ácidos graxos

Para a determinação do perfil de ácidos graxos, fez-se a extração e esterificação dos lipídios de acordo com Folch, Lees e Stanley (1957) e Hartman e Lago (1973), respectivamente, com posterior análise por cromatografia gasosa de alta resolução. Utilizou-se um cromatógrafo a gás *Shimadzu*, com detector por ionização em chama, injetor *split* (1:50) e coluna capilar de sílica fundida (100m x 0,25 mm x 0,20µm, CP-SIL 88, Chromopack, Middleburg, The Netherlands). A temperatura da coluna foi inicialmente de 120°C por 8 minutos, progredindo a 20°C/minuto até atingir 160°C; 3°C/ minutos até 195°C, por 10 minutos; 3°C/ minutos até 210°C; 35°C/ minutos até 220°C, por 3 minutos; e 20°C/ minutos até 240°C, por 5 minutos. As demais condições cromatográficas foram: gás de arraste hidrogênio, com velocidade linear de 34cm/s; gás *makeup* nitrogênio a 30 mL/minuto; temperatura do injetor a 250°C; temperatura do detector a 260 °C; injeção de 1 µL; e técnica de injeção *hot needle* por 5 segundos. A identificação dos ácidos graxos foi realizada pela comparação do tempo de retenção de ésteres metílicos dos ácidos graxos dos padrões com as amostras. Foram utilizados no total 37 padrões de ácidos graxos saturados, monoinsaturados e poli-insaturados (Supelco 37 FAME Mix, Sigma, Bellefonte, EUA). Os tempos de retenção e as áreas foram computados automaticamente pelo *software GC-Solution*, versão 2.30 (*Shimadzu*).

2.4 Compostos fenólicos

Para a extração dos compostos fenólicos, foram pesados 4 gramas das amostras (linhaça marrom e dourada nas diferentes temperaturas), aos quais foram adicionados 40 mL de álcool metílico 50%, essa mistura foi homogeneizada por 1 minuto e deixada em repouso por 1 hora à temperatura

ambiente, protegida da luz. Após esse período, a mistura foi centrifugada 14.000 rpm, por 17 minutos. O sobrenadante foi coletado e foram adicionados 40 mL de acetona 70% ao resíduo. Esse foi homogeneizado por 1 minuto e deixado em repouso por 1 hora. Em seguida, centrifugou-se a 14.000 rpm, por 17 minutos. O sobrenadante foi coletado, adicionado ao primeiro sobrenadante e o volume foi completado para 100 mL com água destilada.

O teor de fenólicos totais foi determinado pelo método proposto por Waterhouse (2002), empregando-se o reagente de *Folin-Ciocalteu*. Foram feitos pré-testes (1:1 e 1:3) nas duas variedades, sendo o 1:3 o que apresentou melhor resultado. Em resumo, 0,5 mL desse extrato de cada amostra foram adicionados aos tubos contendo 2,5 mL de solução *Folin-Ciocalteu* 10% (v/v). Em seguida, foram adicionados 2mL de solução de carbonato de sódio 4% (v/v). Os tubos foram agitados e deixados em repouso por 120 minutos, ao abrigo da luz. A cor azul produzida pela redução do reagente *Folin-Ciocalteu* pelos fenólicos foi medida espectrofotometricamente, na faixa de absorção de 750 nm. O cálculo do teor de fenólicos foi realizado a partir da equação da reta obtida da curva-padrão do ácido gálico. Os resultados foram expressos em mg de equivalente de ácido gálico por 100g da amostra (mgEAG.100 g⁻¹).

2.5 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante total (AAT) das duas variedades de linhaça foi determinada utilizando-se dois métodos distintos: a) Método do Sistema β -caroteno/ Ácido linoleico desenvolvido por Marco (1968) e modificado por Miller (1971) sendo adotados os procedimentos propostos por Rufino et al. (2006) que trata-se de um ensaio espectrofotométrico baseado na oxidação (descoloração) do β -caroteno induzida pelos produtos de degradação oxidativa do ácido linoleico, e b) Método do Radical ABTS^{•+} (2,2' azinobis-(3-

ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid)), baseado na captura do radical livre $ABTS^+$, sendo adotados os procedimentos propostos por Rufino et al. (2007).

Para a preparação dos extratos utilizou-se a mesma metodologia, foram pesados 4 gramas das amostras (linhaça marrom e dourada nas diferentes temperaturas de armazenamento), as quais foram adicionados 40 mL de álcool metílico 50%, essa mistura foi homogeneizada por 1 minuto e deixada em repouso por 1 hora à temperatura ambiente, protegida da luz. Após esse período, a mistura foi centrifugada 14.000 rpm, por 17 minutos. O sobrenadante foi coletado e foram adicionados 40 mL de acetona 70% ao resíduo. Esse foi homogeneizado por 1 minuto e deixado em repouso por 1 hora. Em seguida, centrifugou-se a 14.000 rpm, por 17 minutos. O sobrenadante foi coletado, adicionado ao primeiro sobrenadante e o volume foi completado para 100 mL com água destilada.

Foram adicionados 0,4 mL de extrato e 5mL da solução sistema β caroteno/ ácido linoleico, sendo as leituras no tempo 2 minutos e 120 minutos, em espectrofotometro a 470 nm, e os resultados expressos em % de inibição da oxidação do β -caroteno (%I).

$$\%I = (Ac - Am).100/Ac;$$

Ac = absorbância inicial do controle – absorbância final do controle;

Am = absorbância inicial da amostra – absorbância final da amostra.

O 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilchroman-2-acido carboxílico (Trolox), que é um composto antioxidante análogo a vitamina E, porém, de natureza hidrofílica, foi utilizado como antioxidante de referência na concentração de 0,2 mg/mL, conforme proposto por Rufino et al. (2006). Todas as análises químicas foram realizadas em triplicata.

Para determinação da AAT pelo método do radical ABTS⁺ (2,2' azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid)), utilizou-se a metodologia descrita por Rufino et al. (2007), sendo adicionados 30 µL de cada diluição do extrato com 3 mL do radical ABTS⁺, sendo as leituras realizadas, após homogeneização, após 6 minutos da mistura, em espectrofotometro a 734 nm. Os resultados foram em TEAC (atividade antioxidante equivalente ao trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilchroman-2-acido carboxílico) µMol TEAC.g⁻¹).

2.6 Análise estatística

O experimento foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) e esquema fatorial triplo 2x5x2, representados pelos fatores: linhaça (marrom e dourada), tempo de armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias) e temperatura (ambiente e refrigerada).

Foram realizadas análises de variância, observando-se as pressuposições necessárias, seguidas de teste de *Tukey* para os fatores qualitativos e ajuste de modelos polinomiais de regressão para o fator quantitativo. Todas as análises, bem como os gráficos, foram feitos no *software* estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012) e pacote *ExpDes* (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2011).

Foram utilizados os testes de *Tukey*, *Wilcoxon* e teste t, todos os testes consideraram o nível nominal de significância de 5%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Composição centesimal e valor energético da linhaça

A Tabela 1 representa os valores de composição centesimal e valor calórico das linhaças marrom e dourada.

Tabela 1 Valores médios da composição centesimal (%) e valor calórico de grãos de linhaça marrom e dourada ⁽¹⁾

	Linhaça Marrom	Linhaça Dourada
Umidade**	6,82 ^a ± 0,05	6,05 ^b ± 0,03
Extrato Etereo**	35,84 ^a ± 1,75	35,73 ^a ± 1,51
Proteína**	17,65 ^b ± 0,59	21,35 ^a ± 0,73
Cinza**	3,43 ^a ± 0,15	2,59 ^b ± 0,11
Fibra Alimentar*	24,08 ^a ± 0,05	23,83 ^a ± 0,04
Fibra Solúvel*	8,42 ^a ± 0,0025	8,33 ^a ± 0,0039
Fibra Insolúvel*	15,65 ^a ± 0,0433	15,48 ^a ± 0,0410
ENN*	12,18 ^a ± 0,050	7,45 ^b ± 0,035
Valor Calórico*(kcal)	441,88 ^a ± 0,19	436,77 ^a ± 0,14

⁽¹⁾Médias ± desvio padrão.

Conforme Tabela 1, a linhaça marrom apresentou maior teor de umidade e cinzas, e menor valor de proteína.

Os teores de lipídios (extrato etéreo), fibra alimentar e valor calórico das duas variedades de linhaça, marrom e dourada, não diferem entre si ($p \geq 0,05$).

As linhaças marrom e dourada provavelmente poderão ser armazenadas por 12 meses, pois o teor de umidade encontra-se abaixo de 9-10% pois conforme Coskuner e Karababa (2007) umidade acima desse valor provoca deterioração da qualidade dos grãos. Em seus trabalhos, foram registrados teores de umidade do grão de linhaça variando de 6,09 a 16,81%.

Foi interessante observar que, embora o teor de proteínas da linhaça dourada (21,35%) tenha se apresentado superior ($p < 0,05$) ao da linhaça marrom (17,65%), os seus conteúdos de lipídios mostraram-se semelhantes, na marrom

(35,84%) e dourada (37,73%), discordando com o colocado por uma série de autores e citado em Coskuner e Karababa (2007) que o teor de proteínas decresce no grão à medida que aumenta o seu teor em óleo. Portanto era de se esperar que o conteúdo de lipídeo na linhaça dourada fosse inferior ao da linhaça marrom e vice-versa, porém isso não foi registrado.

Os componentes da linhaça podem sofrer grandes variações e dependem da variedade e da origem dos grãos. Os resultados referentes à composição química, obtidos para a linhaça marrom e dourada situam-se dentro da faixa encontrada por Marques et al. (2011). Em relação aos teores de fibras alimentares, solúvel, insolúvel e total os valores para a linhaça marrom e dourada foram semelhantes aos relatados nos estudos de Basset et al. (2009), Calderelli, Benassi e Mاتيول (2008), Mazza (2000) e Oliveira, Pirozi e Borges (2007).

É possível observar que a composição química das linhaças utilizadas neste trabalho é semelhante aos dados descritos na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011).

3.2 Perfil de ácidos graxos

Foram detectados em média, no óleo do grão de linhaça marrom quando armazenado em ambiente e temperatura de refrigeração, 4,62% de ácidos graxos saturados (AGS), 9,16% de ácidos graxos monoinsaturados (AGMI) e 52,65% de ácidos graxos poli-insaturados (AGPI), já no óleo do grão de linhaça dourada, quando armazenado da mesma forma, essas porcentagens foram de aproximadamente, 8,35% de AGS, 8,70% de AGMI e 50,54% de AGPI, descritos nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 Ácidos graxos (%) presentes no óleo extraído do grão de linhaça da variedade marrom, submetida em diferentes ambientes, durante o armazenamento

Ácidos Graxos	Teor de Ácidos Graxos (%) da linhaça marrom								
	Temperatura 23°C tempo de armazenamento (dias)					Temperatura de 5°C tempo de armazenamento (dias)			
	0	30	60	90	120	30	60	90	120
Butanoico (C4:0)	2,08	1,69	0,81	0,02	0,17	<i>Nd</i>	0,39	0,08	0,14
Hexanoico (C6:0)	1,35	1,00	3,33	<i>Nd</i>	1,32	3,00	2,22	0,16	0,29
Octanoico (C8:0)	0,46	0,37	0,97	<i>Nd</i>	0,28	0,91	0,52	0,06	0,09
Decanoico (C10:0)	0,20	0,14	0,29	<i>Nd</i>	0,14	0,38	0,23	0,05	<i>Nd</i>
Undecanoico (C11:0)	<i>Nd</i>	<i>Nd</i>	0,44	<i>Nd</i>	<i>Nd</i>	<i>Nd</i>	0,30	<i>Nd</i>	<i>Nd</i>
Mirístico (C14:0)	<i>Nd</i>	<i>Nd</i>	0,36	<i>Nd</i>	<i>Nd</i>	<i>Nd</i>	<i>Nd</i>	<i>Nd</i>	<i>Nd</i>
Pentadecanoico (C15:0)	<i>Nd</i>	<i>Nd</i>	0,10	0,05	0,07	0,24	0,26	0,08	0,08
Heptadecanoico (C17:0)	<i>Nd</i>	0,20	0,15	0,20	0,31	0,19	0,99	0,32	0,33
Estearico (C18:0)	0,21	0,42	0,25	0,39	0,15	0,24	0,32	0,15	0,22
Heneicosanoico (C21:0)	0,59	0,50	1,04	0,50	0,68	1,45	1,46	0,67	0,89
Lignocérico (C24:0)	0,44	0,17	0,13	0,06	0,53	1,20	0,21	0,54	0,44
Miristoleico (C14:1)	0,25	0,12	1,12	0,10	0,20	0,38	0,62	0,15	0,19
<i>Cis</i> -heptadecanoico (C17:1)	0,28	0,11	0,60	0,13	0,18	0,37	0,41	0,20	0,22
Oleico (C18:1 ω 9c)	7,07	9,88	7,25	10,69	8,50	6,24	9,27	8,24	8,56
Nervônico (C24:1)	<i>Nd</i>	0,24	0,91	<i>Nd</i>	<i>Nd</i>	<i>Nd</i>	<i>Nd</i>	<i>Nd</i>	<i>Nd</i>
Linoleico (C18:2 ω 6)	14,02	13,46	19,64	14,72	13,06	17,23	19,24	13,85	13,74
α -linolênico (C18:3 ω 3)	41,76	39,88	33,51	41,96	32,84	34,45	37,45	33,92	33,58
Eicosatrienoico (C20:3 ω 6)	0,17	0,26	<i>Nd</i>	<i>Nd</i>	<i>Nd</i>	<i>Nd</i>	<i>Nd</i>	<i>Nd</i>	<i>Nd</i>
Araquidônico (C20:4 ω 6)	<i>Nd</i>	<i>Nd</i>	0,19	0,08	0,15	0,22	0,22	0,15	0,10
Docosahexaenoico (C22:6 ω 6)	0,24	0,16	0,73	0,22	0,50	0,68	0,77	0,38	0,32

Nd = não detectado

Tabela 3 Ácidos graxos (%) presentes no óleo extraído do grão de linhaça da variedade dourada, submetida em diferentes ambientes, durante o armazenamento

Ácidos Graxos	Teor de Ácidos Graxos (%) da linhaça dourada								
	Temperatura 23°C tempo de armazenamento (dias)					Temperatura de 5°C tempo de armazenamento (dias)			
	0	30	60	90	120	30	60	90	120
Butanoico (C4:0)	6,90	4,34	0,62	0,14	0,15	4,19	0,75	0,06	0,56
Hexanoico (C6:0)	2,70	3,19	3,96	0,80	0,69	3,71	3,28	0,79	2,89
Octanoico (C8:0)	0,89	0,99	0,94	0,18	0,17	1,24	0,91	0,19	0,77
Decanoico (C10:0)	0,04	Nd	0,27	0,06	0,07	0,21	0,48	0,11	0,32
Undecanoico (C11:0)	0,07	Nd	0,51	Nd	Nd	0,46	0,49	Nd	Nd
Tridecanoico (C13:0)	0,05	Nd	0,26	Nd	Nd	0,20	0,16	Nd	Nd
Pentadecanoico (C15:0)	0,15	0,18	0,18	0,06	Nd	0,65	0,25	0,07	0,15
Heptadecanoico (C17:0)	0,23	0,36	0,31	0,30	0,31	0,37	0,37	Nd	0,29
Estearico (C18:0)	0,54	0,53	0,50	0,19	0,28	0,25	0,63	0,21	0,53
Araquidico (C20:0)	0,07	0,33	0,19	Nd	Nd	1,65	0,25	Nd	Nd
Eicosenoico (C20:0)	0,10	0,46	Nd	Nd	Nd	0,36	Nd	Nd	Nd
Heneicosanoico (C21:0)	0,15	1,58	1,54	0,69	0,70	0,02	1,78	0,68	1,64
Lignocerico (C24:0)	1,06	Nd	1,33	0,46	0,34	Nd	1,24	Nd	0,95
Miristoleico (C14:1)	0,55	0,29	0,79	0,15	0,15	0,42	0,43	0,14	0,44
Cis-heptadecanoico (C17:1)	0,54	0,45	0,27	0,09	0,10	0,54	0,40	0,10	0,16
Oleico (C18:1 ω 9c)	7,09	7,45	6,59	9,23	8,21	9,06	7,61	8,21	7,41
Nervonico (C24:1)	0,05	Nd	0,69	Nd	Nd	Nd	0,77	Nd	Nd
Linoleico (C18:2 ω 6)	12,72	16,36	16,65	13,65	13,87	16,29	16,05	14,41	18,95
α -linolenico (C18:3 ω 3)	35,80	34,86	34,26	30,97	31,08	34,43	35,76	30,40	37,03
Eicosatrienoico (C20:3 ω 6)	0,42	Nd	0,20	0,08	0,05	0,83	0,27	0,04	Nd

“Tabela 3, conclusão”

Ácidos Graxos	Teor de Ácidos Graxos (%) da linhaça dourada								
	Temperatura 23°C tempo de armazenamento (dias)					Temperatura de 5°C tempo de armazenamento (dias)			
	0	30	60	90	120	30	60	90	120
Araquidônico (C20:4 ω 6)	0,40	0,39	0,42	0,03	0,17	Nd	0,56	0,14	0,48
Docosadienoico (C22:2)	0,42	1,56	0,29	0,09	Nd	Nd	0,39	0,42	0,00
Docosahexaenoico (C22:6 ω 6)	0,88	0,70	Nd	0,39	0,39	Nd	Nd	0,36	0,99

Nd = não detectado

Conforme Tabelas 2 e 3 com relação aos ácidos graxos saturados de cadeia curta, tanto na linhaça marrom quanto na linhaça dourada observou-se com o passar do tempo em dias de armazenamento (0 a 120) e temperaturas em estudo, parece haver uma queda nos seus teores.

Observa-se que ácidos graxos monoinsaturados na linhaça marrom em especial o ácido oleico no final do período de armazenamento apresentaram valores semelhantes, ou seja, a temperatura e o tempo parece não ter interferido nesses teores, o que também foi observado para a linhaça dourada na temperatura 23°C, ao passo que na temperatura de 5°C sugere uma ligeira queda.

Parece ter ocorrido queda nos teores de ácidos graxos poli-insaturados, na linhaça marrom nas duas temperaturas em estudo e para a linhaça dourada na temperatura 23°C, porém pode ter ocorrido uma elevação dos teores de AGPI, para a linhaça dourada na temperatura de 5°C.

Quanto ao ácido linoleico observou-se que seu teor na temperatura 23°C parece ter se mantido estável para a linhaça marrom.

Foi interessante observar que para ambas as linhaças no final do tempo de armazenamento (120 dias) proposto neste estudo, na temperatura 23°C o teor de ácido graxo linoleico sugere uma estabilidade em torno de 13%, o que se estende para a linhaça da variedade marrom na temperatura de 5°C.

Os teores de ácido α -linolênico na linhaça marrom nas duas temperaturas em estudo ao longo do tempo de armazenamento (até 120 dias) parece ter ocorrido uma queda, quando armazenada na temperatura 23°C de 39,88 para 32,84% e 5°C de 34,45 para 33,58% , para a linhaça dourada observou-se tendência semelhante de 34,86 para 31,08% na temperatura 23°C, sendo que na temperatura de 5°C sugere um leve aumento tendendo a estabilização.

Os teores de ácido α -linolênico variaram neste estudo de 30,40 até 41,96% sendo o menor valor atribuído a linhaça dourada com 90 dias de armazenamento em temperatura de 5°C, e o maior valor atribuído à linhaça marrom na temperatura 23°C.

Analisando o perfil de ácidos graxos nas duas variedades de linhaça, não foram observadas variações discrepantes ao longo do tempo de armazenamento nas duas temperaturas em estudo. Os grãos e cereais estão sujeitos a processos deteriorativos, independentemente de como são armazenados, já pode o óleo do grão ter sofrido hidrólise, quando esse amadurece e é colhido, constata-se que nessa fase a pressão de síntese e quebra diminui, no entanto quando o grão é armazenado sob boas condições, apresenta 0,5% de ácidos graxos livres (REGITANO D'ARCE, 2012).

Paula et al. (1998) informam que uma série de trabalhos vem sendo desenvolvidos com grãos no armazenamentos, no caso *Trifolium subterraneum* L. (trevo subterrâneo) e *Arachis hypogaea* L. (amendoim), sendo observados redução na fração lipídica estudada seja ela fosfolipídio, lipídeos polares, lipídeos não polares e ácidos graxos, sendo a única exceção citada o aumento nos lipídeos totais quando o estudo foi realizado *Glycine max* L. Merrill (soja). Harman e Mattck (1976), consideraram que, de acordo com a teoria de oxidação de lipídeos, os ácidos graxos insaturados são susceptíveis a formação de radicais livres, e caso ocorra oxidação, durante a deterioração dos grãos, é provável que uma redução desse ácido graxo seja detectada. Esses autores trabalhando com grão de *Pisum sativum* L. (ervilha) encontraram evidência de que não ocorreu β -oxidação ou outra utilização dos ácidos graxos no grão durante o armazenamento, pois não foram verificadas alterações nas concentrações dos AGS e nos AGMI, no entanto a formação de radicais livres foi evidenciada pela redução no ácido linolênico e linoleico durante o armazenamento.

El-Beltagi, Salama e El-Hariri (2007), estudando ácidos graxos em diferentes cultivares de linhaça, relatam valores médios de ácidos graxos saturados de 11,5%, superior ao valor encontrado no presente trabalho.

Flachowsky et al. (1997), destacam a linhaça como uma rica fonte de ácidos graxos poli-insaturados e descrevem as seguintes porcentagens para os ácidos linoleico e α -linolênico de 18-24% e 36 -50%, respectivamente.

Aguiar et al. (2007) analisando o efeito dos tempos de estocagem 0, 30, 60 e 90 nas temperaturas ambiente e de refrigeração, sobre a estabilidade lipídica da linhaça moída, observaram que as porcentagens relativas do ácido α -linolênico e ácido linoleico, não apresentaram diferença significativa, resultado que evidenciando desse forma a alta estabilidade do grão de linhaça moído ao longo do tempo de armazenamento.

Em estudo com óleo de soja na elaboração de pães de linhaça, Calderelli, Benassi e Mاتيول (2008), encontraram valores semelhantes aos do presente trabalho, quando analisaram o perfil de ácidos graxos na linhaça marrom *in natura*, já Choo, Birch e Dufour (2007) em estudo com óleo de linhaça observaram altas concentrações de ácidos graxos poli-insaturados.

Morris (2007) relata que a linhaça demonstra ser estável quando armazenada por longo prazo à temperatura ambiente, mesmo após 308 dias a 22°C não houve essencialmente nenhuma mudança na estabilidade lipídica, quando a mesma teve sua composição de ácido graxo analisado, os teores mantiveram-se inalterados, sugerindo que a linhaça, em especial o ácido graxo poli-insaturado α -linolênico é estável. Malcolmson et al. (1998) apud MORRIS (2007) analisaram linhaça moída, que foram armazenadas em embalagens fechadas na temperatura de 23°C por um período de 128 dias, as amostras foram examinadas inicialmente e em cerca de 30 dias de intervalo, foram realizados testes sensoriais por provadores treinados e o resultado não mostrou qualquer diferença na intensidade do aroma.

Os ácidos graxos são compostos essenciais das membranas das células do sistema imune e são necessários para o crescimento e manutenção das mesmas. Os poli-insaturados, linoleico e α -linolênico, encontrados em grandes quantidades nos grãos de linhaça influenciam no metabolismo dos eicosanoides, na expressão gênica e na comunicação intercelular (ALMEIDA; BOAVENTURA; SILVA, 2009).

Segundo Molena-Fernandes et al. (2010), o ácido graxo poli-insaturado α -linolênico, mais conhecido como ω 3, está presente em cerca de 60% dos constituintes totais da linhaça, fazendo com que este grão seja a maior fonte vegetal desse ácido graxo essencial, valor este superior ao valor máximo de 42% encontrado neste trabalho.

Nas Tabelas 4 e 5, encontram-se os valores dos dois principais ácidos graxos poli-insaturados, α -linolênico (ω 3) e linoleico (ω 6), em g/100g de linhaça marrom e dourada.

Tabela 4 Teor dos ácidos α -linolênico (ω 3) e ácido linoleico (ω 6) em grãos de linhaça da variedade marrom submetidas a duas temperaturas, durante o armazenamento, em g/100g de grão

Ácidos Graxos (g/100g)	Temperatura de Armazenamento								
	23°C				5°C				
	Tempo de Armazenamento (dias)								
	0	30	60	90	120	30	60	90	120
Ácido α -linolênico - ω 3	14,56	14,29	12	15,03	11,76	12,34	13,42	12,15	12,03
Ácido linoleico - ω 6	5,02	4,82	7,03	5,27	4,68	6,17	6,89	4,96	4,92

Tabela 5 Teor dos ácidos α -linolênico (ω 3) e ácido linoleico (ω 6) em grãos de linhaça da variedade dourada submetidas a duas temperaturas, durante o armazenamento, em g/100g de grão

Ácidos Graxos (g/100g)	Temperatura de Armazenamento								
	23°C				5°C				
	Tempo de Armazenamento (dias)								
	0	30	60	90	120	30	60	90	120
Ácido α -linolênico - ω 3	12,79	14,45	12,24	11,06	11,10	12,30	12,77	11,86	13,23
Ácido linoleico - ω 6	4,54	5,84	5,94	4,87	4,95	5,82	5,73	5,14	6,77

O que é confirmado pelo estudo de Molena-Fernandes et al. (2010), no qual observaram valores, em g/15g, de $\omega 3$ e $\omega 6$ para linhaça marrom de 1,8 e 0,5 e na linhaça dourada de 2,8 e 0,6.

Carraro (2009) caracterizando farinhas integrais de linhaça, encontrou 7,5g/100g de ácido α -linolênico ($\omega 3$) em tais farinhas. Segundo a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011), 100 g do grão de linhaça apresenta valores de 5,42g de $\omega 6$ e 19,81g de $\omega 3$. Valores próximos foram encontrados no presente trabalho.

3.3 Compostos fenólicos

A Tabela 6 representa os teores de fenólicos totais nas linhaças marrom e dourada, trituradas e armazenadas por 120 dias em temperaturas de 23°C e 5°C.

Tabela 6 Teores de compostos fenólicos totais (mgE AG .100 g⁻¹) nas linhaças marrom e dourada trituradas e armazenadas por 120 dias em temperaturas de 23°C e 5° C

Armazenamento (dias)	Linhaça marrom		Linhaça dourada	
	Temperatura de armazenamento		Temperatura de armazenamento	
	23°C	5°C	23°C	5°C
0	718,64Ab	718,64Ac	669,55Bc	669,55Bc
30	471,68Ac	362,11Bd	468,31Ad	468,51Ad
60	725,93Bb	729,07Bc	764,13Ab	764,30Ab
90	873,47Ba	862,92Bb	885,35Ba	903,00Aa
120	903,00Aa	905,97Aa	903,73Aa	906,86Aa

Médias seguidas de mesma letra maiúscula dentro de cada linha, e mesma letra minúscula em cada coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de *Tukey*, a 5% de significância.

Conforme Tabela 6 os teores médios de compostos fenólicos foram influenciados pela variedade de linhaça e pelos fatores tempo e temperatura de armazenamento, sendo observado que o teor de compostos fenólicos (em mg de equivalentes de ácido gálico/100 da amostra) do grão de linhaça marrom (718,64) apresentou-se mais elevado ($P < 0,05$) que na linhaça dourada (669,55), quando se compara o teor dos compostos fenólicos dos grãos *in natura*, após a trituração dos grãos, porém após 120 dias os valores não apresentaram diferença significativa para ambas variedades.

Observa-se também (Tabela 6) que com o passar do tempo zero para 120 dias, tanto armazenadas à temperatura de 21° C quanto à 5°C, ambas as variedades marrom e dourada aumentaram os teores dos compostos fenólicos, sendo que a linhaça dourada apresentou no tempo final preconizado neste trabalho (120 dias) aumento mais expressivo quando comparado com os valores da linhaça marrom. Provavelmente o tempo de armazenamento que a linhaça permanece triturada promove um efeito de expor mais os compostos fenólicos facilitando a extração dos mesmos e pela possível ativação dos mesmos para proteção do grão, por esse ter sofrido o estresse da trituração.

Compostos fenólicos estão amplamente distribuídos nas plantas (STRANDAS et al., 2008). Os compostos fenólicos em grãos oleaginosos ocorrem como derivados hidroxilados dos ácidos benzoico e cinâmico, cumarinas e compostos flavonoides. A linhaça contém 35 a 70mg de flavonoides/100g (OOMAH; MAZZA, 1998; RIBEREAU-GAYON, 1972).

Foi relatado o total de ácidos fenólicos em oito cultivares canadenses de linhaças variou de 790 a 1030 mg/100g (OOMAH; MAZZA, 1998).

Johnsson (2004) informa quanto aos compostos fenólicos da linhaça, os quais além das lignanas relatam-se outros compostos fenólicos como ácidos fenólicos livres, ácidos fenólicos glicosilados e flavonoides, o autor enfatiza que devido a diferentes metodologias relatadas para identificar e quantificar ácidos

fenólicos em grãos de linhaça (por exemplo livres e éster ligado), essas mostram-se divergentes e confusas.

Com relação à coloração de grãos claros e escuros, também Silva et al. (2011) encontraram teor de fenólicos solúveis totais no gergelim preto, duas vezes superior ao encontrado para o gergelim creme.

Os valores de compostos fenólicos (Tabela 6) mostram próximos aos valores relatados por Kahkonen et al. (1999), os quais analisando grãos de linhaças, relataram teor de fenólicos solúveis totais de $0,80 \text{ mg g}^{-1}$ de EAG.

Os compostos fenólicos em grãos oleaginosos ocorrem como derivados hidroxilados dos ácidos benzoico e cinâmico, cumarinas e compostos flavonoides. A linhaça contém 35 a 70mg de flavonoides/100g (OOMAH; MAZZA, 1998; RIBEREAU-GAYON, 1972).

Borges et al. (2011), estudando conteúdo de fenóis totais em linhaça encontraram valores de 427, 56 mg EAG.100g⁻¹). Oomah e Mazza (1998) encontraram valores entre 790 mg.100g⁻¹ a 1030 mg.100g⁻¹, quando avaliaram 8 variedades de grãos de linhaça cultivadas no Canadá, o que confirma com o presente estudo.

Em linhaça (*Linum usitatissimum* L.) Kahkonen et al. (1999), relataram teor de fenólicos solúveis totais de $0,80 \text{ mg EAG. } 100\text{g}^{-1}$. O teor de fenólicos solúveis totais do alimento influencia diretamente a sua capacidade antioxidante e, conseqüentemente, a sua propriedade funcional na redução de riscos de doenças crônicas não transmissíveis (VALTUEÑA ET AL., 2008).

Angelo e Jorge (2007) citam em sua revisão que uma das explicações para as diferenças entre os teores de fenólicos em alimentos poderia ser devido à metodologia empregada para extrair esses compostos, uma vez que, a análise de compostos fenólicos é influenciada pela natureza do composto, o método de extração empregado, o tamanho da amostra, o tempo e as condições de

estocagem, o padrão utilizado e a presença de interferentes, tais como, ceras, gorduras, terpenos e clorofilas.

Embora esse método seja o mais utilizado para a quantificação de compostos fenólicos em alimentos, o reagente *Folin-Ciocalteu* é capaz de interagir com outros compostos não fenólicos, o que pode resultar em valores superestimados de fenólicos totais (VINSON et al., 2001).

O grão de linhaça apresenta teores inferiores de fenóis quando comparadas a algumas pequenas frutas que são ricas nesses compostos, como o mirtilo e o morango. Ainda não se desenvolveu um método satisfatório para a extração de todos ou de uma classe específica de fenólicos presentes nos alimentos. A solubilidade dos fenólicos varia de acordo com a polaridade do solvente utilizado, o grau de polimerização dos fenólicos e suas interações com outros constituintes dos alimentos. Outro aspecto importante do desenvolvimento de métodos de quantificação de compostos fenólicos é a dificuldade de se encontrar um padrão específico e conveniente, devido à complexidade das substâncias fenólicas presentes nos alimentos e as diferenças de reatividade entre essas substâncias e os reagentes (KING; YOUNG, 1999; MOURE et al., 2001).

Os compostos fenólicos presentes em óleos de grãos possuem fortes propriedades antioxidantes e quando usados com ingredientes de alimentos processados contendo lípidos podem exercer um efeito positivo na redução da oxidação lipídica (MOREIRA, 1999), podendo agir ainda como redutores de oxigênio singlete e atuar na quelação de metais (DUARTE-ALMEIDA et al., 2006).

A síntese e acúmulo de compostos fenólicos, carotenoides e vitaminas em alimentos de origem vegetal é variável em função da espécie, variedade, manejo, condições climáticas, estágio de amadurecimento e condições de armazenamento (FERREYRA et al., 2007; LIMA et al., 2005; VEBERIC;

COLARIC; STAMPAR, 2008). Desse modo, torna-se necessário, para cada condição, estudar esses metabolitos e correlacioná-los com a pós-colheita devido às interferências na qualidade sensorial e funcional, além da conservabilidade.

Strandas et al. (2008) estudando os compostos oligoméricos fenólicos da linhaça detectaram no extrato de grão de linhaça estruturas oligoméricas de fenólicos secisolariciresinol diglicosídeo (SDG), ácido glicosídeo p-cumárico e ácido ferúlico. Os autores informam que foi possível separar frações oligoméricas da linhaça com hidrofobicidade, propriedades e composições fenólicas distintas, porém não foi possível separar os oligômeros SDG dos outros glicosídeos fenólicos, indicando uma considerada complexidade nas características estruturais dos oligômeros de lignanas e enfatizam que fatores como tamanho dos oligômeros, padrões de ligações e interações com outros componentes podem contribuir para a complexidade e comportamento observados durante separações cromatográficas desses compostos fenólicos.

3.4 Atividade Antioxidante total pelo Sistema β -caroteno/ácido linoleico

Na determinação da atividade antioxidante total (AAT), pelo sistema β -caroteno/ácido linoleico, verificou-se que independente da variedade da linhaça, foi somente significativa a interação tempo e temperatura de armazenamento (23°C e 5°C).

A Tabela 7 demonstra os valores que representam a atividade antioxidante total (AAT) de grãos de linhaça marrom e dourada pelo método β -caroteno/ácido linoleico.

Tabela 7 Valores médios de atividade antioxidante total (AAT) (%I) de grãos de linhaça pelo método β -caroteno/ácido linoleico

Armazenamento (dias)	Linhaça marrom		Linhaça dourada	
	Temperatura de armazenamento		Temperatura de armazenamento	
	23°C	5°C	23°C	5°C
0	86,84Aa	86,84Aa	86,29Aa	86,29Aa
30	82,81Aab	83,70Aa	81,71Aab	82,02Aa
60	88,19Aab	83,78Ba	87,48Aab	81,47Ba
90	88,25Ab	88,72Ab	90,42Ab	89,58Ab
120	88,88Ac	88,00Ab	90,94Ac	89,01Ab

Médias seguidas de mesma letra maiúscula dentro de cada linha, e mesma letra minúscula em cada coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de *Tukey*, a 5% de significância.

Diferença significativa entre as variedades de linhaça apenas no tempo de armazenamento de 60 dias na temperatura de 5°C. Houve aumento nos teores de antioxidantes do tempo de armazenamento inicial para o final de 120 dias. Sendo que as duas temperaturas de armazenamento apresentaram comportamento semelhante.

Trata-se de um método *in vitro* de cooxidação de substratos, que utiliza o β -caroteno, o ácido linoleico e o *tween* como agente emulsificante. Tal método fundamenta-se em medidas espectrofotométricas da descoloração (oxidação) do β -caroteno induzida pelos produtos de degradação oxidativa do ácido linoleico (DUARTE-ALMEIDA et al., 2006).

Os resultados foram expressos como porcentagem de inibição da oxidação, que foi calculada em relação ao decaimento da absorbância do controle (Ac), e deve ser menor que 0,2 para ser considerado que houve 100% de oxidação, após 120 min. de reação. A queda da absorbância das amostras (Aam) foi correlacionada com a queda do controle, obtendo-se a porcentagem da inibição da oxidação (%I).

Queiroz et al. (2009) informam que uma série de compostos podem estar associados à atividade antioxidante do grão de amaranto como polifenóis,

antocianinas, flavonoides, tocoferóis, vitamina, assim como compostos gerados da Reação de *Maillard*.

3.5 Atividade Antioxidante pelo método ABTS

Para atividade antioxidante, pelo método ABTS, observou-se que somente a interação tripla foi significativa.

A Tabela 8 elucida os valores que representam a atividade antioxidante total (AAT) de grãos de linhaça marrom e dourada pelo método ABTS.

Tabela 8 Valores médios de atividade antioxidante total (AAT) (Mm Trdox 1g) de grãos de linhaça dourada e marrom pelo método ABTS

Armazenamento (dias)	Linhaça marrom		Linhaça dourada	
	Temperatura de armazenamento		Temperatura de armazenamento	
	23°C	5°C	23°C	5°C
0	2585,46abA	2585,46aA	1891,75bA	1891,75bA
30	2299,17bcA	1842,43bB	1605,44bB	1922,30bA
60	2131,93cA	1172,05cB	2525,87aA	1520,77cB
90	2925,51aA	2528,90aB	2563,01aA	2249,74bB
120	2775,91aA	2757,39aA	2731,61aA	2833,93aA

Médias seguidas de mesma letra maiúscula dentro de cada linha, e mesma letra minúscula em cada coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de *Tukey*, a 5% de significância

As duas variedades de linhaça no tempo final de armazenamento (120 dias) apresentaram aumento nos teores de antioxidantes em ambas as temperaturas.

O método ABTS é utilizado para medir a atividade antioxidante através da captura do radical 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácidosulfônico) (ABTS), que pode ser gerado através de uma reação química, eletroquímica ou enzimática, o que pode ser visualizado na Figura 1. Com essa metodologia,

Compostos típicos que possuem atividade antioxidante incluem a classe de fenóis, ácidos fenólicos e seus derivados, flavonoides, tocoferol, fosfolípidos, ácido fólico, ácido ascórbico, pigmentos e esterol (ROESLER et al., 2007). Em adição, Zafrilla, Ferreres e Toms-Barbern (2001), estudaram a ação antioxidante do ácido elágico, durante o armazenamento de geleia de framboesa (*Rubus idaeus*), e observaram que o conteúdo dobrou com o processamento e continuou aumentando durante 6 meses de armazenamento. O aumento da capacidade antioxidante poderia também ter sido originado dos produtos da reação de *Maillard*, tal como aminas redutoras que também apresenta efeitos antioxidantes (FENNEMA, 2000).

4 CONCLUSÃO

- a) As linhaças marrom e dourada apresentam teor elevado de fibra alimentar e fração proteica.
- b) São elevados os conteúdos de ácidos graxos essenciais como ácido α -linolênico (ω 3) e ácido linoleico (ω 6) e esses não sofrem influência da temperatura ambiente.
- c) O tempo de armazenamento de 120 dias elevou o teor de fenólicos totais em ambas as variedades de linhaça e ambas as temperaturas de armazenamento.
- d) A atividade antioxidante total após 40 dias até 120 dias de armazenamento do estudo apresentou aumento.

REFERÊNCIAS

- AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE. 1999. Disponível em:
<<http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/index.html>>. Acesso em: 22 jan. 2012.
- AGUIAR, A. C. et al. Efeito do tempo e temperatura de estocagem sobre a estabilidade lipídica e composição centesimal de linhaça moída. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE ÓLEOS E GORDURAS, 12., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: [s. n.], 2007. 1 CD ROM.
- ALMEIDA, K. C. L.; BOAVENTURA, G. T.; SILVA, M. A. G. A linhaça (*Linum usitatissimum*) como fonte de ácido α -linolênico na formação da bainha de mielina. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 22, n. 5, p. 747-754, set./out. 2009.
- ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos: uma breve revisão. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 66, p. 232-240, 2007.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of the Association of the Agricultural Chemists. Washington, 1998. 1094 p.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of the Association of the Agricultural Chemists. Washington, 1997. 1094 p.
- BARCELÓ-COBLIJN; MURPHY, E. J. Alpha-linolenic acid and its conversion on longer chain n-3 fattyacids: benefits for human health and a role in maintaining tissue n-3 fatty acid levels **Progress in Lipid Research**, Oxford, v. 48, p. 355-374, 2009.
- BASSETT, C. M. C. et al. Experimental and clinical research findings in the cardiovascular benefits of consuming flaxseed.** Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, **Ontário**, v. 34, p. 965-974, 2009.
- BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 450 p.

CALDERELLI, V. A. S.; BENASSI, M. T.; MATIOL, G. Substituição da gordura hidrogenada por óleo de soja na elaboração de pães de linhaça e avaliação da aceitabilidade **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 668-674, 2008.

CARRARO, J. C. C. **Caracterização nutricional, potencial antioxidante e estabilidade de farinhas integrais de linhaça**. 2009. 87 p. Relatório (Iniciação Científica – PIBIC/CNPq) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

CHOO, W. S.; BIRCH, J.; DUFOUR, J. P. Physicochemical and quality characteristics of col-pressed flaxseed oils. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 20, n. 3/4, p. 202-211, 2007.

COSKUNER, Y.; KARABABA, E. Some physical properties of flax seed (*Linum usitatissimum* L.). **Journal of Food Engineering**, London, v. 78, n. 3, p. 1067-1073, 2007.

DAMIANI, C. et al. Antioxidant potential of *Psidium guinnessis* Sw. jam during storage. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 1, p. 90-98, jan./mar. 2010.

DUARTE-ALMEIDA, J. M. et al. Avaliação da atividade antioxidante utilizando sistema β -caroteno/ácido linoléico e método de seqüestro de radicais DPPH. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 446-452, abr./jun. 2006.

EL-BETALGI, H. S.; SALAMA, Z. A.; EL-HARIRI, D. M. Evaluation of fatty acids profile and the content of some secondary metabolites in seeds of different flax cultivars (*Linum usitatissimum* L.). **General and Applied Plant Physiology**, Sofia, v. 33, n. 3-4, p. 187-202, 2007.

FENNEMA, O. R. **Química de los alimentos**. 2. ed. Saragoza: Acribia, 2000.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. Experimental Designs: um pacote R para análise de experimentos. **Revista da Estatística da UFOP**, Ouro Preto, v. 1, n. 1, p. 1-9. 2011.

FERREYRA, R. M. et al. Growth and ripening season effects on antioxidant capacity of strawberry cultivar Selva. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 112, n. 1, p. 27-32, 2007.

FLACHOWSKY, G. et al. Effect of false flax expeller combined with short-term vitamin E supplementation in pigs feeding on fatty acid pattern, vitamin E concentration and oxidative stability of various tissues. **Journal of Animal Physiology Animal Nutrition**, Berlin, v. 78, 187-195, 1997.

FOLCH, J.; LEES, M. Ç.; STANLEY, G. H. S. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. **Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v. 226, p. 497-509, 1957.

GUIZI, M. et al. Modulation of the atrial specific Kv1.5 channel by the n-3 polyunsaturated fatty acid, alpha-linolenic. **Journal Molecular and Cellular Cardiology**, London, v. 44, p. 323-335, 2008.

HARMAN, G. E.; MATTCK, L. R. Association of lipid oxidation with seed ageing and death. **Nature**, London, v. 260, n. 5549, p. 323-324, 1976.

HARTMAN, L.; LAGO, R. C. A. Rapid preparation to fatty acids methyl esters. **Laboratory & Practice**, London, n. 22, p. 457-476, 1973.

HU, C.; YUAN, Y. V.; KITTS, D. D. Antioxidant activities of the flaxseed lignan secoisolariciresinol diglucoside, its aglycone secoisolariciresinol and the mammalian lignans enterodiol and enterolactone *in vitro*. **Food and Chemical Toxicology**, Oxford, v. 45, p. 2219-2227, 2007.

JOHNSSON, P. Phenolic compounds in flaxseed: chromatographic and spectroscopic analyses of glucosidic conjugates. 2004. 36 p. Thesis (Licenciate) - Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 2004.

KAHKONEN, M. P. et al. Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 47, p. 3854-3969, 1999.

KAUR, C.; KAPOOR, H. C. Antioxidants in fruits and vegetables - the millennium's health. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 36, n. 7, p. 703-725, 2001.

KING, A.; YOUNG, G. Characteristics and occurrence of phenolic phytochemicals. **Journal of the American Dietetic Association**, Chicago, v. 50, p. 213-8, 1999.

KUSKOSKI, E. M. et al. Application de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante em pulpa de frutos. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 726-732, 2005.

LIMA, V. L. A. G. et al. Total phenolic and carotenoid contents in acerola genotypes harvested at three ripening stages. **Food Chemistry**, Barking, v. 90, p. 565-568, 2005.

MAHAN, L. K.; ESCOTT-STUMP, S. **Krause**: alimentos, nutrição & dietoterapia. São Paulo: Roca, 2002.

MARCO, G. A. A rapid method for evaluation of antioxidants. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Champaign, v. 45, p. 594-598, 1968.

MARQUES, A. C. et al. Efeito da linhaça (*Linum usitatissimum* L.) sob diferentes formas de preparo na resposta biológica em ratos. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 24, n. 1, p. 131-141, jan./fev. 2011.

MARTIN, M. B. et al. Propriedades dos ácidos graxos poli-insaturados - omega 3 obtidos de óleo de peixe e óleo de linhaça. **Revista do Instituto de Ciências da Saúde**, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 153-6, 2008.

MAZZA, G. **Alimentos funcionais**: aspectos bioquímicos y de procesado. Zaragoza: Acribia, 2000.

MILLER, H. E. A simplified method for the evaluation of antioxidant. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Champaign, v. 48, p. 91, 1971.

MOLENA-FERNANDES, C. A. et al. Avaliação dos efeitos da suplementação com farinha de linhaça (*Linum usitatissimum* L.) marrom e dourada sobre o perfil lipídico e a evolução ponderal em ratos wistar. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 12, n. 2, p. 201-207, 2010.

MOREIRA, A. V. B. **Avaliação da atividade antioxidante de grãos de mostarda (*Brassica Alba* L.)**. 1999. 120 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

MORRIS, D. H. **Flax**: a health and nutrition primer. 4th ed. Winnipeg: [s. n.], 2007. Disponível em: <<http://www.flaxcouncil.ca>>. Acesso em: 22 dez. 2011.

MOURE, A. et al. Natural antioxidants from residual sources. **Food Chemistry**, Barking, v. 72, p. 145-71, 2001.

MUELLER, K. et al. Functional properties and chemical composition of fractionated brown and yellow flax seed meal (*Linum usitatissimum*, L.). **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 98, p. 453-460, 2010.

NICOLI, M. C.; ANESE, M.; PAROINEL, N. T. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 10, n. 3, p. 94-100, 1999.

OLIVEIRA, T. M.; PIROZI, M. R.; BORGES, J. T. S. Elaboração de pão de sal utilizando farinha mista de trigo e linhaça, **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 18, n. 2 p. 141-150, abr./jun. 2007.

OOMAH, B. D.; MAZZA, G. Flaxseed products for disease prevention. In: MAZZA, G. **Functional foods: biochemical and processing aspects**. Lancaster: Technomic Publishing, 1998. p. 91-132.

PAULA, N. F. et al. Avaliações bioquímicas e fisiológicas em grãos de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Revista Brasileira de Grãos**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 1-10, 1998.

PELLIZZON, M. A. et al. Flaxseed reduces plasma cholesterol levels in hypercholesterolemic mouse models. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 26, n. 1, p. 66-75, 2007.

QUEIROZ, Y. S. et al. Efeito do processamento na atividade antioxidante do grão de amaranto (*Amaranthus cruentus* L. BRS-Alegria). **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, Caracas, v. 59, n. 4, p. 29-454, 2009.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2012.

REGITANO D'ARCE, M. A. B. **Pós colheita e armazenamento de grãos**. Disponível em: <www.esalq.usp.br/departamentos/lan/pdf/Armazenamentodegraos.pdf>. Acesso em: 12 maio 2012).

ROESLER, R. et al. Atividade antioxidante de frutos do Cerrado. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 1, p. 1004-1019, 2007.

RUFINO, M. S. M. et al. **Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas no sistema β -caroteno/Ácido linoléico**. Brasília: EMBRAPA, 2006. 16 p. (Comunicado Técnico, 126).

RUFINO, M. S. M. et al. **Metodologia científica**: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS. Fortaleza: [s. n.], 2007. (Comunicado Técnico, 128).

SEVERO, J. Atividade antioxidante e fitoquímicos em frutos de physalis (*Physalis peruviana*, L.) durante o amadurecimento e armazenamento. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 16, n. 1-4, p. 77-82, jan./dez. 2010.

SIMOPOULOS, A. P. Symposium: role of poultry products in enriching the human diet with n3 PUFA: human requirement for n-3 polyunsaturated fatty acids. **Poultry Science**, College Station, v. 79, p. 961-970, 2000.

SOUSA, C. M. M. et al. Fenóis totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 351-355, 2007.

STRANDAS, C. et al. Composition and properties of flax seed phenolicoligomers. **Food Chemistry**, London, v. 110, p. 106-112, 2008.

TARPILA, A.; WENNERBERG, T.; TARPILA, S. Flaxseed as a functional food. **Current Topics in Nutraceutical Research**, Coppel, v. 3, p. 167-188, 2005.

URQUIZA, A. M. et al. Docosahexaenoic acid, a ligand for the retinoid X receptor in mouse brain, **Science**, Washington, v. 290, p. 2140-2144, 2000.

VALTUEÑA, S. et al. Food selection based on total antioxidant capacity can modify antioxidant intake, systemic inflammation, and liver function without altering markers of oxidative stress. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 87, p. 1290-1297, 2008.

VEBERIC, R.; COLARIC, M.; STAMPAR, F. Phenolic acids and flavonoids of fig fruit (*Ficus carica* L.) in the northern Mediterranean region. **Food Chemistry**, London, v. 106, p. 153-157, 2008.

VINSON, J. et al. Phenol antioxidant quantity and quality in foods: fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 49, n. 11, p. 5315-5321, 2001.

WATERHOUSE, A. L. Polyphenolics: determination of total phenolics. In: WROLSTAD, R. E. **Current protocols in food analytical chemistry**. New York: J. Wiley, 2002. p. 11-18.

WIESENBERG, D. et al. Processing flaxseed for food and feed uses. **Food Science and Biotechnology**, Seoul, v. 14, p. 305-310, 2005.

ZAFRILLA, P.; FERRERES, F.; TOMS-BARBERN, A. Effect of processing and storage on the antioxidant ellagic acid derivatives and flavonoids of red raspberry (*Rubus idaeus*) jam. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 49, n. 8, p. 3651-3655, 2001.

CAPITULO 3 Efeitos de diferentes temperaturas de forneamento de grãos de linhaças marrom e dourada no perfil lipídico e capacidade antioxidante

RESUMO

Há um crescente interesse na relação entre alimentação e saúde, destacando-se o consumo de antioxidantes naturalmente presentes em alimentos. Com isso, aumenta também a importância de compreender a melhor maneira de integrá-los aos alimentos. Neste estudo objetivou-se avaliar as propriedades antioxidantes, e perfil de ácidos graxos. As amostras de linhaça foram cedidas pela Empresa Vital, Curitiba/PR e as análises foram realizadas no Departamento de Ciência dos Alimentos – UFLA, Lavras/MG. Os grãos de linhaça inteiros, foram submetidos ao tratamento térmico nas temperaturas de 120, 140, 160, 180 e 200°C por um período de 40 minutos, em seguida foram moídos em moinho Multi-uso TE – 631/2 Tecnal até obtenção das farinhas, ambas foram envasadas, etiquetadas, armazenadas em embalagens de vidro, das quais uma foi mantida à temperatura de 23°C e feitas as análises de perfil de ácidos graxos, compostos fenólicos e atividade antioxidante, e está sendo realizado pelos métodos β -caroteno/ácido linoleico e ABTS. Foram então detectados 14 compostos de ácidos graxos, entre saturados e poli-insaturados. Houve aumento nos teores de compostos fenólicos e na atividade antioxidante. É possível afirmar que a linhaça manteve suas propriedades funcionais quando armazenadas e submetidas a tratamento térmico. Conclui-se que estes grãos têm suas propriedades mantidas mesmo sob aquecimento, sendo assim ótimas fontes de preparo de alimentos que possam vir a sofrer aquecimento.

Palavras-chave: Linhaça marrom e dourada. Compostos fenólicos. Processamento. Armazenamento.

ABSTRACT

There is a growing interest in the relation between eating and health, especially the consumption of naturally antioxidants present in foods. Thus, also increases the importance of understanding the best way to integrate them to food. In this study had as objective to evaluate the antioxidant properties, and fatty acid profile. Flaxseed samples were provided by the Vitao Company, Curitiba/PR, and analyzes were performed in the Food Science Department - UFLA, Lavras/MG. The whole flaxseed were submitted to heat treatment at temperatures of 120, 140, 160, 180 and 200°C for a period of 40 minutes, then were milled in a mill Multi-use TE - 631/2 Tecnal until to obtain the meal, both were packaged, labeled and stored in glass bottles, one of which was kept at 23°C temperature and made the analysis of fatty acid profile, phenolic compounds and antioxidant activity, this being by methods β -carotene/linoleic acid and ABTS. Then, it was detected an 14 fatty acid compounds, among saturated and polyunsaturated. There was an increase in phenolic compounds and antioxidant activity. It can be argued that flaxseed maintained their functional properties when stored and subjected to heat treatment. It was concluded that these seeds have their properties maintained even under heating, so great sources of food preparation which can suffer heat.

Keywords: Flaxseed (brown and golden). Phenolic compounds. Processing. Storage.

1 INTRODUÇÃO

É reconhecida a importância do consumo da linhaça (*Linum usitatissimum* L.) pelas evidências dos efeitos benéficos sobre os fatores de riscos para doenças crônicas não transmissíveis, DCNT. Experimentos *in vitro* e *in vivo* têm sido conduzidos, com avaliações bioquímicas séricas constatando esses efeitos (COUTO; WICHMANN, 2011; HU; YUAN; KITTS, 2007).

A linhaça possui nutrientes e compostos bioativos, sendo evidenciada a presença de ácidos graxos poli-insaturados, AGPI, mais especificamente os ácidos graxos essenciais, ácido α -linolênico, ALA, ω 3 (destacando-se a linhaça como a fonte vegetal mais rica em ALA) e o ácido linoleico, LA, ω 6, ambos são componentes de membranas, suas cadeias carbônicas são alongadas e ambos competem com as mesmas enzimas dessaturases para síntese de outros AGPI, enfatizando os da família ω 3 (eicosapentaenoico, EPA e docosahexaenoico, DHA) com ações específicas no cérebro e retina, ALA é precursor de eicosanoides de ações anti-inflamatórias. A linhaça tem notável conteúdo de fibra alimentar, solúveis e insolúveis, com ações de adequação do funcionamento intestinal, anticolesterolêmica, além de outras, possui ainda elevada quantidade de lignanas (destacando-se o secoisolariciresinol diglicosídeo SDG), composto fenólico de ações fitohormonal e antioxidantes, possui ainda ácidos fenólicos e tocoferóis (vitamina E), conferindo todos os citados compostos bioativos da linhaça ações antioxidantes, anticarcinogênicas e antilipidêmicas contribuindo dessa forma com a redução de riscos de DCNT (MUELLER et al., 2010; NOVELO; POLLONIO, 2011).

São comercializadas e consumidas com mais frequência, duas variedades de linhaça, a marrom e a dourada e também nas formas *in natura* e/ou processadas termicamente e ainda grão inteiro e ou moído (farinha de linhaça), podendo esta última ser adicionada a farinha de trigo visando o seu uso

na indústria de panificação. Trabalhos desenvolvidos mostram que os pães de sal obtidos da mistura de farinhas de trigo e de linhaça foram assados à temperatura de 220°C por 35 minutos, outros a 170°C por 30 minutos (BORGES et al., 2011; CALDERELLI; BENASSI; MATIOL, 2008; HU; YUAN; KITTS, 2007; OLIVEIRA; PIROZI; BORGES, 2007).

O tratamento térmico é a principal causa da alteração dos compostos químicos dos alimentos podendo conferir, após o consumo de alimentos processados termicamente, ações benéficas ou não, à saúde humana. O processamento e os procedimentos para a preservação dos alimentos podem ser responsáveis tanto pelo aumento quanto pelo decréscimo da ação antioxidante dependendo de fatores como a estrutura química, potencial de oxirredução, sua localização na matriz e possíveis interações com outros componentes dos alimentos (NICOLI; ANESE; PARPINEL, 1999).

Componentes bioativos, principalmente os polifenóis com propriedades antioxidantes podem sofrer alterações modificando a atividade antioxidante nos alimentos (SHARMA; GUJRAL; SINGH, 2012).

Trabalhos realizados verificando a retenção e a capacidade antioxidante do café e do tomate durante o tratamento térmico mostram que apesar da perda natural de antioxidante de derivados de café e do tomate foram mantidas ou até aumentadas em função da quantidade de melanoidinas formadas durante o processamento térmico. Mais especificamente no caso do café, embora o café torrado tenha uma atividade antioxidante maior que a do café *in natura*, quando se aplicou uma intensidade de torrefação acentuada (torra escura) observou-se uma diminuição da atividade antioxidante desses grãos em relação aos submetidos a outros tipos de torrefação (NICOLI et al., 1997).

Segundo Nesbitt e Thompson (1997) os potenciais benéficos do grão de linhaça moído são observadas quando consumido cru ou adicionado em sistemas alimentícios industriais ou caseiros. A análise de alimentos processados

contendo linhaça mostra que a sua adição em alimentos tais como cereais, panquecas, *muffins* e massas de pizza aumenta a produção de lignanas de mamíferos (enterodiol e enterolactona) de forma significativa, sendo relacionadas com a percentagem de linhaça no produto, o que indica que as lignanas são estáveis durante o processamento.

Diante do exposto este trabalho tem por objetivo geral verificar os efeitos de diferentes temperaturas de forneamento de farinhas de linhaças marrom e dourada no perfil lipídico e na ação antioxidante, sendo os objetivos específicos:

- a) submeter as linhaças marrom e douradas em cinco temperaturas de forneamento por 40 minutos;
- b) determinar o perfil lipídico (%) por cromatografia gasosa, das linhaças marrom e dourada após cada tratamento térmico de forneamento deste estudo;
- c) determinar os compostos fenólicos dos grãos das linhaças marrom e dourada após o processamento térmico;
- d) verificar a atividade antioxidante total das linhaças marrom e dourada com o aumento das temperaturas de forneamento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Departamento de Ciência dos Alimentos. As análises de Cromatografia Gasosa foram realizadas no Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, Minas Gerais.

Foram utilizadas duas variedades de grãos de linhaça (marrom e dourada), fornecidos pela Empresa Vitao, Curitiba (PR).

2.1 Obtenção e preparação da amostra

Os grãos de linhaça foram submetidos, inteiros, a tratamento térmico (fornejamento) nas temperaturas de 120, 140, 160, 180 e 200°C por um período de 40 minutos, em seguida foram moídos em moinho Multi-uso TE – 631/2 Tecnal até obtenção das farinhas, ambas foram envasadas, etiquetadas, armazenadas em embalagens de vidro, das quais uma foi mantida à temperatura de 23°C e feitas as análises.

2.2 Perfil de ácidos graxos

Para a determinação do perfil de ácidos graxos, fez-se a extração e esterificação dos lipídios de acordo com Folch (1957) e Hartman e Lago (1973), respectivamente, com posterior análise por cromatografia gasosa de alta resolução. Utilizou-se um cromatógrafo a gás *Shimadzu*, com detector por ionização em chama, injetor *split* (1:50) e coluna capilar de sílica fundida (100m x 0,25 mm x 0,20µm, CP-SIL 88, *Chromopack, Middleburg, The Netherlands*). A temperatura da coluna foi inicialmente de 120°C por 8 minutos, progredindo a 20°C/minuto até atingir 160°C; 3°C/ minutos até 195°C, por 10 minutos; 3°C/

minutos até 210°C; 35°C/ minutos até 220°C, por 3 minutos; e 20°C/ minutos até 240°C, por 5 minutos. As demais condições cromatográficas foram: gás de arraste hidrogênio, com velocidade linear de 34cm/s; gás *make up* nitrogênio a 30 mL/minuto; temperatura do injetor a 250°C; temperatura do detector a 260 °C; injeção de 1 µL; e técnica de injeção *hot needle* por 5 segundos. A identificação dos ácidos graxos foi realizada pela comparação do tempo de retenção de ésteres metílicos dos ácidos graxos dos padrões com as amostras. Foram utilizados no total 37 padrões de ácidos graxos saturados, monoinsaturados e poli-insaturados (*Supelco 37 FAME Mix, Sigma, Bellefonte, EUA*). Os tempos de retenção e as áreas foram computados automaticamente pelo *software GC-Solution*, versão 2.30 (*Shimadzu*).

2.3 Compostos fenólicos

Para a extração dos compostos fenólicos, foram pesados 4 gramas das amostras (linhaça marrom e dourada nas diferentes temperaturas), aos quais foram adicionados 40 mL de álcool metílico 50%, essa mistura foi homogeneizada por 1 minuto e deixada em repouso por 1 hora à temperatura ambiente, protegida da luz. Após esse período, a mistura foi centrifugada 14.000 rpm, por 17 minutos. O sobrenadante foi coletado e foram adicionados 40 mL de acetona 70% ao resíduo. Esse foi homogeneizado por 1 minuto e deixado em repouso por 1 hora. Em seguida, centrifugou-se a 14.000 rpm, por 17 minutos. O sobrenadante foi coletado, adicionado ao primeiro sobrenadante e o volume foi completado para 100 mL com água destilada.

O teor de fenólicos totais foi determinado pelo método proposto por Waterhouse (2002), empregando-se o reagente de *Folin-Ciocalteu*. Foram feitos pré-testes (1:1 e 1:3) nas duas variedades, sendo o 1:3 o que apresentou melhor resultado. Em resumo, 0,5 mL desse extrato de cada amostra foram

adicionados aos tubos contendo 2,5 mL de solução *Folin-Ciocalteu* 10% (v/v). Em seguida, foram adicionados 2 mL de solução de carbonato de sódio 4% (v/v). Os tubos foram agitados e deixados em repouso por 120 minutos, ao abrigo da luz. A cor azul produzida pela redução do reagente *Folin-Ciocalteu* pelos fenólicos foi medida espectrofotometricamente, na faixa de absorção de 750 nm. O cálculo do teor de fenólicos foi realizado a partir da equação da reta obtida da curva-padrão do ácido gálico. Os resultados foram expressos em mg de equivalente de ácido gálico por 100g da amostra (mgEAG.100 g⁻¹).

2.4 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante total (AAT) das duas variedades de linhaça foi determinada utilizando-se dois métodos distintos: a) método do sistema β -caroteno/ ácido linoleico e b) método do radical ABTS^{•+} (2,2' azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid).

Para a preparação dos extratos utilizou-se a mesma metodologia, para ambos os métodos de AAT estudo foram pesados 4 gramas das amostras (linhaça marrom e dourada nas diferentes temperaturas), aos quais foram adicionados 40 mL de álcool metílico 50%, essa mistura foi homogeneizada por 1 minuto e deixada em repouso por 1 hora à temperatura ambiente, protegida da luz. Após esse período, a mistura foi centrifugada 14.000 rpm, por 17 minutos. O sobrenadante foi coletado e foram adicionados 40 mL de acetona 70% ao resíduo. Esse foi homogeneizado por 1 minuto e deixado em repouso por 1 hora. Em seguida, centrifugou-se a 14.000 rpm, por 17 minutos. O sobrenadante foi coletado, adicionado ao primeiro sobrenadante e o volume foi completado para 100 mL com água destilada.

Para determinação da AAT pelo método do sistema β -caroteno/ ácido linoleico, adotaram-se os procedimentos propostos por Rufino et al. (2006).

Foram adicionados 0,4 mL de extrato e 5 mL da solução sistema β caroteno/ácido linoleico, sendo as leituras no tempo 2 minutos e 120 minutos, em espectrofotometro a 470 nm.

Os resultados foram expressos em % de inibição (% I) da oxidação do β -caroteno.

$$\% I = (Ac - Am).100/Ac;$$

Ac = absorbância inicial do controle – absorbância final do controle;

Am = absorbância inicial da amostra – absorbância final da amostra.

O 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilchroman-2-acido carboxílico (Trolox), que é um composto antioxidante análogo a vitamina E, porém, de natureza hidrofílica, foi utilizado como antioxidante de referência na concentração de 0,2 mg/mL, conforme proposto por Rufino et al. (2006). Todas as análises químicas foram realizadas em triplicata.

Para determinação da AAT pelo método do radical ABTS^{•+} (2,2' azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid), utilizou-se a metodologia descrita por Rufino et al. (2007), sendo adicionados 30 μ L de cada diluição do extrato com 3 mL do radical ABTS^{•+}, sendo as leituras realizadas, após homogeneização, após 6 minutos da mistura, em espectrofotômetro a 734 nm. Os resultados foram expressos em TEAC, *Trolox, equivalent antioxidant capacity* (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilchroman-2-ácido carboxílico) μ Mol TEAC.g⁻¹.

2.5 Análise estatística

O experimento foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) e esquema fatorial duplo 2x5, representados pelos fatores:

linhaça (marrom e dourada), temperatura de forneamento (120°C, 140°C, 160°C, 180°C e 200°C).

Foram realizadas análises de variância, observando-se as pressuposições necessárias, seguidas de teste de *Tukey* para os fatores qualitativos e ajuste de modelos polinomiais de regressão para o fator quantitativo. Todas as análises, bem como os gráficos, foram feitos no *software* estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012) e pacote *ExpDes* (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2011).

No teste de *Tukey* utilizado considerou-se o nível nominal de significância de 5%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Perfil de ácido graxo

A Tabela 1 representa o perfil de ácidos graxos (%) de grãos de linhaça marrom e dourada, *in natura* e submetidas (grão inteiro) a diferentes temperaturas de forneamento por 40 minutos.

Tabela 1 Perfil e teores (%) dos ácidos graxos de grãos de linhaça marrom (LM) e dourada (LD), *in natura* e submetidas a diferentes temperaturas de forneamento por 40 minutos

Ácido graxo	<i>in natura</i>		Temperatura de forneamento das linhaças por 40 minutos									
			120		140		160		180		200	
	LM	LD	LM	LD	LM	LD	LM	LD	LM	LD	LM	LD
Butanoico (C4:0)	2,08	6,9	1,31	3,23	1,63	1,83	1,79	1,22	1,83	1,43	1,20	1,31
Hexanoico (C6:0)	1,35	2,7	0,88	1,83	0,86	1,30	1,13	1,72	1,28	1,00	1,20	0,88
Octanoico (C8:0)	0,46	0,89	0,15	0,36	0,02	1,43	0,01	1,68	0,42	1,03	0,38	0,15
Decanoico (C10:0)	0,2	0,04	0,04	0,23	0,20	0,53	0,21	0,69	0,15	0,97	0,13	0,04
Estearico (C18:0)	0,21	0,54	0,06	Nd	0,01	Nd	0,03	Nd	Nd	Nd	Nd	0,06
Heneicosanoico (C21:0)	0,59	0,15	Nd	1,20	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Lignocericico (C24:0)	0,44	1,06	0,18	Nd	0,66	Nd	0,58	Nd	0,91	Nd	0,21	0,18
Cis-heptadecanoico (C17:1)	0,28	0,54	0,17	0,27	1,20	0,77	3,22	Nd	2,61	Nd	1,97	0,17
Miristoleico (C14:1)	0,25	0,55	0,05	Nd	0,12	Nd	0,25	Nd	0,17	Nd	0,15	0,05
Nervonico (C24:1)	Nd	0,05	Nd	Nd	0,26	Nd	0,21	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Oleico (C18:1n9c)	7,07	7,09	4,96	3,53	4,89	3,03	4,67	2,49	4,44	3,08	4,20	4,96
Linoleico (C18:2ω6)	14,02	12,72	17,88	10,64	17,92	18,65	16,00	17,25	15,07	12,00	17,23	10,67
α-linolênico (C18:3ω3)	41,76	35,8	32,64	39,34	37,94	36,50	34,49	34,09	37,21	32,47	35,47	30,52
Eicosadienoico (C20:2)	Nd	Nd	0,20	0,20	Nd	Nd	0,26	Nd	1,08	0,23	1,90	0,20

Nd = não detectado;

Foram detectados ácidos graxos saturados (AGS), ácidos graxos monoinsaturados (AGMI) e ácidos graxos poli-insaturados (AGPI) no óleo de grão de linhaça, marrom e dourada submetidas a temperaturas de forneamento por 40 minutos e grão *in natura*.

Conforme a Tabela 1 foram detectados 14 tipos de ácidos graxos, sendo a maioria ácidos graxos saturados, parece ter sofrido queda no óleo de ambas as variedades de linhaça que sofreram tratamento térmico, quando comparadas as *in natura*. Ao comparar os teores de ácidos graxos saturados presentes nos óleos das linhaças marrom e dourada, na temperatura de forneamento menos elevada (120°C) e na mais elevada (200°C) houve uma tendência a estabilização na variedade marrom e queda na dourada.

Para os ácidos graxos insaturados, mais especificamente os monoinsaturados (AGMI), os valores sugerem uma leve redução quando comparado o óleo do grão *in natura* com os óleos submetidos ao tratamento. Ao comparar os teores de ácidos graxos monoinsaturados presentes nos óleos das linhaças marrom e dourada, na temperatura de forneamento menos elevada (120°C) e na mais elevada (200°C) ocorreu uma discreta elevação.

Os ácidos graxos poli-insaturados, linoleico e α -linolênico, apresentaram os maiores teores dentre os ácidos graxos analisados neste estudo, sendo que a linhaça marrom mostrou valores mais elevados do que a linhaça dourada, com os seguintes valores para o óleo da linhaça *in natura* marrom e dourada para o ácido linoleico e α -linolênico 14,02 e 41,76%, 12,72 e 35,8%, respectivamente.

Quando os grãos inteiros de ambas as variedades foram submetidos ao tratamento térmico por 40 minutos observou-se que o teor de ácido linoleico parece não ter sofrido variações frente às temperaturas de forneamento utilizados neste estudo.

Segundo o estudo de Marques et al. (2011), no qual foi analisado o perfil lipídico da linhaça submetida a diferentes temperaturas, observou-se que o

aquecimento a 150°C por 40 minutos não provocou mudanças significativas nos ácidos graxos saturados totais em relação ao grão *in natura*, sendo que o grão aquecido em forno microondas foi o que proporcionou o menor valor desses ácidos. Embora as altas temperaturas no grão tenham diminuído as concentrações de ácidos graxos poli-insaturados, de ácido α -linolênico e ácido linoleico, ainda foram detectadas quantidades elevadas em todos os tratamentos.

Em outro estudo, Yoshira et al. (2006), observaram o efeito da tostagem em microondas sobre a estabilidade oxidativa em grãos de abóbora (*Curcubita sp.*), que foram submetidos a uma frequência de 2450MHz (potência máxima) por 6, 12, 20 e 30 minutos e as diferenças significativas nos teores de ácidos graxos foram observadas apenas após 20 minutos de tostagem.

Sendo os ácidos graxos poli-insaturados, α -linolênico (ω 3) e linoleico (ω 6), ácidos graxos essenciais e a linhaça uma das fontes vegetais mais ricas no primeiro AG citado, seus teores em g/100g de linhaça marrom e dourada, podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 Contendo (g/100g) de ácidos α -linolênico (ω 3) e ácido linoleico (ω 6) em grão de linhaça marrom e dourada submetidas a diferentes temperaturas de forneamento

Ácidos Graxos	Temperatura de forneamento (°C)									
	Linhaça marrom					Linhaça dourada				
	120	140	160	180	200	120	140	160	180	200
Ácido α -linolênico - ω 3	11,69	13,59	12,36	13,33	12,71	14,05	13,04	12,18	11,6	10,9
Ácido linoleico - ω 6	6,4	6,42	5,73	5,4	6,17	3,8	6,66	6,16	4,28	3,57

De acordo com a Tabela 2, observa-se que o conteúdo de ácidos graxos essenciais no grão de linhaça marrom e dourada mantem-se estável em temperaturas de forneamento de 120 a 200°C. Verifica-se que em 10 gramas de linhaça marrom e dourada (1 colher de sopa) encontram-se presentes valores médios de ácidos graxos essenciais em torno de 1,3g de ácido α -linolênico (ω 3) e 0,6g de ácido linoleico (ω 6) e para a linhaça dourada os valores são de 1,2g de ácido α -linolênico (ω 3) e 0,5g de ácido linoleico (ω 6).

A Tabela 2 indica que em apenas uma colher de sopa consumida por dia irá atender a mais de 70% das necessidades diárias de ácido α -linolênico para homens acima de 14 anos de idade (AI = 1,6g ácido α -linolênico/dia) e a mais de 100% para as mulheres no mesmo estágio de vida (AI = 1,1g ácido α -linolênico/dia).

No que diz respeito ao ácido linoleico (ω 6) o consumo de uma colher de sopa de linhaça marrom atenderá em torno de 3,5% e 5% de ingestão adequada (AI) para homens e mulheres respectivamente de 19 a 50 anos de idade.

Alguns autores sugerem o consumo de uma quantidade adequada de linhaça para alcançar a ingestão de ácidos graxos ω 3 e ω 6/dia, sendo que conforme citado em Novello e Pollonio (2011) porções de 8 gramas de linhaça moída ou 2,5 gramas (1/2 colher de chá) de óleo de linhaça por dia oferecem as quantidade ideal, enfatizando ainda Tarpila et al. (2002) que, o consumo de linhaça na dieta diária de até 20% de energia total tem sido recomendado para proporcionar efeitos benéficos à saúde.

Segundo Faintuch et al. (2006), em 30 g de farinha de linhaça dourada, contem 5g de ácido α -linolênico (ω 3), enquanto que em 60 g do óleo se concentram 36 g desse ácido graxo essencial. Os conteúdos de ácido α -linolênico (ω 3) para na farinha de linhaça citados na Tabela 2 encontram-se próximos aos citados.

Os ácidos graxos poli-insaturados da família ω 3 presentes em peixes de águas frias, ácido eicosapentaenoico (EPA) e docosaexaenoico (DHA) desempenham, claramente, importantes papéis fisiológicos benéficos ao organismo, principalmente no cérebro e na retina. Sabe-se que alguns alimentos de origem vegetal, a exemplo da linhaça, a mais rica fonte, possuem elevados teores do precursor de ambos ácidos graxos ω 3 citados, necessitando de mais estudos, tendo como foco o potencial de conversão (BARCELÓ-COBLIJN; MURPHY, 2009; BERE, 2007; FAINTUCH, 2006).

Recentemente, demonstrou-se a ocorrência, no organismo, de dessaturações e alongamentos do ácido α -linolênico até EPA, enfatizando que torna-se necessário de uma maior ingestão dietética desse ácido graxo essencial. A linhaça trata-se de uma fonte vegetal mais abundante deste ácido graxo ω 3, e mostra-se acessível para compra, não apresentando o sabor e odor dos peixes, que muitos rejeitam (FAINTUCH et al., 2006; KAHN et al., 2006; MEYER et al., 2003).

Em trabalho realizado por Moraes et al. (2000) a farinha crua de linhaça e a submetida ao tratamento térmico em microondas apresentaram maior peroxidação de lipídios, enquanto as farinhas submetidas aos tratamentos em forno convencional a 120 e a 150° C mostraram menor índice de oxidação de lipídios. A peroxidação mais elevada da farinha crua comprova que, o processo de trituração do grão expôs a matéria-prima às condições mais favoráveis à oxidação de lipídios, tais como liberação de enzimas de compartimentos e exposição ao oxigênio. A exposição do grão ao calor, em forno convencional, não favoreceu o aumento da peroxidação e ao contrário, contribuiu para a menor oxidação de lipídios, provavelmente por mecanismo de inativação enzimática.

Morais et al. (2011), no trabalho com linhaça marrom submetida a tratamento térmico em forno de ar de circulação a 150°C e armazenada por um período de até 30 dias, sendo as amostras retiradas em 0,7,14,21 e 30 dias de

armazenamento, concluíram que a estabilidade do ácido graxo α -linolênico não foi afetada, tanto na farinha de linhaça quanto no grão inteiro.

3.2 Compostos fenólicos

A Tabela 3 representa o teor médio dos compostos fenólicos em grãos de linhaça marrom e dourada sob o efeito de temperatura de forneamento (120, 140, 160, 180 e 200°C) por 40 minutos.

Tabela 3 Teor médio de compostos fenólicos (mgEAG.100 g⁻¹) em grãos de linhaça marrom e dourada sob o efeito de temperaturas de forneamento (120, 140, 160, 180 e 200°C) por 40 minutos

Temperatura de forneamento (°C)	Linhaça marrom	Linhaça dourada
120	656,04Ad	642,14Ac
140	698,08Bc	773,54Ab
160	704,24Bc	780,62Ab
180	879,86Ab	850,38Ba
200	1025,41Aa	867,82Ba

Médias seguidas de mesma letra maiúscula dentro de cada linha, e mesma letra minúscula em cada coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de *Tukey*, a 5% de significância

Os teores de compostos fenólicos apresentaram valores elevados nas duas variedades de linhaça, quando submetidas a diferentes temperaturas de forneamento (120, 140, 160, 180 e 200°C), sendo que a variedade marrom apresentou valor final estatisticamente superior ao da variedade dourada. Os resultados indicam que os procesamentos térmicos utilizados (120 a 200°C) a que as linhaças foram submetidas provavelmente alteram a estrutura física do grão, acarretando maior susceptibilidade desses à oxidação.

Provavelmente a elevação gradativa do calor o qual as linhaças foram submetidas (120 a 200°C) favoreceu a maior extração de compostos fenólicos, e é relatado que ácidos fenólicos estão reunidos em dois grupos: os derivados do ácido hidroxicinâmico e derivados do ácido hidroxibenzoico. Os ácidos fenólicos presentes na linhaça são os derivados do ácido hidroxicinâmico, que são compostos fenólicos de ocorrência natural, que possuem um anel aromático com uma cadeia carbônica ligada ao anel, segundo Mazza, (2000) a ordem decrescente dos ácidos fenólicos é o ácido ferúlico (46%), sináptico (36%), ácido cumarico (7,5%) e cafeico (6,5%). Cita-se ainda as lignanas inseridas no grupo de compostos fenólicos na linhaça, que por sua vez é considerada fonte, possuindo elevado teor de lignana.

El-beltagi, Salama e El-Hariri (2007) trabalhando com cinco cultivares de linhaça registraram valores de fenólicos variando de 162 a 362 mg EAG.100g.

Segundo Maciel (2006) o conteúdo de compostos fenólicos na linhaça é considerado mais baixo quando comparado as demais oleaginosas, apresentando valores em torno de 8 a 10g/kg.

Kim et al. (2006), estudando os efeitos do aquecimento em grãos de uva observaram um aumento significativo nos teores de compostos fenólicos, relatando que esse aumento foi resultado da liberação desses compostos por meio do aquecimento.

Possivelmente essa elevação foi devido à transformação dos compostos fenólicos insolúveis em solúveis, por meio do simples aquecimento, tornando tais compostos ativos e com maior capacidade antioxidante, o mesmo foi verificado por Jeong et al. (2004) quando analisaram o efeito do tratamento térmico e atividade antioxidante em cascas de frutas cítricas.

Já Lee et al. (2003) em estudo com casca de arroz descreveram que essa conversão nas formas dos compostos fenólicos, por meio do aquecimento, pode não quebrar a ligação covalente desses compostos.

Silva et al. (2011) estudando a capacidade antioxidante e composição química de gergelim creme e preto, comprovaram que o teor de fenólicos foi superior no grão preto. Shahidi, Liyana-Pathirana e Wall (2006) também verificaram maior valor, no gergelim preto, de fenólicos solúveis totais. O mesmo foi observado em análises de sorgo, quando comparado à variedade vermelha e branca (DICKO et al., 2002). Segundo Walter (2009), essas variações podem ser atribuídas, principalmente, à cor dos grãos

As variações que ocorrem no teor de compostos de origem fenólica após a colheita já foram relatadas para diversos alimentos de origem vegetal, podendo haver aumento, diminuição e também comportamentos irregulares (AYALA-ZAVALA et al., 2004; RAPISARDA et al., 2008). O acréscimo no teor de compostos fenólicos na pós-colheita muitas vezes pode ser relacionado ao estresses bióticos e abióticos, que induzem o metabolismo secundário do fruto, com aumento na produção destes compostos (TAIZ; ZEIGER, 2004), além disso, essas mudanças podem ser afetadas também pela temperatura.

3.3 Atividade Antioxidantes pelo Sistema β -caroteno/ácido linoleico e pelo ABTS⁺⁺

Não houve efeito significativo da interação variedade de linhaça e temperatura de forneamento, somente efeito das variedades de linhaça e temperatura de forneamento isoladamente.

A Tabela 4 representa os valores da atividade antioxidante total (AAT) de grãos de linhaça marrom e dourada pelo método β -caroteno/ácido linoleico.

Tabela 4 Atividade antioxidante total (AAT) (%I) em grãos de linhaça dourada e marrom sob o efeito de temperaturas de forneamento (120, 140, 160, 180 e 200°C) por 40 minutos pelo método β -caroteno/ ácido linoleico

Temperatura de forneamento (°C)	Linhaça marrom	Linhaça dourada
120	82,34Aa	82,05Ab
140	84,64Aa	85,79Aab
160	82,53Ba	86,48Aab
180	82,74Ba	87,58Aa
200	83,80Aa	87,21Aa

Médias seguidas de mesma letra maiúscula dentro de cada linha, e mesma letra minúscula em cada coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de *Tukey*, a 5% de significância.

Não houve efeito das temperaturas de forneamento nos teores de antioxidante na linhaça marrom. Na variedade dourada houve aumento significativo nos teores de antioxidante da temperatura inicial de fornemanento até a final.

Trata-se de um método *in vitro* de cooxidação de substratos, que utiliza o β -caroteno, o ácido linoleico e o *tween* como agente emulsificante. Tal método fundamenta-se em medidas espectrofotométricas da descoloração (oxidação) do β -caroteno induzida pelos produtos de degradação oxidativa do ácido linoleico (DUARTE-ALMEIDA et al., 2006).

Os resultados foram expressos como porcentagem de inibição da oxidação, que foi calculada em relação ao decaimento da absorbância do controle (Ac), e deve ser menor que 0,2 para ser considerado que houve 100% de oxidação, após 120 min. de reação. A queda da absorbância das amostras (Aam) foi correlacionada com a queda do controle, obtendo-se a porcentagem da inibição da oxidação (%I).

Na atividade antioxidante pelo método ABTS mostrou efeito significativo da interação entre variedades de linhaça (marrom e dourada) e temperaturas de forneamento (120, 140, 160, 180 e 200°C).

A Tabela 5 demonstra a atividade antioxidante total em grãos de linhaça dourada e marrom sob o efeito de temperaturas de forneamento (120, 140, 160, 180 e 200°C) por 40 minutos pelo método ABTS.

Tabela 5 Atividade antioxidante total (AAT) (μ M trolox/g) em grãos de linhaça dourada e marrom sob o efeito de temperaturas de forneamento (120, 140, 160, 180 e 200°C) por 40 minutos pelo método ABTS

Temperatura de forneamento (°C)	Linhaça marrom	Linhaça dourada
120	1422,79Ab	1162,31Bc
140	1462,72Ab	1407,97Ab
160	1468,08Bb	1912,33Aa
180	1518,35Bb	1924,31Aa
200	1801,48Aa	1939,51Aa

Médias seguidas de mesma letra maiúscula dentro de cada linha, e mesma letra minúscula em cada coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de *Tukey*, a 5% de significância

A variedade de linhaça dourada apresentou maior taxa de crescimento e tende a estabilização, sendo o teor máximo de antioxidante atingido na temperatura de aproximadamente 190°C. A linhaça marrom demonstrou elevação nos teores de antioxidante na temperatura final quando comparado à inicial.

O método ABTS é utilizado para medir a atividade antioxidante através da captura do radical 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolína-6 ácidosulfônico) (ABTS), que pode ser gerado através de uma reação química, eletroquímica ou enzimática, o que pode ser visualizado na Figura 1. Com essa metodologia, pode-se medir a atividade de compostos de natureza hidrofílica e lipofílica (KUSKOSKI et al., 2005).

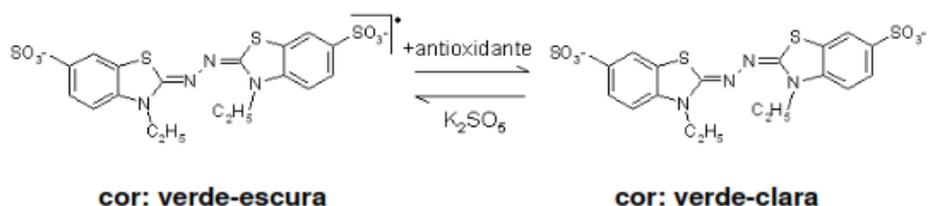


Figura 1 Estabilização do radical ABTS.+ por um antioxidante e sua formação pelo persulfato de potássio

Ilustração: Edy Sousa de Brito

Fonte: Rufino et al. (2007)

Conforme Tabela 5 observou-se que ambos os métodos utilizados para determinar a AAT dos grãos de linhaça, indicam que a temperatura mais elevada do estudo interferiu na AAT. Portanto a utilização da linhaça quando forneadas não perdem sua capacidade antioxidante.

Os principais compostos antioxidantes presentes na linhaça são compostos fenólicos (ácidos fenólicos, lignanas e vitamina E). Rajalaksmi e Narasimhan (1995) informam que embora outras características contribuam também para a atividade antioxidante do ácido fenólico e seus ésteres, essa AAT geralmente é determinada pelo número de hidroxilas presente na molécula.

Dentre as diversas classes de substâncias antioxidantes de ocorrência natural, os compostos fenólicos têm recebido muita atenção, sobretudo por

inibirem a peroxidação lipídica e a lipoxigenase *in vitro*. A AAT de compostos fenólicos deve-se principalmente às suas propriedades redutoras e estruturas químicas. Essas características desempenham um papel importante na neutralização ou sequestro de radicais livres e quelação de metais de transição, agindo tanto na etapa de iniciação como na propagação do processo oxidativo. Os intermediários formados pela ação de antioxidantes fenólicos são relativamente estáveis, devido à ressonância do anel aromático presente na estrutura dessas substâncias (Haslam e Soares citados por Sousa et al. (2007).

Tomaino et al. (2005), verificando a influência do aquecimento sobre a atividade antioxidante e da composição de óleos essenciais de especiarias, relataram que a correlação entre atividade antioxidante e componentes presentes nos óleos dificulta o estabelecimento de resultados, sendo que a atividade antioxidante dos óleos frequentemente se referem a conceitos como sinergismo e antagonismo, sendo puramente especulativos.

4 CONCLUSÃO

- a) Foram detectados ácidos graxos saturados, monoinsaturados e poli-insaturados e as temperaturas em estudo não influenciaram os teores de ácido graxo linoleico e α -linolênico.
- b) As temperaturas de forneamento favoreceram aumento nos teores de compostos fenólicos, sendo a variedade dourada a que apresentou constante aumento a partir da temperatura de 120°, enquanto a marrom, após 140°.
- c) A atividade antioxidante total na linhaça marrom e dourada mativeram-se iguais na menor e na mais elevada temperatura pelo método β -caroteno/ácido linoleico.
- d) A temperatura mais elevada (200°C) não prejudicou a atividade antioxidante da linhaça marrom e dourada pelo método ABTS \cdot^+

REFERÊNCIAS

- AYALA-ZAVALA, J. F. et al. Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit. **LWT – Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 37, p. 687-695, 2004.
- BARCELÓ-COBLIJN; MURPHY, E. J. Alpha-linolenic acid and its conversion on longer chain n-3 fattyacids: benefits for human health and a role in maintaining tissue n-3 fatty acid levels **Progress in Lipid Research**, Oxford, v. 48, p. 355-374, 2009.
- BERE, E. Wild berries: a good source of omega-3. **European Journal of Clinical Nutrition**, London, v. 61, n. 3, p. 431-433, Mar. 2007.
- BORGES, J. T. S. et al. Caracterização físico-química e reológica das farinhas mistas de trigo e linhaça. **B. CEPPA**, Curitiba, v. 29, n. 2, p. 159-172, jul./dez. 2011.
- CALDERELLI, V. A. S.; BENASSI, M. T.; MATIOL, G. Substituição da gordura hidrogenada por óleo de soja na elaboração de pães de linhaça e avaliação da aceitabilidade **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 668-674, 2008.
- COUTO, A. N.; WICHMANN, F. M. A. Efeitos da farinha de linhaça no perfil lipídico e antropométrico de mulheres. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 22, n. 4, p. 601-608, out./dez. 2011.
- DICKO, M. H. et al. Comparison of content in phenolic compounds, polyphenol oxidase, and peroxidase in grains og fifty sorghum varieties from Burkina Fase. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 50, p. 3780-3788, 2002.
- DUARTE-ALMEIDA, J. M. et al. Avaliação da atividade antioxidante utilizando sistema β -caroteno/ácido linoléico e método de seqüestro de radicais DPPH. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 446-452, abr./jun. 2006.
- FAINTUCH, J. et al. Propriedades antiinflamatórias da farinha de linhaça em pacientes obesos. **Revista Brasileira de Nutrição Clínica**, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 273-277, 2006.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. Experimental Designs: um pacote R para análise de experimentos. **Revista da Estatística da UFOP**, Ouro Preto, v. 1, n. 1, p. 1-9. 2011.

FOLCH, J.; LEES, M. Ç.; STANLEY, G. H. S. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. **Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v. 226, p. 497-509, 1957.

HARTMAN, L.; LAGO, R. C. A. Rapid preparation to fatty acids methyl esters. **Laboratory & Practice**, London, n. 22, p. 457-476, 1973.

HU, C.; YUAN, Y. V.; KITTS, D. D. Antioxidant activities of the flaxseed lignan secoisolariciresinol diglucoside, its aglycone secoisolariciresinol and the mammalian lignans enterodiol and enterolactone *in vitro*. **Food and Chemical Toxicology**, Oxford, v. 45, p. 2219-2227, 2007.

JEONG, S. M. et al. Effect of heat treatment on antioxidant activity of citrus peels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Baltimore, v. 52, p. 3389-3393, 2004.

KAHN, S. E. et al. Obesity is a major determinant of association of C-reactive protein levels and the metabolic in type 2 diabetes. **Diabetes**, New York, v. 55, p. 2357-2364, 2006.

KIM, S. Y. et al. Effect of heating conditions of grape seeds on the antioxidant activity of grape seed extracts. **Food Chemistry**, London, v. 97, p. 472-479, 2006.

KUSKOSKI, E. M. et al. Aplicação de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante em pulpa de frutos. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 726-732, 2005.

LEE, S.C. et al. Effect of far-infrared radiation on the antioxidant activity of rice hulls. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 51, p. 4400-4403, 2003.

MACIEL, L. M. B. **Utilização da farinha de linhaça (*Linum usitatissimum* L.) no processamento de biscoito tipo “cracker”: características físico-químicas, nutricionais e sensoriais**. 2006. 114 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

MARQUES, A. C. et al. Efeito da linhaça (*Linum usitatissimum* L.) sob diferentes formas de preparo na resposta biológica em ratos. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 24, n. 1, p. 131-141, jan./fev. 2011.

MEYER, B. J. et al. Dietary intake and food sources of omega-6 and omega-3 polyunsaturated fatty acids. **Lipids**, Champaign, v. 38, p. 391-398, 2003.

MORAES, E. A. et al. **Utilização de farinha de linhaça na elaboração de bolos e avaliação da aceitação dos consumidores**. Viçosa, MG: UFV, 2000.

MORAIS, D. C. et al. Heat treatment and thirty-day storage period do not affect the stability of omega-3 fatty acid in brown flaxseed (*Linum usitatissimum*) whole flour. **Food and Nutrition Sciences**, London, v. 2, n. 2, p. 281-286, 2011.

MUELLER, K. et al. Functional properties and chemical composition of fractionated brown and yellow in seed meal (*Linum usitatissimum*, L.). **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 98, p. 453-460, 2010.

NESBITT, P. D.; THOMPSON, L. U. Lignans in homemade and commercial products containing flaxseed. **Nutrition and Cancer**, Hillsdale, v. 29, p. 222-227, 1997.

NICOLI, M. C.; ANESE, M.; PARPINEL, M. T. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. **Trends Food Science Technology**, Oxford, v. 10, p. 94-110, 1999.

NICOLI, M. C. et al. Loss and/or formation of antioxidants during food processing and storage. **Cancer Letters**, Amsterdam, v. 114, p. 71-74, 1997.

NOVELO, D.; POLONIO, M. A. R. Caracterização e propriedades da linhaça (*Linum usitatissimum*, L.) e subprodutos. **B. CEPPA**, Curitiba, v. 29, n. 2, p. 317-330, jul./dez. 2011.

OLIVEIRA, T. M.; PIROZI, M. R.; BORGES, J. T. S. Elaboração de pão de sal utilizando farinha mista de trigo e linhaça, **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 18, n. 2 p. 141-150, abr./jun. 2007.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2012.

RAJALAKSMI, D.; NARASIMHAN, S. Food antioxidants sources and methods of evaluation. In: MADHAVI, D. L.; DESHPANDE, S. S.; SALINKHE, D. K. **Food antioxidants: technological, toxicological and health perspectives**. New York: M. Dekker, 1995. p. 65-157.

RAPISARDA, P. et al. Effect of cold storage on vitamin C, phenolics and antioxidant activity of five orange genotypes [Citrus sinensis (L.) Osbeck]. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 49, n. 3, p. 348-354, 2008.

RUFINO, M. S. M. et al. **Metodologia científica**: determinação da atividade antioxidante total em frutas no sistema β -caroteno/Ácido linoléico. Brasília: EMBRAPA, 2006. 16 p. (Comunicado Técnico, 126).

RUFINO, M. S. M. et al. **Metodologia científica**: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS. Brasília: EMBRAPA, 2007. 16 p. (Comunicado Técnico, 128).

SHAHIDI, F.; LIYANA-PATHIRANA, C. M.; WALL, D. S. Antioxidant activity of white and Black sesame seeds and their hull fractions. **Food Chemistry**, London, v. 99, p. 478-483, 2006.

SHARMA, P.; GUJRAL, H. S. SINGH, B. Antioxidant activity of barley as affected by extrusion cooking. **Food Chemistry**, London, v. 131 p.1406-1413, 2012.

SILVA, E. R. et al. Capacidade antioxidante e composição química de grãos integrais de gergelim creme e preto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 7, p. 736-742, jul. 2011.

SOUSA, C. M. M. et al. Fenóis totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 351-355, 2007.

TAIZ; ZEIGER. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 312-333.

TARPILA, S. et al. the effect of flaxseed supplementation in processed foods on serum fatty acids and enterolactone. **European Journal of Clinical Nutrition**, London, v. 56, n. 2, p. 157-165, 2002.

TOMAINO, A. et al. Influence of heating on antioxidant activity and the chemical composition of some spice essential oils. **Food Chemistry**, London, v. 89, p. 549-554, 2005.

WALTER, M. **Composição química e propriedades antioxidantes de grãos de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto**. 2009. 119 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

WATERHOUSE, A. L. Polyphenolics: determination of total phenolics. In: WROLSTAD, R. E. **Current protocols in food analytical chemistry**. New York: J. Wiley, 2002. p. 11-18.